



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

UNIDAD MERIDA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS DEL MAR

Tamaño óptimo de granja en el cultivo de engorda de  
tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) Yucatán, México

Tesis que presenta:

**Biol. Mar. Ahmed José Burad Méndez**

Para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

En la especialidad de  
Biología Marina

Director de la Tesis: Dr. Daniel Robledo Ramírez

Mérida, Yucatán, enero 2021

## DEDICATORIA

*A mis padres Joe y Laura*

*A mis hermanos Youssef y Said*

*A la memoria del Dr. Eucario Gasca Leyva*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de tesis, Dr. Daniel Robledo Ramírez.

A los sinodales, Dra. Silvia Salas Márquez, Dr. Miguel Olvera Novoa, por los comentarios y las correcciones realizadas.

Al compañero del Laboratorio de Bioeconomía y Acuacultura Experimental. M. en C. Roger May Domínguez.

A mis profesores y compañeros de posgrado.

A los productores de tilapia de Yucatán, por su colaboración en este estudio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada.

## RESUMEN

Los sistemas de producción comercial de tilapia representan una actividad de alto valor económico y social. Definir escalas y/o límites óptimos de producción en sistema de engorda, permitirá estructurar un plan eficiente de inversión, fortaleciendo la productividad y competitividad de las empresas acuícolas. El propósito del presente trabajo de investigación fue el estudio de la economía de la producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en Yucatán, analizando el efecto de escala en la rentabilidad del cultivo de engorda y su sensibilidad ante situaciones de mercado. Se desarrolló un modelo económico integrando la inversión requerida, los factores y costos de producción asociado al tamaño de granja en una escala de 1 a 100 tanques de 16 metros de diámetro. Evaluando una serie de estimadores financieros (costo unitario de inversión, costo medio y marginal de producción, B/C, RSI, VPN, TIR), se determinaron los tamaños de granja de 32, 48, 64 y 80 tanques como óptimos de producción. El mayor efecto de escala se observó al incrementar de 32 a 48 tanques de engorda, con un cambio de -1.5% en el costo medio de producción, de -13.9% en el costo unitario de inversión, 63% en VPN y 21.1% en la TIR. De acuerdo con el análisis de sensibilidad, al disminuir el precio de venta, se deberían descartar el tamaño de granja de 32 tanques al no cubrir el 100% de la inversión inicial en un periodo de 5 años de operación, al igual que el tamaño de 80 tanques, debido a que se genera el mismo beneficio (1.39) al operar 64 tanques con una inversión inicial menor. En cuanto a la sensibilidad de la TIR, la variación en el precio de venta generó un efecto dos veces mayor que el costo del alimento. El mayor cambio de la TIR (-60%) resultó en el escenario de 32 tanques con reducción del precio de venta, el menor cambio (-22%) en el escenario de 64 tanques con incremento en el costo del alimento. Se evidenció la existencia de rendimientos crecientes a escala en los primeros tamaños, con tendencia a retornos constantes de escala en tamaños mayores. Este estudio recomienda aumentar de escala de producción moderadamente considerando la eficiencia y capacidad de los activos de inversión, resultando en una mejor rentabilidad y competitividad de la industria de tilapia en Yucatán.

**Palabras clave:** Tilapia, tanques de engorda, economías de escala, rentabilidad, Yucatán.

## ABSTRACT

The commercial production systems of tilapia represent an activity of high economic and social value. Defining optimal scales and/or limits of production in commercial tilapia farms, will allow producers to structure an efficient investment plan, strengthening the productivity and competitiveness of aquaculture companies. The purpose of this research was to study the economics of tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) production in Yucatán, analyzing the effect of farm size on the profitability of tilapia culture and its sensitivity to market situations. An economic model was developed integrating the initial investment required, factors and production costs associated with the farm size on a scale from 1 to 100 culture tanks of 16 meters diameter. Evaluating a series of financial estimators (unitary cost of investment, average and marginal cost of production, B/C, ROI, NPV, IRR), the farm sizes of 32, 48, 64 and 80 culture tanks were determined as optimal for production. The largest scale effect was observed by increasing from 32 to 48 culture tanks, with a change of -1.5% in average production cost, -13.9% in the unitary cost of investment, 63% in the NPV and 21.1% in the IRR. According to the sensitivity analysis, when the sales price decreases, the farm size of 32 culture tanks should be discarded as it does not cover 100% of the initial investment in a period of 5 years of operation. The same applies in the case of the operation, of 80 culture tanks, because the same profit (1.39) is generated by operating 64 culture tanks with a lower initial investment. Regarding the sensitivity of the IRR, the variation in the selling price generated an effect twice as large as the cost of the feed. The largest change in IRR (-60%) resulted in the 32-tank scenario with a reduction in sales price and the smallest change (-22%) in the 64-tank scenario with an increase in feed cost. The existence of increasing yields to scale in the first sizes was evident, with a constant returns of scale trend in larger sizes. This study recommends increasing the scale of production moderately considering the efficiency and capacity of the investment assets, resulting in improved profitability and competitiveness of the tilapia industry in the Yucatán.

**Key words:** Tilapia, culture tanks, scale economics, profitability, Yucatán

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE TABLAS .....	viii
ÍNDICE FIGURAS .....	ix
1. Introducción .....	1
2. Justificación .....	4
3. Antecedentes.....	6
3.1. Producción acuícola.....	6
3.2. Características biológicas de la especie .....	9
3.3. Condiciones óptimas de crecimiento.....	12
3.4. Sistema de producción y engorda de tilapia .....	12
3.5. Alimentación.....	16
3.6. Planificación de proyectos de inversión acuícola .....	17
3.7. Producto y mercado .....	19
3.8. Economía de la producción.....	21
3.8.1. Función de producción.....	21
3.8.2. Costos de producción .....	22
3.8.3. Análisis económico .....	24
3.8.4. Optimización de la producción .....	26
3.9. Economías de escala.....	29
3.10. Tamaño de granja .....	31
4. Preguntas de Investigación.....	34
5. Objetivo.....	34
5.1. General .....	34

5.2. Particulares .....	34
6. Métodos .....	35
6.1. Origen de la información .....	36
6.2. Tecnología de producción de granjas de engorda en Yucatán. ....	37
6.3. Submodelo técnico.....	40
6.4. Submodelo económico.....	43
6.5. Evaluación económica de la producción de tilapia.....	46
6.6. Tamaño de granja y optimización del sistema de producción .....	48
6.7. Análisis de Sensibilidad .....	49
7. Resultados.....	51
7.1. Estimación del alimento balanceado.....	51
7.2. Inversión inicial en granjas de engorda en Yucatán.....	53
7.3. Depreciación de activos fijos de inversión .....	55
7.4. Simulación de escala de producción en granjas de engorda .....	56
7.5. Evaluación económica de la producción .....	62
7.6. Costo Medio y Análisis Marginal .....	65
7.7. Escalas de Granja Óptimas .....	68
7.8. Análisis de Sensibilidad .....	71
8. Discusión .....	74
9. Conclusiones .....	83
10. Recomendaciones Generales .....	85
11. Referencias Bibliográficas .....	86

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Espacio disponible para engorda de tilapia a nivel nacional (CONAPESCA, 2017).....	9
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de control en el cultivo de tilapia nilótica. ....	13
Tabla 3. Sistemas de producción en el cultivo de tilapia (Watanabe et al. 2002; Luchini, 2006; Barba et al. 2009; Basualdo-Ramirez et al. 2012).....	14
Tabla 4. Comparación del precio de venta* del producto tilapia en supermercados de México.....	20
Tabla 5. Trabajos de investigación relacionados con la economía de la producción de tilapia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ).....	27
Tabla 6. Trabajos de investigación bioeconómica relacionados a la escala de producción y/o tamaño de sistema.....	32
Tabla 7. Cronograma de producción anual (1 tanque de 16 m de diámetro, densidad de cultivo de 35 org/m <sup>3</sup> ).....	38
Tabla 8. Supuestos técnico-biológicos de la producción en granjas de engorda de tilapia nilótica en Yucatán.....	38
Tabla 9. Supuestos económicos de operación asumidos en el modelo bioeconómico. ....	40
Tabla 10. Estimación de alimento balanceado proporcionado por ciclo de engorda de tilapia nilótica.....	52
Tabla 11. Supuestos de inversión inicial asumidos en el modelo bioeconómico. .	54
Tabla 12. Supuestos de inversión por unidad de cultivo en granjas de engorda. .	54
Tabla 13. Capacidad de la inversión por unidad de cultivo. ....	55
Tabla 14. Vida útil y depreciación de activos fijos de inversión.....	55
Tabla 15. Vida útil y depreciación de activos fijos de inversión por unidad de cultivo. ....	56
Tabla 16. Indicadores como criterio de selección de tamaños óptimos de granja.	69
Tabla 17. Costos y beneficios de la producción anual de tilapia por tamaños de granja. ....	70
Tabla 18. Rentabilidad económica de la producción de tilapia por tamaños de granja. VPN y TIR estimados para un periodo de 5 años de operación.....	71
Tabla 19. Resultados del análisis de sensibilidad por escenario y tamaños óptimos de producción.....	72
Tabla 20. Porcentaje de cambio del estimador TIR ante escenarios de sensibilidad para cada tamaño óptimo de granja.....	73



## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Morfología externa de tilapia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ).....	10
Figura 2. Ciclo de vida y cultivo de tilapia nilótica ( <i>O. niloticus</i> ) modificado de W.K. Romano (2013). .....	11
Figura 3. Gestión de un proyecto de inversión. ....	17
Figura 4. Consideraciones para el desarrollo de un sistema de producción acuícola. ....	18
Figura 5. Curvas de costos y su relación con la producción (Allen et al., 1984). ..	23
Figura 6. Enfoque marginal de producción en microeconomía. ....	24
Figura 7. Curvas de costo medio de corto plazo (CMeC) integradas en la curva de largo plazo (CMeL). ....	30
Figura 8. Economía de escalas en el largo plazo. ....	31
Figura 9. Representación conceptual del modelo de producción de tilapia nilótica en un sistema acuícola de engorda. ....	36
Figura 10. Costos de inversión del cultivo de engorda de tilapia nilótica. ....	53
Figura 11. Inversión inicial con relación al tamaño de granja. ....	57
Figura 12. Capacidad de producción con relación al tamaño de granja. ....	58
Figura 13. Costo, beneficio y producción anual de tilapia nilótica con relación al número de tanques de engorda. ....	59
Figura 14. Costos variables de producción y depreciación de la inversión con relación al número de tanques de engorda. ....	60
Figura 15. Mano de obra asociada al nivel de producción o tamaño de granja. ....	61
Figura 16. Evolución del TIR y VPN con relación al tamaño de granja en el corto plazo. ....	63
Figura 17. Retorno sobre la inversión (RSI) con relación al número de tanques de engorda en el corto plazo. ....	64
Figura 18. Relación de los beneficios por ventas y costos totales anual de producción (B/C). ....	64
Figura 19. Costo unitario de inversión inicial. ....	65
Figura 20. Costo medio y tasa interna de retorno (TIR) de la producción anual. ..	66
Figura 21. Enfoque marginal de los costos de producción con relación al número de tanques de engorda. ....	67
Figura 22. Efecto en la tasa interna de retorno (TIR) respecto a la variación del precio de venta y el costo de alimento. ....	73

# 1. Introducción

La acuicultura es una actividad multidisciplinaria de producción animal o vegetal, que utiliza los conocimientos sobre: biología, administración, ingeniería y ecología (Pinelo, 2008). A nivel global, tanto la pesca como la acuicultura son importantes fuentes de alimentación, nutrición, ingresos y medios de vida para millones de personas. La producción acuícola se desarrolla bajo un marco de sostenibilidad en el cultivo de especies con valor comercial o social, en pro de disminuir la presión pesquera y aumentar la producción de las especies cultivadas (FAO, 2018). La demanda constata y en aumento de productos acuícolas y pesqueros, ha sido cubierta por la pesca/captura silvestre y por cultivo de organismos acuáticos. El consumo mundial de productos pesqueros per cápita fue de 20.5 kg para el 2018, del cual se estima que la mitad de dicho consumo proviene de la producción de sistemas acuícolas continentales (FAO, 2020). La factibilidad técnica y rentabilidad económica de esta actividad, desde un enfoque social como comercial, dependerá de la eficiencia en el uso de los factores e infraestructuras de producción de acuerdo al nivel o escala de operación.

El término escala se refiere al tamaño de la empresa o el sistema medido por su capacidad o unidades de producción. En la economía tradicional se plantea el comportamiento de los costos con relación a la capacidad de producción, el uso de insumos, la tecnología y la infraestructura empleada. Los costos de producción elevados se asocian con escalas de producción pequeñas, las cuales no aprovechan las ventajas derivadas del volumen de producción y a la capacidad de inversión y pago de los productores acuícolas (Panzar y Willig, 1981; Audretsch, 1999). El aumento en la producción o escala de empresa ocurre en regiones donde la demanda del producto está en incremento constante, empresas de mayor escala tienden a tomar una parte desproporcionada de dicho incremento cuando la industria se concentra más en una misma fase. Sistemas de mayor tamaño obtienen un mayor beneficio en la adquisición de bienes y servicios, en la producción o en la publicidad y comercialización (Engle, 2017).

En sistemas productivos como las granjas acuícolas, existen dos fuentes de rendimientos crecientes a escala: la tecnificación y la existencia de indivisibilidad en activos de inversión y operación. Las ventajas de la tecnificación en la operación surgen bajo una escala cada vez mayor debido a una mejor organización en la división del trabajo, el uso de insumos y el uso de equipo especializado. Si bien la especialización y las indivisibilidades del trabajo pueden ser una de las causas de las economías de escala, la especialización no es más que un caso particular de las indivisibilidades (Edwards y Starr, 1987; Tveteràs y Bjerndal, 2001). En este sentido Needham (1978) afirma que las indivisibilidades de los factores de producción no son exclusivas al equipo o activos capital ya que la mano de obra empleada también puede generar economías de escala. La indivisibilidad puede ser una característica física o técnica, el cual implica que la mano de obra, las instalaciones y los equipos de operación están disponible únicamente en pocos tamaños estándar que no se pueden fraccionar sin que pierda su eficacia técnica de producción, o bien, que unidades mayores de equipo resultan más económicas debido a que sus costos aumentan a un ritmo más lento que su capacidad de producción (Salvanes, 1989).

Si bien es cierto que las economías de escala y otros factores relacionados pueden causar que el crecimiento del tamaño de una empresa no esté limitado, sí puede estarlo ante la presencia de rendimientos decrecientes provenientes de la ineficiencia administrativa (Perry et al. 2007). Se asume que la variable principal para establecer un criterio diferenciador del tamaño de una empresa no es la cuota de mercado, sino se define con base a la función de costo medio a largo plazo (Palacio, 2002). El capital de operación e inversión define el nivel de producción acuícola, cuando éste se utiliza completamente, la respuesta al aumento de los precios a corto plazo se verá limitada y restringida (Salvanes, 1993; Guttormsen, 2002; Tveteras, 2002). Se pueden clasificar dos tipos de empresas en competencia perfecta: aquellas grandes empresas que pueden posicionarse en el óptimo de producción por producir en escalas mayores, y empresas pequeñas que producen a una menor escala y se encuentran en puntos subóptimos respecto al tamaño óptimo de granja. En un mercado competitivo, el precio se determina por interacciones entre oferta y demanda del bien producido. A largo plazo, las

empresas tratan de optimizar sus escalas de producción en el punto donde el costo medio de producción es mínimo (Martínez-Giralt, 2008). Por lo tanto, en el largo plazo el mercado estará en equilibrio cuando el precio de venta sea igual al costo medio, y éste, a su vez, sea igual al costo marginal de producción (Allen et al. 1984; Álvarez et al. 2004).

Para entender los efectos de economía de escala en sistemas acuícolas, los modelos económicos y biológicos aplicados han hecho aportes significativos a la optimización económica de las estrategias de producción, sin embargo, la compleja interacción de los factores biológicos, ambientales y económicos, limita la adecuada aplicación y representación de estos métodos de análisis. En las últimas décadas se han desarrollado técnicas de optimización empleadas en modelos económico-productivos en la actividad acuícola, como son la optimización dinámica, programación dinámica, programación lineal y programación no lineal (Cacho, 1997; Mistiaen y Strand, 1999; Yu y Leung, 2005; Llorente y Luna, 2016). En México, son diversos los estudios enfocados a optimizar la producción y maximizar los beneficios económicos, adoptando procesos y tecnologías de cultivo pertinentes con un efecto directo en los costos de producción y en la utilidad resultante. Ejemplo de ello es la optimización de la ración alimenticia (Poot-López et al. 2014; Domínguez-May et al. 2020), densidad óptima de cultivo (Araneda et al. 2018), análisis de la heterogeneidad de tallas y tiempos óptimos de cosecha (Kim et al. 2020), y la evaluación de economías de escala (Romero et al. 2014), entre otros.

Los sistemas de producción comercial de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) representan una actividad de alto valor económico y social en países y regiones en desarrollo con un alto potencial agropecuario. El propósito de este trabajo de investigación es el estudio de la economía en la producción en el cultivo de engorda de la tilapia nilótica (*O. niloticus*). Analizando el nivel de inversión y los rendimientos a escala bajo distintos escenarios de producción, para determinar el tamaño óptimo y mínimo rentable de una granja de engorda tipo para el estado de Yucatán, México.

## 2. Justificación

La demanda de productos pesqueros y acuícolas en México y el mundo es elevada, para satisfacer el consumo global es necesario generar tecnologías y estrategias de producción eficiente y de financiamiento sostenible, fortaleciendo el valor y mercado de productos acuícolas. A pesar de los avances en la producción y comercialización de la tilapia mexicana, el precio de compra sigue siendo uno de los factores por los que se elige el producto importado sobre el nacional, esto debido principalmente a los menores costos de producción y las ineficientes políticas de importación (FAO, 2018; Sánchez et al. 2019). De acuerdo con la información SIAVI-Secretaría de Economía (2018), México produce anualmente entre 80 y 90 mil toneladas de tilapia, sin embargo, las importaciones de pescado basa vietnamita y tilapia china suman alrededor de 300 mil toneladas anuales. El déficit productivo de tilapia en México y la creciente demanda del producto en la región, son condiciones determinantes para detonar esta actividad productiva en el Estado de Yucatán.

El desarrollo de la acuicultura está limitado en cierta parte por la falta de vinculación entre el conocimiento científico generado y su ejecución por parte del sector productivo, privado y/o público (Campos et al. 2016). La información referente a escalas, escenarios de producción y manejo de cultivo de Tilapia en el estado de Yucatán es escasa. En regiones y países en desarrollo con producción acuícola, se ha observado desde una baja rentabilidad hasta el cese de actividades en granjas de producción comercial. Esta situación se presenta principalmente por una mala planeación de la inversión inicial, por la disminución en el capital de operación y por la inadecuada administración de los recursos y activos del sistema (Alam et al. 2019; Sánchez-Puente et al. 2019). Para fortalecer y consolidar la actividad acuícola se requiere promover la diversificación y tecnificación de ésta, orientándola a incrementar su eficiencia productiva, reducir los posibles impactos, diversificar las líneas de producción e incrementar la rentabilidad económica y social (FAO, 2018).

El acercamiento directo al sistema de producción permite conocer las características y factores que influyen en el proceso de producción y determinan la rentabilidad de la actividad. Esto implica otros factores además de la producción como el monto de la inversión, el precio de venta, el costo de producción, el tiempo entre el desembolso del dinero y los ingresos, y finalmente la rentabilidad de la inversión (López, 2014). El modelo económico resultante de los datos de granjas establecidas en Yucatán, ayudará a identificar los parámetros que requieren un mayor análisis y los factores determinantes en el escalamiento del sistema. El modelo estructurado puede ser utilizado como un punto de partida para el establecimiento de diversos sistemas productivos, aportando información empírica relevante al concepto de economía de escala. El definir un tamaño óptimo de granja, así como sus límites superiores e inferiores en sistema de engorda de tilapia en Yucatán, permite estructurar un plan de operación eficiente lo que puede ayudar a aumentar la eficiencia, la productividad y la competitividad de las empresas acuícolas en el mercado nacional e internacional.

El desarrollo de esta línea de investigación aportará conocimiento relevante en los procesos de cultivo, así como en el desarrollo y operación de sistemas acuícolas de engorde, contribuyendo así a las líneas estratégicas del Programa Nacional de Tilapia (ITAM-CONAPESCA). Los resultados esperados del presente estudio también podrían considerarse como una herramienta de apoyo para las compañías financieras y el propio empresario para gestionar el riesgo que asumen en las transacciones, producciones y en situaciones de emergencia similar al contexto del año 2020, esto permitirá ofrecer mejores condiciones a los acuicultores y sobrellevar eventos de riesgo.

### **3. Antecedentes**

La actividad acuícola o acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos bajo la intervención humana en el proceso de cría con el objetivo de incrementar la producción. Con fines estadísticos la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) considera a la acuicultura como la producción de los organismos acuáticos que recogen una persona o un grupo que es propietario de estos durante su desarrollo (FAO, 2014). La acuicultura se clasifica por su zona de desarrollo como marítima, costera y en tierra; y de acuerdo con su propósito como comercial de pequeña o gran escala, y rural o de subsistencia. La actividad de cultivo comercial conlleva la generación de empleos y capital de inversión para su desarrollo y se enfoca en el máximo beneficio económico mediante la venta de productos pesqueros (Tacon, 1989). La demanda constante y en aumento de productos acuícolas y pesqueros, ha sido cubierta por la pesca/captura silvestre y por cultivo de organismos acuáticos. El consumo mundial de productos pesqueros per cápita supero el máximo histórico de 20 kg por persona en el año 2014, aumentando a un suministro estimado de 20.5 kg per cápita en el 2018, del cual se estima que la mitad de dicho consumo proviene de la producción de sistemas acuícolas continentales (FAO, 2020).

#### **3.1. Producción acuícola**

De acuerdo con datos de producción acuícola y pesquera mundial de 198 países activos, se registró una producción total de 171 millones de toneladas (mdt) con valor estimado de primera venta en \$362,000 millones de dólares (mdd). Dicha producción consistió en 80.1 mdt de producto animal; 53.4 mdt de escama, 17.4 mdt de molusco, 8.4 mdt de crustáceos y 893,900 toneladas (t) de otros grupos. Los 10 países de mayor aportación, excluyendo el grupo de plantas acuáticas y productos no alimenticios, fueron China (46.8 mdt), India (6.2 mdt), Indonesia (6.2 mdt), Vietnam (3.8 mdt), Bangladesh (2.3 mdt), Egipto (1.5 mdt), Noruega (1.3 mdt), Chile (1.2 mdt), Myanmar (1 mdt) y Tailandia (0.89 mdt) (FAO, 2018). La producción y comercialización de productos pesqueros ha incrementado considerablemente,

estimando un 179 mdt con valor de primera venta en \$401,000 mdd en 2018, la acuicultura represento el 46% de la producción total con un valor estimado en \$250,000 mdd y el 52% del pescado destinado a consumo humano. China sigue siendo el mayor productor de pescado, registrando el 35% de la producción mundial de pescado en 2018 (FAO, 2020).

El cultivo de animales acuáticos en estanques de zonas terrestres ha sido y es el sector acuícola de mayor importancia en el mundo. Un indicador importante que permite ver el crecimiento de esta actividad es la proporción de personas que se dedicaban a la pesca de captura silvestre y la acuicultura, la pesca de captura disminuyó del 83% en 1990 a 67% durante 2016, mientras que la de las personas que se dedicaban a la acuicultura aumentaron en consecuencia del 17% al 33%. En el plano regional. Asia participó con el 89%, es decir 80 mdt de la producción acuícola global para el año 2016, seguido de Europa (2.9 mdt), América del Sur (2.3 mdt), África (2.0 mdt), América del Norte (1.0 mdt) y Oceanía (0.2 mdt) (FAO, 2018). En el 2018, la producción acuícola de escama fue de 54.3 mdt (47 mdt de producción continental y 7.3 mdt de producción marina/costera), 17.7 mdt de moluscos (principalmente bivalvos) y 9.4 mdt de crustáceos. La acuicultura continental produjo el 62.5% de pescado cultivado en todo el mundo (principalmente de agua dulce), en comparación con el 57.7% para el 2000 (FAO, 2020).

Después de las carpas, las tilapias son el grupo de peces de mayor importancia en la acuicultura a nivel global. A diferencia de otros grupos, las tilapias son peces resistentes y adaptables a diversos ambientes, sistemas y técnicas de producción (Wang y Lu, 2006; Fitzsimmons y Watanabe, 2010). En la última década, su producción se ha multiplicado debido a su adaptabilidad en la acuicultura y su aceptación en el mercado regional y global. En el año 2018 se registró una producción de 6.3 mdt en 127 países, siendo China el mayor productor con 27% del total (FAO, 2018). Actualmente se cultivan 18 especies de tilapias, siendo las de mayor importancia: *Oreochromis niloticus* (tilapia nilótica), *Oreochromis mossambicus*, (tilapia Mozambique), *Oreochromis aureus* (tilapia azul), *Oreochromis hornorum* (tilapia Zanzíbar) and *Oreochromis* híbrido (tilapia roja). La



tilapia nilótica es considerada una de las especies de mayor interés en cuanto a producción y consumo en zonas rurales tropicales y subtropicales, representando cerca del 90% de la producción de tilapia en el mundo (McAndrew, 2000; Prabu et al. 2019). Es una fuente importante de proteína animal y de ingreso económico a nivel mundial (Fitzsimmons, 2006; FAO, 2014). La producción global de tilapia nilótica presenta un constante incremento, de un volumen de 2,537 mdt en el año 2010 a 4,200 mdt en el año 2016. China es el país con la mayor producción de este producto, con 1.8 mdt anuales (FAO, 2016).

México está considerado entre los principales países con producción y comercialización acuícola en América, con proyecciones mundiales a mediano plazo. En el periodo del 2012 al 2016, esta actividad tuvo un incremento del 48% en su producción y un 82% en su valor comercial (CONAPESCA, 2017). Durante el año 2017, México generó un total de 404,000 t de productos acuícolas con valor de \$17,813 millones de pesos (mdp), considerando que aproximadamente 63,000 personas se dedicaron a esta actividad. Las principales especies de acuicultura en México son el camarón (150,076 t), la tilapia (149,100 t), el ostión (45,148 t), la carpa (30,300 t) y la trucha (7,000 t), siendo los principales productores los estados de Sonora, Sinaloa, Jalisco y Veracruz. La tilapia es uno de los productos acuícolas de mayor interés en granjas comerciales en México, pues de las 9,230 granjas acuícolas registradas en el país, 4,623 producen este grupo de peces. En el año 2017, se registró una producción de 149,100 t, de las cuales 93,700 t fueron producidas vía pesquerías (presas, cuerpos de agua interiores) y 55,300 t fueron producidas en 4,623 granjas de producción acuícola con una extensión de 15,763 hectáreas (ha) (Tabla 1). El mismo año, México importó 100,103 t de tilapia con un valor de \$225.20 mdd. Los principales estados productores de tilapia son: Jalisco con el 22% del total nacional. Chiapas con el 15%, Michoacán con el 14%, Sinaloa con el 9%, Nayarit con el 8% y Veracruz con el 7%, estas seis entidades concentran el 75% de la producción nacional (CONAPESCA, 2018).

Tabla 1. Espacio disponible para engorda de tilapia a nivel nacional (CONAPESCA, 2017).

<b>Tipo de cultivo</b>	<b>No. de granjas</b>	<b>Área (ha)</b>
Extensivo	605	3,302
Semi-intensivo	3,716	9,110
Intensivo	302	3,351
<b>TOTAL</b>	<b>4,623</b>	<b>15,763</b>

En el estado de Yucatán se encuentran registradas 131 granjas de engorda en 480 hectáreas (ha) y con 675 personas dedicadas a esta actividad. Aunque la actividad aún no se desarrolla en su totalidad, en el año 2008 se registró una producción acuícola de 270 t, aumentando a tan solo 578 t en el 2015. En el año 2017, Yucatán registró una producción acuícola total de 756 t (\$33.8 mdp), de las cuales 111 t (\$8 mdp) fueron camarón y 645 t (25.8 mdp) de tilapia nilótica (CONAPESCA, 2017).

### **3.2. Características biológicas de la especie**

Tilapia es el término común de peces dulceacuícolas originarios de África central de la familia Cichlidae, para la actividad acuícola destacan los géneros *Oreochromis*, *Sarotherodon* y *Tilapia* (Figura 1). La especie de mayor producción acuícola en el país son las líneas mejoradas de la tilapia nilótica (*O. niloticus*) entre las que se mencionan: Stirling, GIFT, chitalada, egipcia, y los híbridos (White Tilapia, Blue Tilapia, Golden Tilapia, Jumbo Red) (El-Sayed, 2006; CONAPESCA, 2011). Su éxito productivo y comercial se debe a su adaptación al manejo y altas densidades de cultivo, resistencia a enfermedades, rápido crecimiento y mayor producción de carne (Watanabe et al., 2002; Bocek, 2007).

Reino: *Animalia* (Linnaeus, 1758)

Phylum: *Chordata* (Bateson, 1885)

Subphylum: *Vertebrata* (Bateson, 1885)

Clase: *Actinopterygii* (Klein, 1885)

Orden: *Perciformes* (Bleeker, 1859)

Familia: *Cichlidae* (Heckel, 1840)

Género: *Oreochromis* (Linnaeus, 1758)

Especie: *O. niloticus* (Linnaeus, 1758)

La tilapia nilótica es una especie tropical que habita en aguas lenticas, turbias y someras principalmente. Es un pez eurihalino (0-40 ppm), por lo que puede distribuirse en aguas dulces, salobres y marinas. Es euritermo (12-42 °C) de agua cálida, su distribución y crecimiento depende directamente de la temperatura del medio. Su alimentación es herbívora, omnívora y fitoplanctófaga en el medio natural, sin embargo, en sistemas de producción acuícola presentan preferencia por dietas artificiales balanceadas y fitoplancton, el cual es constantemente consumido (Vega-Villasante, 2010; Moreira et al. 2012; Pineda et al. 2012).

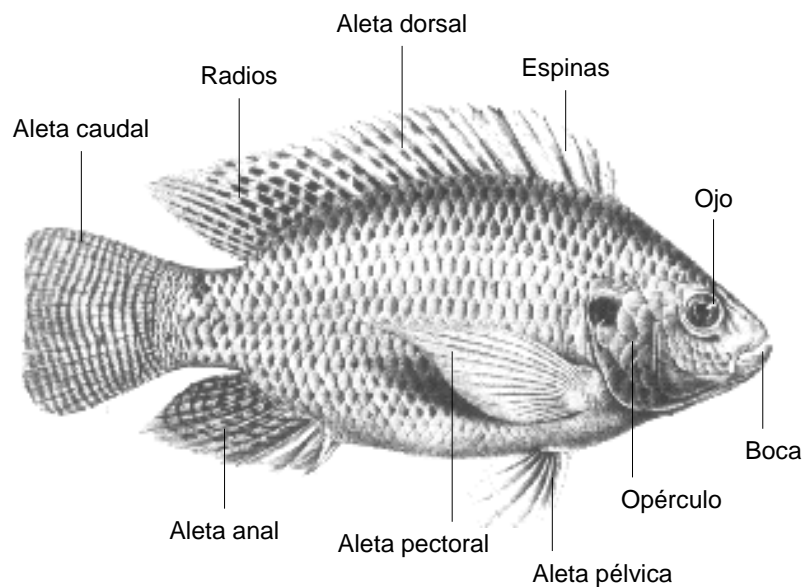


Figura 1. Morfología externa de tilapia nilótica (*O. niloticus*).

El ciclo de vida de la tilapia se compone de cinco etapas básicas de desarrollo: embrionario, alevín, cría, juvenil y adulto (Figura 2). El alevín se caracteriza por presentar un tamaño de 0.5 a 1 cm y posee un saco vitelino en el vientre, esta etapa dura alrededor de 3 a 5 días. En la etapa de cría alcanza una talla de 3 a 7 cm. Cuando la tilapia nilótica alcanza una talla entre 7 y 10 cm se considera que esta en una etapa juvenil, tallas de 10 a 18 cm y pesos entre 70 y 100 gramos es considerado adulto. Las hembras se reproducen de 2 a 4 veces al año, con desoves de hasta 1,000 huevos, dependiendo de la edad (Cantor, 2007; Nicovita y Alicorp, 2014). Las hembras de tilapia alcanzan su madurez sexual con pesos entre los 30 y 40 g o entre los 3 y 5 meses de edad, los machos maduran sexualmente entre los 4 y 6 meses (Bujhel, 2000). La edad máxima reportada para esta especie de tilapia es de 9 años. La mayor tasa de crecimiento se presenta en los machos a los 5 meses de desarrollo, el crecimiento promedio de estos es de 18 cm con un peso de 500 g. El crecimiento de la tilapia en sus diferentes etapas va a depender de varios factores como son: genética, temperatura, densidad y la disponibilidad y tipo de alimentación, principalmente (Noakes y Balon, 1982; Saavedra, 2006).

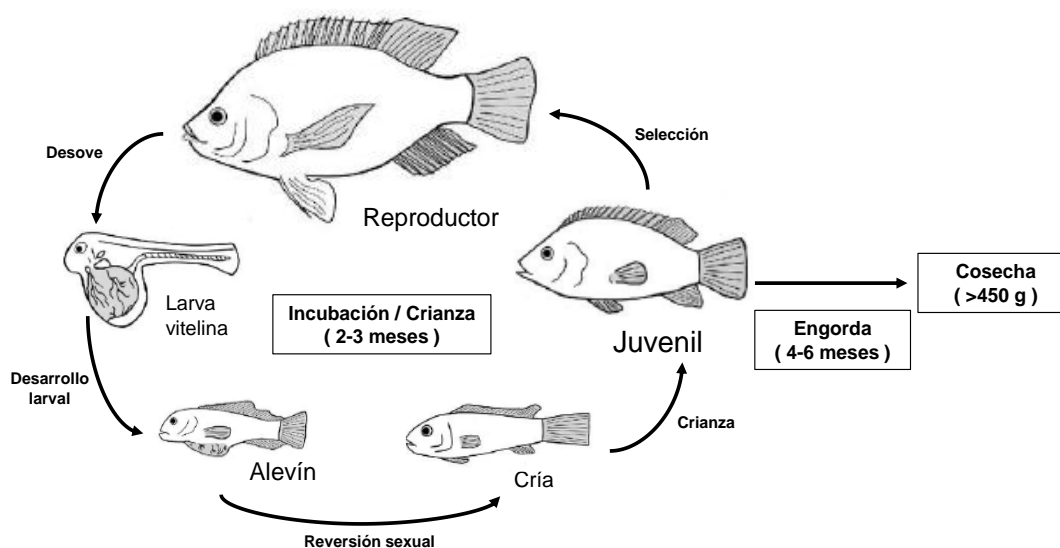


Figura 2. Ciclo de vida y cultivo de tilapia nilótica (*O. niloticus*) modificado de W.K. Romano (2013).

### **3.3. Condiciones óptimas de crecimiento**

La calidad del agua es el factor más importante para el desarrollo y crecimiento adecuado de los peces, es necesario mantener las condiciones fisicoquímicas del medio de cultivo dentro del rango de tolerancia requerido para cada especie de cultivo (Vega-Villasante, 2010). El manejo de la calidad del medio de cultivo es mediante el recambio de agua y aireación/oxigenación, cuyo régimen dependerá de la biomasa presente. Por ejemplo, se sugiere un 15% de recambio de agua temprano por la mañana, cuando el oxígeno es bajo por la falta de producción fitoplanctónica. El monitoreo de la calidad es clave en el manejo y éxito del cultivo y se debe realizar entre dos y tres veces al día (Luchini, 2006; El-Sayed, 2006). La tilapia nilótica es un organismo eurihalino y poiquilotermo de zonas tropicales y subtropicales. Debido a sus amplios límites de tolerancia, esta especie se adapta a diferentes condiciones de calidad de agua, lo cual la hace una de las especies de mayor producción. Para mejorar las condiciones de cultivo e incrementar la eficiencia en la producción, se debe considerar los valores o rangos óptimos de los parámetros fisicoquímicos del agua más importantes para el desarrollo de la tilapia nilótica (Saavedra, 2006; Cantor, 2007; Nicovita y Alicorp, 2014) (Tabla 2).

### **3.4. Sistema de producción y engorda de tilapia**

De manera general un sistema de producción es un conjunto de elementos que interactúan entre ellos estableciendo un equilibrio dinámico y fluido. Los sistemas de producción acuícolas se conforman por diversos factores y que, dependiendo de su importancia en determinado tiempo, brindaran las condiciones adecuadas y mayor eficiencia en el proceso productivo. El cultivo de tilapia nilótica implica distintos sistemas, infraestructura y técnicas de producción (Mayorga-Castañeda et al. 2011). La infraestructura principalmente utilizada se compone de: estanques rústicos, jaulas flotantes y tanques circulares de concreto o geomembrana; estos últimos son los de mejor adaptabilidad a las condiciones ambientales y de mayor eficiencia productiva. Los tres sistemas más empleados son el extensivo, semi-intensivo e intensivo; se clasifican en función del destino y la intensidad de la producción y del tipo de instalación empleada (Tabla 3).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de control en el cultivo de tilapia nilótica.

Parámetro	Óptimo	Descripción
Oxígeno (mg L <sup>-1</sup> )	> 4.0	El oxígeno es abundante por la tarde y limitado al amanecer. Niveles bajos de oxígeno ocasionan mortalidad, enfermedades y baja eficiencia alimenticia.
Temperatura (°C)	25 - 32	La temperatura no debe exceder los 30° C, ya que consume más oxígeno. Si la temperatura disminuye a 15° C el pez deja de comer, y a temperaturas menores de 12° C existe peligro de muerte.
Alcalinidad /Dureza (mg L <sup>-1</sup> )	50 - 150	Los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. Un valor elevado afecta la productividad del tanque y ocasiona daño en las branquias de los peces.
Salinidad (ppt)	< 15	Pez eurihalino, tolera diferentes salinidades, pero son sensibles a los cambios bruscos.
pH	6.0 - 9.0	La tilapia crece mejor en aguas de pH neutro o levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta un pH de 5.
Amonio (mg L <sup>-1</sup> )	0.01 - 0.6	La toxicidad del amonio aumenta cuando la concentración de oxígeno disuelto decrece, el pH es alcalinamente elevado y la temperatura es alta (>32°C). Bloquea el metabolismo, daño las branquias, afecta el balance de sales, produce lesiones internas, susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y supervivencia.
Nitritos (mg L <sup>-1</sup> )	< 0.1	Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos, la toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, la temperatura y el oxígeno disuelto.

Tabla 3. Sistemas de producción en el cultivo de tilapia (Watanabe et al. 2002; Luchini, 2006; Barba et al. 2009; Basualdo-Ramirez et al. 2012).

<b>Tipo</b>	<b>Factores</b>	<b>Alimentación</b>	<b>Infraestructura</b>
Extensivo	Densidad de cultivo baja (1-5 kg/m <sup>3</sup> ), alta mortalidad, nulo control de la calidad del agua.	Natural, subproductos agrícolas; bajo o nulo costo.	Cuerpos de agua naturales, presas o represas; jaulas flotantes, estanque excavados en tierra; sin drenaje, filtración y equipo de bombeo. Inversión nula o baja.
Semi-intensivo	Densidad de cultivo media (10-30 kg/m <sup>3</sup> ), mortalidad baja, control flexible de la calidad del agua, mano de obra especializada, consumo eléctrico medio, mercado regional y nacional	Alimento balanceado y subproductos agrícolas, costo medio/alto	Estanques excavados con recubrimiento, tanques elevados de concreto y geomembrana (liner); sistema de drenaje, filtración y aireación. Inversión media.
Intensivo	Densidad de cultivo alta (50-100 kg/m <sup>3</sup> ), nula mortalidad, control riguroso de calidad del agua, mano de obra especializada, consumo eléctrico alto, mercado nacional y exportación	100% alimento balanceado y nutrientes adicionales; alto costo	Equipo tecnificado, tanques de geomembrana o acrílico en condiciones cerradas y/o de recirculación; aireación y oxigenación (inyección O <sub>2</sub> ) 24 horas. Inversión alta.

En México y Yucatán, el sistema de cultivo más aceptado y utilizado es el intensivo, principalmente por el rendimiento económico con relación al nivel de inversión inicial requerida. Estas granjas por lo general son de dos tipos, respecto a la infraestructura y unidades de cultivo: 1) Estanques excavados en tierra con recubrimiento (0.1- 1.0 ha) y 2) tanques circulares elevados de concreto o de malla galvanizada con recubrimiento de liner PVC de alta densidad (6-20 m de diámetro,

1.0-1.50 m de altura) (Olvera-Novoa et al. 2005; Nicovita y Alicorp, 2014). Los productores de tilapia en Yucatán recomiendan el uso de tanques de 16 metros de diámetro, debido a la relación del rendimiento productivo y el manejo técnico. El cultivo de engorda de tilapia nilótica implica diferentes etapas de desarrollo según su estadio fisiológico y requerimientos, iniciando por la siembra de alevines hasta a la cosecha de producto comercial:

- I. Obtención de crías: Las granjas de engorda con fines comerciales realizan cultivos de poblaciones monosexuales de tilapia. El cultivo de machos presenta ventajas en el crecimiento, ya que evita la reproducción y el alimento suministrado es exclusivamente para crecimiento sin ser desviado para reproducción. En cuestión de manejo y costo, la mejor opción es la adquisición de alevines masculinizados (reversión sexual, sexuado, híbrido) provenientes de centros acuícolas especializados que garanticen hasta un 99% de alevines macho (Luchini, 2006; Barba et al. 2009).
- II. Siembra: este proceso consiste la liberación de los alevines (0.5-5 g) en las unidades de cultivo tomando en cuenta su aclimatación. Para evitar la posibilidad de mortalidad por choque térmico se debe igualar las temperaturas entre el medio en el que han sido transportadas y el medio receptor. Con el objetivo de evitar el estrés y asegurar un buen crecimiento, la densidad de siembra dependerá del tipo de cultivo que se seleccione y la aireación con la que cuente el sistema (Gilardoni, 2011; Balbuena et al. 2011).
- III. Desarrollo: Se refiere a organismos con peso inicial de 2 g hasta lograr un peso promedio de 50 g, con una densidad de cultivo de 50 a 60 org/m<sup>3</sup>. La duración de esta etapa varía entre 30-50 días, dependiendo del manejo, alimentación y temperatura del medio. El cuidado en esta etapa debe ser crítico, con 80-90% de supervivencia esperada (Saavedra, 2006; FAO, 2014).
- IV. Pre-engorda: Los peces se encuentran en fase juvenil con un crecimiento de 50 hasta 200 g y una densidad de 40-50 org/ m<sup>3</sup>. La duración de esta etapa varia de 70-100 días y la mortalidad es mínima o nula. Es indispensable el



monitoreo y control en los niveles de oxígeno, así como realizar recambios de agua cada 1-2 días (Saavedra, 2006; Cantor, 2007).

- V. Engorda: comprende el desarrollo de la tilapia desde los 200 gramos hasta la talla o peso de cosecha (>400 g), con una duración de 80-100 días y una densidad de cultivo de 30-40 org/ m<sup>3</sup> en sistemas semintensivo e intensivos. En esta etapa la aireación/oxigenación y el control de la calidad del agua es un requisito importante debido a la carga de biomasa en la unidad de cultivo (Cantor, 2007; Barba et al. 2009).
- VI. Cosecha: La cosecha consiste en el tipo y las técnicas que se utilizan para la captura de la tilapia en el tanque y su posterior colocación en contenedores con hielo. Se recomienda realizar las actividades de extracción por la tarde o en la madrugada, y se sugiere utilizar redes de hilo alquitranado y evitar la de nylon, ya que esta hiera la mojarra provocándole heridas que pueden infectarse con hongos y bacterias. Para mantener la calidad del pescado se recomienda suspender el alimento un día antes a la cosecha y reducir el nivel del agua una noche antes, manteniendo siempre el flujo de agua y la aireación. Previo a la cosecha es necesario contactar al comprador para determinar cantidades y tamaños del pescado (Cantor, 2007; FAO, 2014).

### **3.5. Alimentación**

El control y administración del alimento en la acuicultura es crucial para incrementar la eficiencia y rentabilidad del sistema de producción; este proceso involucra el conocimiento de los requerimientos energéticos de la especie y las alternativas de sustitución (Gilardoni, 2011). Las fuentes de alimento en la acuicultura son: la fertilización de los estanques que genera la proliferación de alimento natural (microalgas) y la integración de alimento artificial balanceado con valores de proteína que oscilan entre 20 y 45% dependiendo de la fase de desarrollo. Este alimento brindará a los organismos las cantidades necesarias de proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales, fibras y vitaminas requeridas (Mayorga-Castañeda et al. 2011; Basualdo-Ramirez et al. 2012).

### 3.6. Planificación de proyectos de inversión acuícola

La planificación de un proyecto deberá comenzar definiendo los objetivos principales y el proceso de ejecución. Posterior a la planificación inicial. Da comienzo la ejecución del proyecto, el cual coordina la mano de obra, control de calidad y los recursos necesarios para alcanzar los objetivos planteados. Una vez iniciado el proyecto se debe contar con un plan de seguimiento y control, el cual incluye supervisión e implementación de actividades correctivas. Por último, una vez finalizado el proyecto, se procede a evaluar la calidad del producto o servicio generado (Ortegón, 2005) (Figura 3).

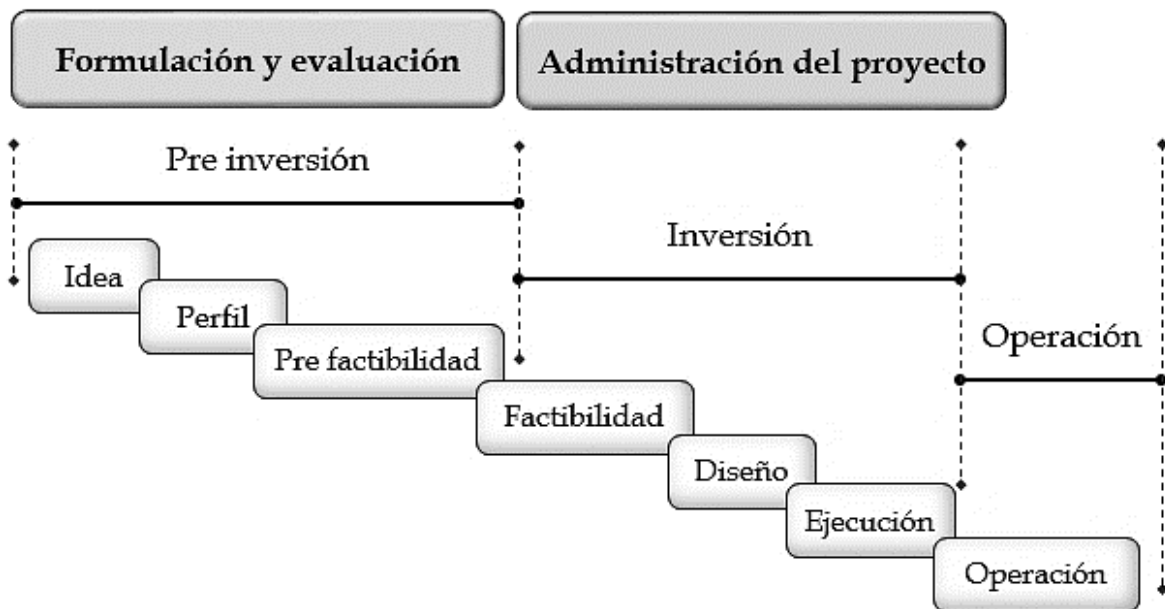


Figura 3. Gestión de un proyecto de inversión.

Una vez definido el producto o subproductos a producir y comercializar, se debe realizar un estudio de mercado, incluyendo su comportamiento histórico y tendencias a futuro. Este estudio infiere la respuesta del mercado ante un producto o servicio, con el fin de plantear la estrategia comercial más adecuada. Su objetivo principal es analizar ciertos aspectos como: la demanda y oferta en el mercado, los consumidores potenciales, la competencia existente, los canales de comercialización y distribución, la disponibilidad y costo de los insumos (Barraza-Soto, 2012).

Cuando el mercado y su comportamiento están definidos, se procede a realizar un estudio técnico. Dicho estudio recopila información pertinente a la ingeniería del proyecto y las herramientas de operación, cuantifica el monto de las inversiones y los costos de operación. Se definen alternativas de proceso, considerando aspectos técnicos y económicos como: escala o tamaño, inversión y costos de operación, empleos directos e indirectos, tiempos estimados, insumos y herramientas y procesos/esquemas de producción insumos (Barraza-Soto, 2012). Para evaluar la viabilidad económica y productiva de una granja de engorda es necesario considerar distintos factores para su desarrollo y ejecución (Polanco et al. 200) (Figura 4).

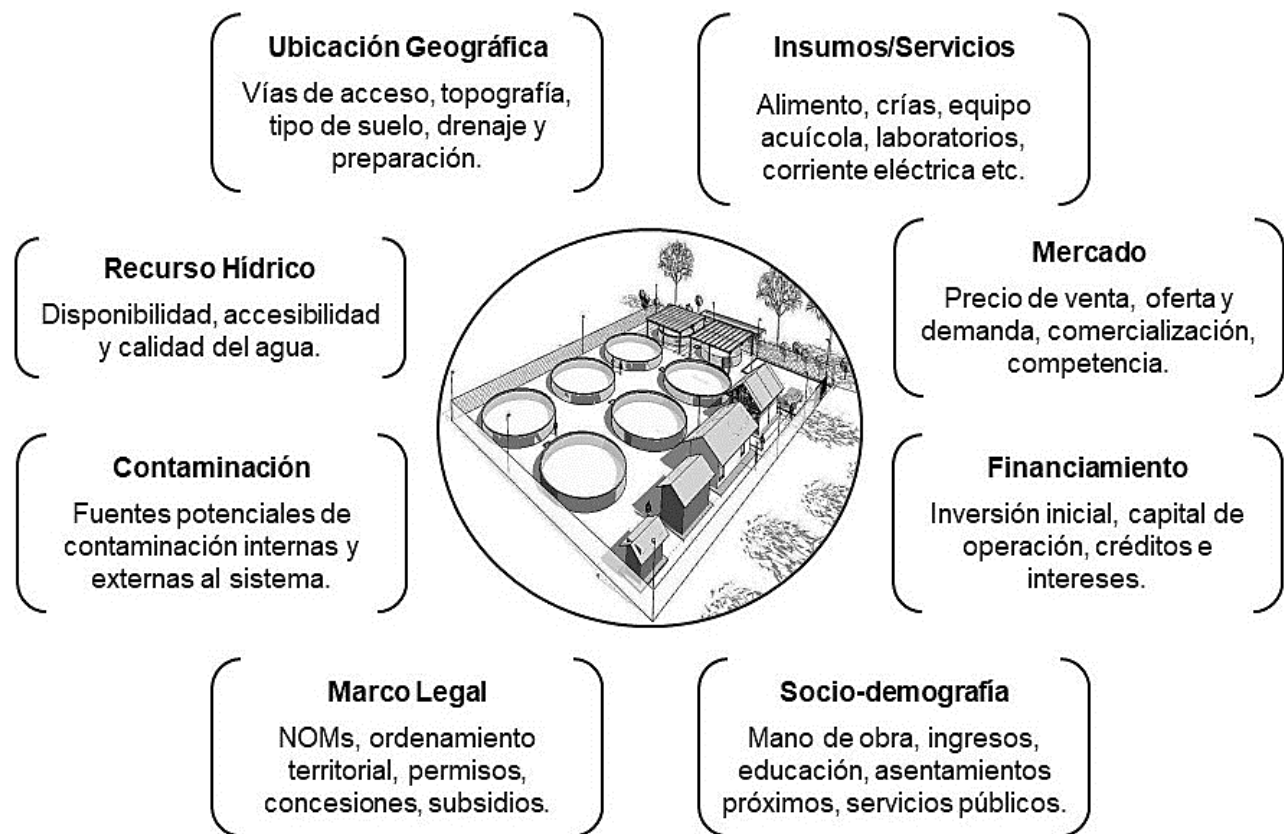


Figura 4. Consideraciones para el desarrollo de un sistema de producción acuícola.

Si no existen dudas respecto a la factibilidad y rentabilidad del sistema productivo, se puede continuar con la etapa de inversión inicial del proyecto. Esta etapa inicia en la ingeniería de detalle, especificando los componentes de cada sección. La siguiente etapa es la adquisición de equipo y material. Finalizando con la construcción y puesta en marcha insumos (Barraza-Soto, 2012). El cultivo de la tilapia es muy versátil ya que esta especie se adapta fácilmente al medio en que se cultiva y a diferentes tipos de sistemas, sin embargo, es necesario determinar desde el principio qué tipo de infraestructura para el cultivo se va a utilizar. La inversión inicial de un sistema acuícola dependerá de las características del terreno, la disponibilidad de volumen y calidad del agua, del capital de inversión, del costo de material y equipo, del nivel tecnológico que se desee aplicar y los mercados potenciales (Camacho, 1997).

### **3.7. Producto y mercado**

La tilapia es considerada una de las especies de mayor importancia para la actividad acuícola debido a su aporte nutricional y a otros factores, tales como el fomento y ampliación de los canales de distribución, la reducción de costos mediante el desarrollo tecnológico, el aumento de ingresos per cápita y la concentración urbana (FAO, 2014; Miles y Chapman, 2015). La tilapia puede ser de diferente tamaño y peso de acuerdo con las necesidades y preferencias del mercado. El peso ideal para su comercialización son 450 g, sin embargo, tallas entre 300 g y 600 g son aceptables. De acuerdo con el Programa Maestro Nacional de Tilapia (2008), las líneas comerciales que se compran en México son tres: tilapia entera fresca o congelada y tilapia fileteada y tilapia congelada, siempre utilizando el kilogramo como unidad de venta. La venta en vivo es actualmente una de las mejores opciones de comercialización, este mercado puede ser a pie de granja o bien en centros de acopio

Actualmente el mercado nacional de tilapia, o mojarra, presenta un gran potencial y se ha registrado un notorio incremento tanto en el consumo como en la producción. En los últimos 10 años, el consumo per cápita de tilapia aumentó 2.84 veces al pasar de 0.78 a 2.21 kg del 2008 al 2017, respectivamente. México importa tilapia

de China para abastecer 36.6% del consumo nacional, registrado en un total de 275,800 t (CONAPESCA, 2018). La mayor parte del volumen de tilapia producida en Yucatán se destina a cubrir la demanda del sector restaurantero y hotelero de la zona Riviera Maya en el estado vecino de Quintana Roo. Una menor proporción es destinada al comercio local, principalmente a cadenas de supermercado y restaurantes en la capital del estado y el puerto de Progreso. El periodo de venta más elevado es en cuaresma y los precios de la tilapia son más accesibles, lo que representa una ventaja sobre otras especies de pescados (Olvera-Novoa et al. 2005; Flores-Nava et al. 2016; Domínguez-May et al. 2020).

El establecimiento del precio de un producto es de suma importancia, ya que es un factor que influye en la percepción que tiene el consumidor final sobre el mismo. Para establecer un precio de venta adecuado se considera el costo y volumen de producción, al igual que aspectos financieros como el mercado bursátil, el tipo de cambio de divisas, y las tasas de inflación y descuento (Basualdo-Ramírez et al. 2012). El precio de comercialización de la tilapia varía dependiendo de la presentación del producto y el punto de venta (p.e. supermercado). En la Tabla 4 se presentan el precio de venta (\$MXN) de tilapia/mojarra ofertado en distintos puntos de venta.

Tabla 4. Comparación del precio de venta\* del producto tilapia en supermercados de México.

<b>Producto</b>	<b>Wal-Mart</b>	<b>Soriana</b>	<b>Chedraui</b>	<b>Superama</b>
Filete tilapia (kg)	\$99.00	\$69.00	\$105.00	\$104.00
Tilapia entera (kg)	\$72.00	\$54.80	\$68.00	\$80.00

\*precio de venta a marzo 2020

El precio de venta sugerido de la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) por zona geográfica para Yucatán, se define con un precio mínimo de \$64.00, un precio máximo de \$89.00 y un precio promedio de \$80.67, este cálculo se basa en el precio ofertado por establecimiento durante el mes de marzo del 2020.

### **3.8. Economía de la producción**

La economía es la ciencia social que trata la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, implica los costos e ingresos de todos los bienes y servicios que se adquieren bajo un esquema de rentabilidad, reconociendo condiciones de recursos limitados (Gispert, 2008). La economía se divide en dos ramas generales, la macroeconomía y la microeconomía. Esta última estudia el comportamiento de unidades individuales, analiza las variables que contribuyen a establecer los precios relacionados con los bienes, las cantidades y los beneficios que se generan (Krugman, 2007). La producción hace referencia al estudio de técnicas de gestión y procesamiento de bienes empleadas para obtener la mayor eficiencia productiva en la cadena de procesos económicos al menor costo (Rosales et al. 2004). La economía de la producción brinda los criterios y herramientas para determinar las cantidades óptimas de producción y demanda de recursos. En este marco, las empresas acuícolas presentan una gran diversidad en cuanto a la magnitud y a los procesos productivos, en consecuencia, la capacidad y los costos de producción son muy variables. Por ello la principal meta de los productores es la maximización de los beneficios económicos, a través de la eficiencia técnica y la asignación adecuada de recursos (Allen et al. 1984).

#### *3.8.1. Función de producción*

Las funciones de producción que permiten resumir las posibles combinaciones de factores y productos que son técnicamente viables, es decir, la cantidad de producto que puede ser obtenido, dado una cantidad determinada de insumos. Esta función analiza la cantidad total de producto (PT) que genera el sistema, el producto marginal (PM) que es la relación del incremento en el PT por el incremento en una unidad de insumo y el producto promedio (PP) se refiere a la productividad promedio por cada unidad de insumo (Jolly y Clonts, 1993). Con estos elementos, se puede decir que la función de producción se divide en tres etapas: 1) cuando el PM es mayor que el PP, el PT se mantiene creciente y el insumo analizado es subutilizado; 2) cuando el PP es igual al PM, en esta fase el PT sigue creciendo a una tasa decreciente, en esta etapa el uso del insumo es eficiente y 3) finaliza cuando el PM

es igual a cero, en esta etapa el exceso de insumos ocasiona efectos negativos en la eficiencia productiva (Shang, 1981; Meade, 1989). En acuicultura los objetivos se basan en la producción total, o biomasa potencial, la cual, está en función del crecimiento del pez y se comporta como una curva asimétrica sigmoidea. Donde se observa una etapa exponencial (estado juvenil), seguida por un periodo de crecimiento casi lineal y pasando a una etapa positiva decreciente a medida que el pez alcanza la talla comercial o máxima. En este contexto, el uso de modelos permite analizar estrategias de manejo de un cultivo que permita evaluar la eficiencia económicamente al determinar el tiempo óptimo de cosecha, analizar cómo se puede minimizar los costos, determinar el tamaño mínimo rentable de una granja, entre otros aspectos de la producción (Shang, 1981; Jolly y Clonts, 1993).

### *3.8.2. Costos de producción*

La estructura de costos y los costos de producción son conceptos importantes a considerar en el desarrollo y operación de una empresa acuícola. Los costos de producción son aquellos gastos en los que se incurren durante el proceso de producción y se restan de los ingresos en un periodo determinado (Bailly y Lagos, 1991). Las decisiones técnicas en los procesos de producción determinan las necesidades de cada insumo (alimento, crías, mano de obra, etc.) y el volumen de producción, mientras que las decisiones comerciales (precio venta, costos, financiamiento, etc.) determinan el capital de operación. Para que la explotación comercial de una especie sea considerada por el sector privado, debe existir un proceso de cultivo eficiente con costos de producción lo suficientemente bajos como para poder integrar un margen comercial de beneficios (Shang, 1981; Luna, 2002).

Los costos totales (CT) de producción se clasifican en variables y fijos. Los costos fijos (CF) hacen referencia a un periodo de corto plazo, durante el cual no hay variación de ciertos factores. Los costos variables (CV) están en función del nivel de producción, se considera su comportamiento a un largo plazo, debido a la variación en el valor monetario y el uso de los insumos. El costo medio (CMe) es el costo total dividido por el número de unidades producidas, es el valor que nos cuesta producir una unidad. El costo marginal (CMa) es la variación en el costo total, ante

el aumento en la producción, es decir, el costo adicional en que se incurrirá. Mientras el costo marginal esté por debajo del costo medio, el costo medio será decreciente, el punto más bajo de la curva de costo medio corresponde al nivel de actividad más eficiente de la empresa, es decir aquel en el que la empresa produce al mínimo costo por unidad de producto (Bailly y Lagos, 1991; Jolly y Clonts, 1993). Allen et al. (1984), define el comportamiento de los costos con relación a la producción y su representación en isocuantas como se puede ver en la Figura 5.

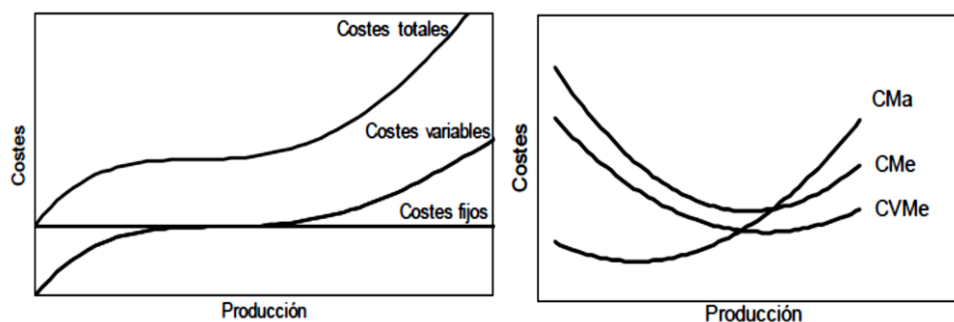


Figura 5. Curvas de costos y su relación con la producción (Allen et al., 1984).

El nivel máximo de producción dependerá de los costos de producción y de los ingresos por ventas. Un enfoque marginal definirá el equilibrio del sistema a corto plazo, permitiendo observar los niveles de producción que maximizan los beneficios. El ingreso marginal (IM) representa el cambio en el ingreso bruto por venta con relación a la escala de producción. El beneficio es máximo cuando el costo marginal (C<sub>Ma</sub>) iguala al ingreso marginal (IM). El nivel o la cantidad óptima de producción ocurre cuando el costo marginal (C<sub>Ma</sub>) iguala al costo medio (C<sub>Me</sub>), lo cual representa el punto en el cual el costo medio es mínimo (Jolly y Clonts, 1993; Gasca-Leyva et al. 2002) (Figura 6). Generalmente, en etapas iniciales de producción, el ingreso marginal suele ser mayor que el costo marginal, por tanto, resulta rentable seguir operando a este nivel, sin embargo, en fases posteriores, cuando la producción es relativamente alta, los costos marginales pueden ser mayores que los ingresos marginales. Si el mercado se encuentra en competencia perfecta, es decir, donde todas las empresas compiten en el mercado con un mismo tipo de



producto y venden al mismo precio, la curva del ingreso marginal será una línea horizontal igual al precio unitario, independientemente del nivel de producción (Palacio, 2002; Krugman, 2007).

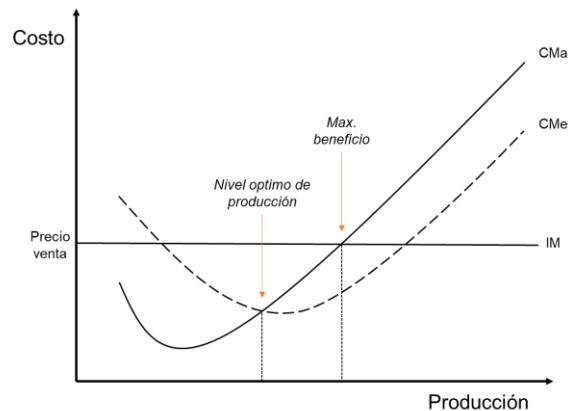


Figura 6. Enfoque marginal de producción en microeconomía.

### 3.8.3. Análisis económico

El análisis económico es esencial para evaluar la viabilidad de una inversión, determinar la eficiencia en el uso de los recursos, mejorar las prácticas de manejo, internalizar los costos, evaluar nuevas tecnologías y acceso a mercados potenciales (Muñoz et al. 2016). El análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, y cuál será el costo total de la operación de la planta, considerando un periodo determinado de tiempo (Baca, 2013). Las herramientas para el análisis económico se pueden dividir en relación con el componente o etapa de desarrollo de un sistema (Shang, 1981; Jolly y Clonts, 1993):

- Análisis beneficio/costo (B/C); determina el costo de producir un bien y los beneficios de tal producción. Implica la estimación de los costos de producción, beneficios, etc., utilizando estimadores como ingresos netos, tasa interna de rendimiento, y otros en su evaluación.

- Análisis de flujo de efectivo; se emplea para evaluar la empresa durante su operación, y su potencial para cumplir con compromisos financieros. Considera los egresos e ingresos, así como a la tasa de descuento en un horizonte temporal pertinente.
- Análisis de viabilidad de la inversión; estudia las alternativas y proceso de inversión en base a los costos de inversión y de producción. Se caracteriza por tres parámetros de evaluación: el monto de inversión, tiempo de vida de la inversión y los rendimientos generados en dicho tiempo de vida.

Las herramientas de mayor uso empeladas en la evaluación de la viabilidad de la inversión y la eficiencia económica del proyecto acuícola son (Shang, 1981; Jolly y Clonts, 1993; Acosta et al. 2002; Gasca-Leyva et al. 2002):

- La rentabilidad. Estudia la relación entre los beneficios obtenidos y el capital o costo necesario para generar dichos beneficios. Desde la perspectiva económica, el rendimiento de las inversiones está influido por la eficiencia operativa, el grado de libertad en la fijación del precio de venta y el grado de utilización del activo.
- Retorno de la inversión. Se calcula como el cociente entre el monto de inversión inicial y el flujo anual, es decir, el tiempo (años) en que recuperamos lo invertido.
- Valor presente neto (VPN). Es la diferencia entre el valor de las entradas de efectivo y el valor actual de las salidas de efectivo a lo largo de un período de tiempo, incorpora la inversión inicial y una tasa de interés o descuento. Es una buena herramienta de comparación entre proyectos de inversión. Un valor de  $VPN > 0$  genera ganancias,  $VPN < 0$  ocasionara pérdidas y un  $VPN = 0$  es neutro.
- Tasa interna de rendimiento (TIR). Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es decir, el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá la inversión inicial. Igualmente, se considera como el valor de la tasa de descuento que iguala a cero el VPN, para un proyecto de inversión dado.

La evaluación económica en la acuicultura se ha desarrollado bajo distintos enfoques o intereses de producción, siendo el análisis beneficio/costo (B/C) el principal indicador de comparación entre sistemas y escenarios de producción. En este sentido, Liti et al. (2005) estudiaron el rendimiento económico de distintas dietas en el cultivo de tilapia nilótica, Ponzoni et al. (2007) analizaron la rentabilidad de un sistema de producción de crías de tilapia nilótica, mientras que Costa et al. (2017) estudiaron la viabilidad y el rendimiento productivo del ciclo de producción en función de distintas densidades de cultivo.

#### *3.8.4. Optimización de la producción*

El proceso de optimización consiste en determinar la forma más eficiente de utilizar los recursos disponibles, con el objetivo de maximizar los beneficios económicos, integrando supuestos económicos y de mercado en la producción de bienes y servicios (Allen et al. 1984). El nivel de producción se determina por la relación existente entre insumos y productos a los que se denomina “tecnología” (Meade, 1989). Una empresa acuícola ineficiente técnicamente podría incrementar las cantidades de producto (biomasa) sin incrementar las cantidades de insumo (alimento), si mejora el proceso productivo o tecnología. Por este hecho se deduce que la ineficiencia técnica es resultado de la sobreexplotación de alguno de los insumos involucrados en el proceso de producción (Basualdo-Ramírez et al. 2012). Para determinar el nivel adecuado de factores es necesario considerar el costo de estos factores y el precio del producto, integrando la función de producción. Los beneficios serán maximizados cuando el rendimiento añadido de la última unidad de un factor iguale al precio de éste. En acuicultura comercial, se presentan tres condiciones primordiales que influyen sobre el nivel de máximos beneficios de los recursos: 1) precio del producto, 2) precio de los insumos, 3) las combinaciones de tecnología que afectan al producto marginal (Gasca-Leyva et al. 2002).

La evaluación y el análisis económico de la producción se estudian por medio de dos métodos comúnmente utilizados en la acuicultura:

- 1) Método de simulación. Describe y cuantifica el comportamiento de distintos factores de un sistema. Es una herramienta apropiada para el estudio de la gestión en acuicultura y el análisis de viabilidad económica. La dinámica del sistema se puede estudiar observando su evolución para diferentes períodos temporales (Bywater y Cacho, 1994). Ponce-Marbán et al. (2006) realizaron análisis de simulación enfocados en determinar la factibilidad en la producción del policultivo de tilapia nilótica y langosta australiana. Poot-López et al. (2014) evaluaron el componente económico por medio del VPN y el componente ambiental utilizando el TAN (nitrógeno amoniacal total) en la producción de tilapia, mediante la simulación de escenarios determinó las raciones de alimento con mayor eficiencia (Tabla 5).
- 2) Método de optimización. La teoría de control óptimo se basa en técnicas de optimización y programación dinámica sobre relaciones de tipo biológico y físico. El objetivo de la optimización es conocer la decisión adecuada para cada período de tiempo sobre algún aspecto del sistema (cosecha, calidad de alimentación, ración, densidad, etc.). Esta decisión óptima puede ser aquella que maximiza los beneficios económicos o minimiza los costos en cada período. Estas técnicas son de reciente uso en la acuicultura, y existen relativamente pocos trabajos que, por lo mismo, han sido sólo aplicadas a unas pocas especies de alto valor comercial (Engle, 2007). En el caso de la tilapia nilótica, Domínguez-May et al. (2020) integraron un modelo bioeconómico con el objetivo de analizar las raciones óptimas de alimentación en función de las tallas comerciales y su precio en el mercado. Determinar el tiempo óptimo de cosecha (TOC) ha sido uno de los objetivos de mayor relevancia en la actividad acuícola. El estudio bioeconómico realizado por Springborn et al. (1992) fue de los primeros en ser aplicado a la producción de tilapia nilótica, aunque recientemente Kim et al. (2020) analizaron el efecto de la dispersión de tallas en el TOC para el cultivo comercial de tilapia nilótica en Yucatán, México (Tabla 5).

Tabla 5. Trabajos de investigación relacionados con la economía de la producción de tilapia nilótica (*O. niloticus*).

<b>Especie</b>	<b>Técnicas de análisis</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Autores</b>
Tilapia nilótica	Tiempo óptimo de cosecha (TOC)	Determinar el tiempo óptimo de cosecha y el efecto de la fertilización sobre el mismo.	Springborn et al. 1992
Tilapia nilótica	Análisis beneficio-Costo (B/C) y comportamiento de presupuesto Modelo bioeconómico de simulación,	Análisis comparativo del desempeño de cuatro diferentes dietas sobre el resultado económico.	Liti et al. 2005
Tilapia nilótica langosta australiana	Evaluación del VPN, TIR y retorno de la inversión	Analizar la factibilidad productiva y económica del policultivo de tilapia y langosta australiana.	Ponce-Marbán et al. 2006
Tilapia nilótica	Análisis beneficio-Costo (B/C) y rentabilidad parcial Modelo bioeconómico de simulación de escenarios,	Evaluar la rentabilidad de granjas de producción de crías con reproductores genéticamente mejorados.	Ponzoni et al. 2007
Tilapia nilótica	evaluación del VPN y TAN	Determinar la ración alimenticia más eficiente en la producción de pequeña escala.	Poot-López et al. 2014
Tilapia nilótica	Análisis de rentabilidad, método lineal de depreciación, costos de operación eficientes Modelo bioeconómico de optimización, análisis de rentabilidad	Determinar los ciclos de producción en función de diferentes densidades, viabilidad y rendimiento productivo.	Costa et al. 2017
Tilapia nilótica	Modelo bioeconómico de optimización, análisis de rentabilidad	Analizar alternativas de alimentación óptima en base a precio y tamaños de mercado.	Domínguez-May et al. 2020
Tilapia nilótica	Modelo bioeconómico de optimización, análisis de rentabilidad, tiempo óptimo de cosecha (TOC)	Analizar el efecto de la dispersión de tallas en el tiempo óptimo de cosecha.	Kim et al. 2020

### 3.9. Economías de escala

El término escala se refiere al tamaño de la empresa o el sistema medido por su capacidad o unidades de producción. En economía, el análisis de la escala hace referencia a dos conceptos, rendimientos de escala y economía de escala. Los rendimientos de escala indican la variación del *output* con relación al *input* de producción en términos físicos, el término de economías de escala se refiere a las reducciones en el coste medio unitario a medida que aumenta la producción o infraestructura y el aumento en el uso de insumos (Panzar y Willig, 1981; Tribe y Alpine, 1986). Las fuentes habituales de economías de escala son el inventario (compra a gran escala de insumos a través de contratos de largo plazo), logística (distribución, especialización), financiera (tasa de interés bajo, contabilidad), marketing (intermediarios, transformación de subproductos) y tecnológicas (beneficiándose de los rendimientos de escala en la función de producción). Generalmente, un mayor volumen de producción resulta en una mayor subdivisión y especialización en la utilización de insumos como materia prima, mano de obra, supervisión y tecnologías. Esto tiene un efecto directo en la conducta de los costos y los rendimientos en el corto plazo (Shang, 1981; Muñoz et al. 2016).

En el corto plazo una empresa puede variar la cantidad de trabajo e insumos que utiliza, pero la cantidad de capital o tecnología es fija, es decir, la empresa no modifica su tamaño. La escala de operación se define por la cantidad de insumos fijos empleados, lo cual determina a su vez la capacidad de producción de la empresa en el corto plazo. El largo plazo se define como el período de tiempo suficientemente largo como para permitir la variación en la escala de operación, la cantidad de capital y la tecnología utilizada por la empresa productiva (Álvarez, 2004; Krugman, 2007). Cada tamaño de empresa en el corto plazo tiene una curva de costo medio (CMeC) como la presentada. En el largo plazo existe una curva de costo medio (CMeL) que envuelve las diferentes curvas de CMeC. El CMeL está formado por dos partes: la variación que experimentan los costos cuando se mantiene fijo el tamaño de la planta, más la variación que experimentan los costos cuando se ajusta (Figura 7) (Blair y Kenny, 1983; Allen et al., 1984).

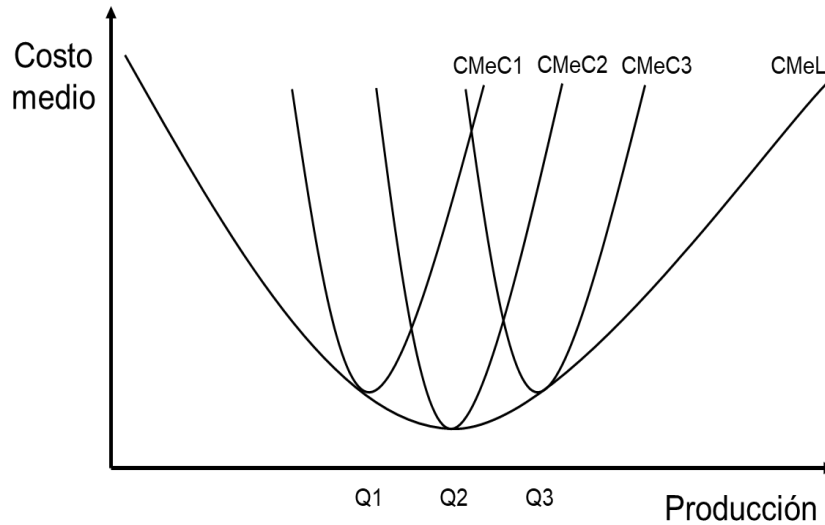


Figura 7. Curvas de costo medio de corto plazo (CMeC) integradas en la curva de largo plazo (CMeL).

La acuicultura puede ser organizada por diversos modelos y a distintas magnitudes de operación, se identifican dos categorías principales de organización: (a) acuicultura rural a pequeña escala, y (b) acuicultura a gran escala. Esta clasificación es muy elástica ya que pueden existir muchos niveles intermedios de organización dependiendo el sector productivo (Gasca-Leyva et al. 2002). Un incremento proporcional en la producción generará una disminución de los costes medios de producción, debido a que los costes fijos se distribuyen entre más unidades de producción y los insumos utilizados se ajustan más eficientemente (Allen et al., 1984). Estamos en un escenario de economía de escala cuando un aumento en la producción genera una disminución del coste unitario o costo medio de producción, y por ende una mejora del rendimiento económico. Sin embargo, si esta producción aumenta hasta un nivel en que algunos insumos se convierten en limitantes, los costos medios tenderán a incrementarse y el sistema operara en economía de escala. Si el costo medio aumenta en el mismo porcentaje, estaríamos ante economías constantes de escala (Jolly y Clonts, 1993) (Figura 8).

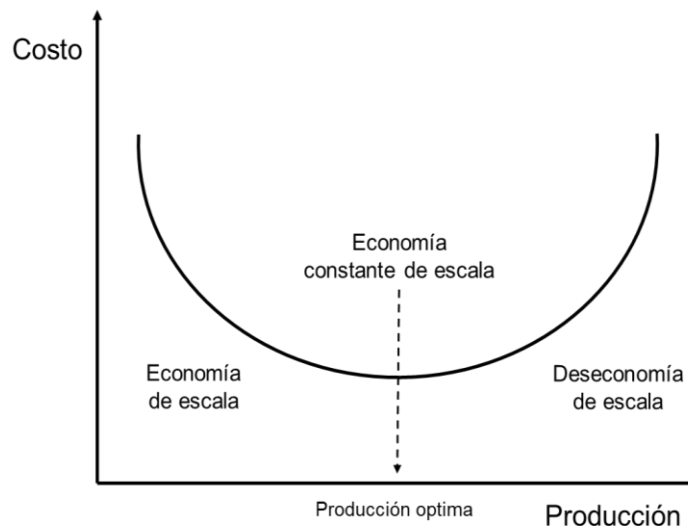


Figura 8. Economía de escalas en el largo plazo.

### 3.10. Tamaño de granja

En la actividad acuícola, la definición del tamaño de la granja está en función de las necesidades de productores e inversionistas y se relaciona comúnmente con la capacidad y la magnitud de la producción. Los principales factores que considerar para el crecimiento de una granja son: el monto de la inversión, la superficie del terreno, disponibilidad de recursos e insumos, la magnitud y cercanía del mercado, la tecnología de cultivo, la capacidad productiva instalada en m<sup>3</sup> de agua y las posibilidades de crecimiento de la empresa en cuanto a la capacidad de pago o capital en el corto y largo plazo (Allen et al., 1984; Gasca-Leyva et al., 2002). La dimensión de la empresa es considerada una cuestión económica, por lo que es común utilizar como variables *proxy* del tamaño de la empresa distintos indicadores económicos, tales como el valor de los activos o los ingresos por ventas (Suárez, 1977; Gómez-Miranda y Rodríguez-Ariza, 2004). El estudio enfocado al nivel de producción o el tamaño del sistema en acuicultura es indispensable. Su objetivo es la maximización de los rendimientos económicos bajo el supuesto de una eficiencia técnica en la producción. En la Tabla 6 se presentan estudios bioeconómicos enfocados en el análisis de los rendimientos y la productividad bajo escalas o tamaños de granja. Estos trabajos de investigación se realizan a partir de



información socioeconómica y datos de producción de cultivo comercial de las especies de mayor interés; esturión (Logan et al. 1995), dorada (Gasca-Leyva et al. 2002; De Benito et al. 2012), camarón (Tian et al. 2000; González-Romero et al. 2014) y la tilapia (Elhendy y Alzoom, 2001; Zongli et al. 2017; Yuan et al. 2020).

Tabla 6. Trabajos de investigación bioeconómica relacionados a la escala de producción y/o tamaño de sistema.

<b>Especie</b>	<b>Técnica de análisis</b>	<b>Variables de decisión</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Autores</b>
Esturión	Simulación por programación dinámica	Tamaño de granja, densidad de cultivo, talla de cosecha	Analizar el beneficio/costo y el retorno de la inversión	Logan et al. 1995
Dorada	Modelo de simulación	Localización, talla de cosecha, tamaño de granja, costos medios	Analizar la economía de escala y el nivel óptimo de producción	Gasca-Leyva et al. 2002
Dorada	Estudio económico estático y dinámico, análisis de sensibilidad	Talla de cosecha, volumen de producción, precio de venta	Análisis de rentabilidad económica por escenarios	De Benito et al. 2012
Camarón	Modelo informático de simulación económica	Densidad de siembra, tiempo de cosecha, tamaño de granja	Economía de producción y optimización	Tian et al. 2000
Camarón	Simulación de rendimiento económico y minimización de riesgo	Monto de inversión, costos e ingresos, tamaño de estanque	Determinar el tamaño óptimo de estanque y producción	González-Romero et al. 2014
Tilapia sp.	Función de costos por regresión de mínimos cuadrados, función cubica de producción	Número y tamaño de grajas, nivel de producción, costos de producción, perfil socioeconómico	Analizar factores y costos determinantes en el óptimo de producción.	Elhendy y Alzoom, 2001
Tilapia nilótica	Análisis de envoltura de datos (DEA)	Escala de producción, precio y costo de producción, ración de alimento, perfil socioeconómico del productor	Analizar la eficiencia técnico-económica y determinar el efecto de los factores en la productividad	Zongli et al. 2017
Tilapia nilótica	Modelo de ineficiencia técnica, función de producción Cobb-Douglas	Biomasa, costos de producción, tamaño de estanque	Estimar la eficiencia técnica específica del sistema y el tamaño óptimo	Yuan et al. 2020

En la economía de la producción en cultivos de engorda de tilapia, el tamaño de granja o la escala producción considera el uso de insumos, equipo de operación, mano de obra y aspectos socioeconómicos regionales. Zongli et al. (2017), determinaron que la ineficiencia técnica en el uso de los insumos de producción es el principal problema en la rentabilidad de granjas de tamaño pequeño, debido en gran parte a factores sociales y a la falta de organización sectorial. El análisis económico enfocado en optimizar el tamaño de granja implica los costos de adquisición de activos y costos de operación. Elhendy y Alzoom (2001), estudiaron la elasticidad de la producción y el comportamiento de los costos marginales bajo distintas escalas, definiendo el costo del alimento como la principal limitante en el incremento de la rentabilidad económica, derivada de la eficiencia productiva. Yuan et al. (2020), estimaron la eficiencia técnica a distintas escalas mediante la función de producción de Cobb-Douglas, seguido de un análisis de regresión de mínimos cuadrados de la relación eficiencia técnica con el tamaño de granja, determinando un tamaño óptimo de producción de tilapia en China. Dichos estudios se relacionan únicamente con granjas que emplean una tecnología de cultivo en estanques de área extensa excavados en tierra, donde el área geográfica y la disponibilidad del recurso hídrico son fundamentales en el desarrollo e incremento de la producción.

Debido a las características del terreno y la disponibilidad de agua subterránea en la península de Yucatán, el cultivo de tilapia se realiza en tanques circulares fuera de tierra, por lo que el proceso y los factores de producción, así como los costos asociados serán distintos. Por lo anterior se resalta la importancia de realizar estudios enfocados en determinar puntos de eficiencia técnica en la producción, el comportamiento de los costos medios de producción y escalas óptimas rentables de operación e inversión en el cultivo de engorda de tilapia nilótica.

## **4. Preguntas de Investigación**

¿Qué factores productivos y de inversión definen el tamaño óptimo de una granja de engorda de Tilapia en Yucatán?

¿Al incrementar el tamaño de la granja de engorda de Tilapia, el costo de producción unitario se reduciría o se incrementará?

¿Aumentarán los rendimientos económicos de una granja de engorda de Tilapia, cuando los equipos indivisibles estén operando de manera eficiente?

## **5. Objetivo**

### **5.1. General**

- Determinar el tamaño óptimo, y mínimo rentable, de una granja de engorda de tilapia en el estado de Yucatán.
- Estudiar la economía de la producción del cultivo de tilapia del Nilo en estanques, bajo diferentes escalas y escenarios. Determinando la importancia de los diferentes factores técnicos y económicos en la producción.

### **5.2. Particulares**

- Integrar un análisis beneficio/costo en el sistema de producción.
- Integrar los elementos necesarios al modelo económico, para estudiar los efectos de escalas en el sistema de producción.
- Evidenciar las escalas de granja óptima y evaluar el rendimiento económico de su producción.
- Determinar el grado de sensibilidad del sistema de producción con respecto al precio de venta y los factores determinantes en la producción.

## 6. Métodos

Dada la disponibilidad de información generada en la región por sistemas comerciales de engorda de tilapia (*O. niloticus*) y los beneficios derivados de su aplicación, se desarrolló un modelo económico estático. Se consideró la inversión inicial requerida y los factores determinantes en la producción y rentabilidad económica de los sistemas de cultivo. Dichos factores se utilizaron en el proceso de optimización y simulación del tamaño/escala de granja mediante puntos de referencia mínimos y óptimos, analizando los costos y beneficios asociados en un año de operación. El horizonte de producción se consideró a un periodo de cinco años, esta decisión fue hecha tomando en cuenta la vida útil de la inversión productiva, del cual se supone que los activos tangibles alcanzarán su valor residual (FIRA, 2012). El modelo económico se desarrolló bajo el método de producción constante y sin inflación (Baca, 2013). El tipo de cambio o valor monetario (\$) se expresa en pesos mexicanos (MXN).

El presente modelo económico planteado como sistema se integra por dos submodelos: técnico/manejo y económico. Se presenta inicialmente de manera conceptual, identificando los principales componentes y sus interacciones dentro del sistema (Figura 9). Posteriormente se estructura de manera funcional y se describe matemáticamente la entrada y salida de información entre los submodelos, definidas por la interacción de factores técnico-económicos de producción. La modelación y análisis de la producción de tilapia nilótica en Yucatán se implementó en el programa Crystal Ball y MS Excel con la extensión Solver. Una vez integrado el modelo, se evaluó su coherencia lógica y ajuste del sistema en contexto, se realizó una evaluación económica y un análisis de sensibilidad para identificar los factores determinantes en el rendimiento económico del sistema acuícola en distintos tamaños de granja o escalas de producción.

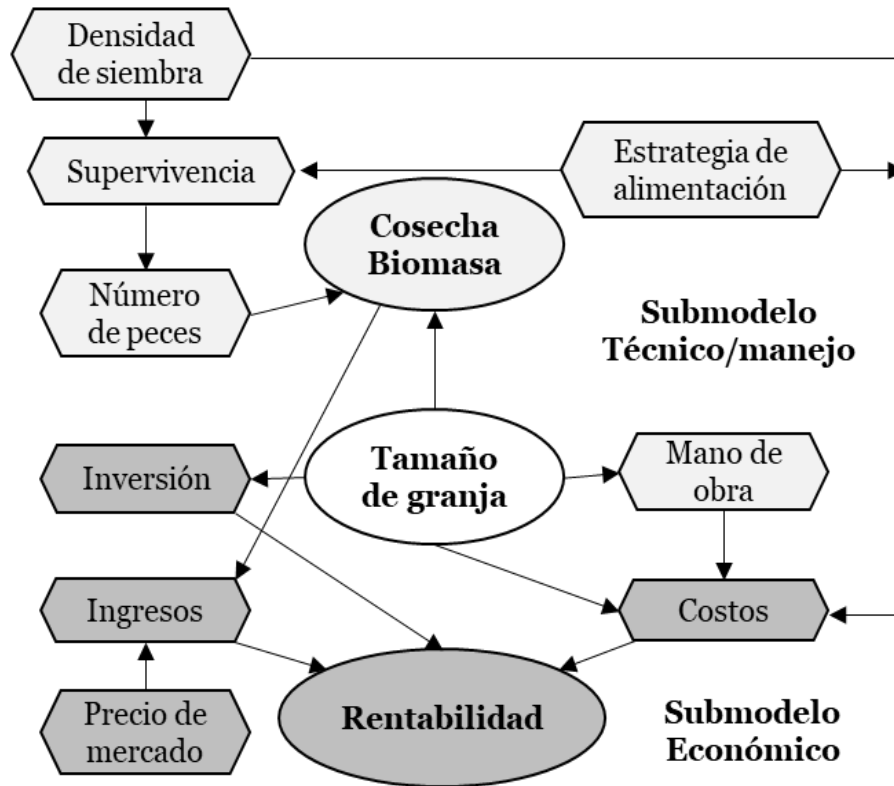


Figura 9. Representación conceptual del modelo de producción de tilapia nilótica en un sistema acuícola de engorda.

### 6.1. Origen de la información

Los datos utilizados en el proceso de parametrización y desarrollo del modelo provienen de la operación y producción actual de granjas acuícolas enfocadas en el engorde y comercialización del producto tilapia nilótica. Se visitó un total de 12 granjas de tamaño variable y se entrevistó a 21 productores de tilapia en el estado de Yucatán. Especificaciones técnicas y costos del equipo de operación e inversión, así como de los insumos fueron complementados por empresas consultoras y de comercialización de equipos acuícolas. Se realizó una investigación bibliográfica en áreas de economía, biología y técnicas de cultivo de la especie *Oreochromis niloticus*, para complementar y fundamentar las especificaciones del modelo matemático. Los supuestos técnicos, biológicos y económicos de la producción de tilapia nilótica se obtuvieron mediante visitas a granjas de engorda, entrevistas a

productores y comerciantes de insumos acuícolas. Dicha información y su análisis se presenta en el capítulo de resultados.

## **6.2. Tecnología de producción de granjas de engorda en Yucatán.**

De acuerdo con los datos recolectados de los sistemas de producción acuícola en el estado de Yucatán, las granjas de engorda de tilapia nilótica considerados para este estudio son de tipo intensivo. Como unidad de cultivo se utiliza tanques circulares de diámetro variable (6–18 m diámetro) de concreto o malla galvanizada con recubrimiento liner de PVC, ambos sistemas son abiertos con desagüe/drenaje central hacia un pozo de absorción o canal de vertimiento. Como unidad de cultivo se utilizó un tanque circular de liner de 16 m de diámetro y 1.20 m de altura, con una superficie de 201.06 m<sup>2</sup>, un volumen máximo de 241.27 m<sup>3</sup> y un volumen real de 211.12 m<sup>3</sup>. El agua es extraída de un pozo de profundidad variable (depende el nivel freático del agua), generalmente se utilizan motobombas de 5 a 25 HP, dependiendo la disponibilidad de agua y el requerimiento del sistema. Se utiliza un sistema de aireación integrado por un soplador de turbina (blower) o aireadores de paleta y dispositivos de difusión del aire (piedras, mangueras, discos, etc.).

En la producción de tilapia se distinguen tres etapas de desarrollo; cría, pre-engorda y engorda. Los ciclos de producción son continuos con una duración de 6 meses, iniciando con la siembra de alevines de 1-1.5 g y concluyendo con la cosecha de peces de talla/peso comercial de 450 g, aunque tallas menores y mayores son aceptadas en el mercado. Si bien, la mayoría de las granjas en el estado llevan a cabo dichas etapas en distintas unidades de producción (tanques) bajo esquemas de gradación de tallas durante el ciclo de cultivo, otras optan por realizar el proceso completo en una unidad de producción hasta el momento de la cosecha (Tabla 7). El factor de conversión alimenticia (FCA) hace referencia al alimento suministrado desde la siembra hasta la cosecha y la biomasa producida en una unidad de cultivo. Dicho factor depende de la calidad y cantidad de alimento suministrado y las decisiones de manejo en cuanto a racionamiento por parte de los productores. Con

base a la información proporcionada por los productores y el mercado regional, se consideró un precio de venta fijo general de \$55 por kg de tilapia entera (Tabla 8).

Tabla 7. Cronograma de producción anual (1 tanque de 16 m de diámetro, densidad de cultivo de 35 org/m<sup>3</sup>).

Periodo	Meses cultivo	Siembra	Supervivencia	Peces calidad	Biomasa cosecha
Ciclo 1	6	7,800 org	95%	100%	3,334.5 kg
Ciclo 2	6	7,800 org	95%	100%	3,334.5 kg
Año 1			14,820 org		6,669.0 kg

Tabla 8. Supuestos técnico-biológicos de la producción en granjas de engorda de tilapia nilótica en Yucatán.

Concepto	Cantidad	Unidad de medida
Capacidad tanque	211.12	m <sup>3</sup>
Densidad de cultivo	35	org/m <sup>3</sup>
Peso (talla)	Siembra	1 g
	Cosecha	450
Ciclo de cultivo	6	mes
F.C.A	1.4	tasa/ciclo
Tasa de mortalidad	5	%
Mano de obra	Técnico	1 empleado/granja
	Vigilante	1
	Empleado	1/8 empleado/tanque
Precio de venta	55.00	\$/kg

El costo de mayor importancia en la rentabilidad de la granja es el alimento, seguido de la adquisición de crías/alevines y la energía eléctrica en función a la tarifa de consumo. El precio individual por alevín masculinizado de tilapia nilótica es de \$1.00 más \$0.15 por el transporte y puesta en granja. Cabe señalar que en Yucatán únicamente se cuenta con un distribuidor comercial de alevines, la mayor demanda de este insumo es cubierto por laboratorios ubicados en los estados de Campeche, Tabasco y Chiapas, lo cual representa un incremento en el costo de flete o transporte. El recurso humano es determinado por el interés de producción y la capacidad de pago de la granja, se considera óptimo el contar con un técnico en producción y mano de obra para labor de mantenimiento y operación. En base a lo documentado, se consideró un técnico/administrador como gerente de producción y un vigilante, independientemente del tamaño o número de unidades de cultivo, y un empelado calificado para operar de manera óptima 8 unidades de cultivo (tanque 16 m diámetro). Los salarios empleados en el análisis se definieron en base a lo expresados por las distintas granjas visitadas y al salario mínimo nacional (\$123.22 + \$50; Secretaría del Trabajo y Previsión Social. 2020). El costo por consumo de energía eléctrica se debe principalmente al funcionamiento de equipo de operación (motobombas, aireadores), los cuales están en relación con el número de unidades de cultivo o capacidad de producción del sistema. Este costo eléctrico depende en gran parte de la instalación y capacidad de la acometida eléctrica y los regímenes de apoyo gubernamental o subsidios de CFE (Comisión Federal de Electricidad) con el que cuente cada granja en particular. De acuerdo con la información compartida por las granjas y productores de tilapia en Yucatán, se determinó un costo de consumo general de \$1,000.00 mensuales por tanque de engorda en un sistema intensivo. El análisis de rendimiento económico considera como costo de oportunidad una tasa de descuento anual de 5% acuerdo a los certificados de la tesorería (CETES) a 364 días y la tasa de interés interbancaria de equilibrio (TIIE) a 182 días (Banco de México, julio-2020) (Tabla 9).



Tabla 9. Supuestos económicos de operación asumidos en el modelo bioeconómico.

<b>Concepto</b>		<b>Unidad de medida</b>	<b>Valor (\$)</b>
	Alevines	\$/unidad	\$ 1.15
	4516		\$ 30.90
Alimento balanceado	4010	\$/kg	\$ 26.30
	3205		\$ 16.50
	2505		\$ 15.40
	Consumo eléctrico	\$/tanque/mes	\$ 1,000.00
Mano de obra	Técnico	\$/mes	\$ 12,000.00
	Vigilante	\$/mes	\$ 4,000.00
	Empleado	\$/mes	\$ 5,196.60
	Otros costos	5% (\$alimento + \$alevín)	
	Tasa de descuento anual (i)	%	5.0

### 6.3. Submodelo técnico

Se refiere al manejo integral del sistema, implica determinar la forma en que interactúan e influyen cada componente y su proceso en el crecimiento biológico y en la utilización de insumos de producción. La densidad de cultivo y ciclos de cosecha son decisiones que toma el gestor y que a su vez afectan a la biomasa del tanque de cultivo. Mientras que las estrategias de alimentación, aireación y recambios de agua afectarán la capacidad de carga del tanque y al potencial de crecimiento de los organismos. Las necesidades de manejo de cada jaula o en su conjunto pueden ser modeladas de varias formas, (Cacho, 1997) recomienda se modelen tanques o sistemas individuales en forma de matrices y vectores.

Las técnicas de manejo tienen un efecto directo en el crecimiento y supervivencia de los organismos, y por ende, en la rentabilidad económica del sistema. El componente técnico representa la gestión del sistema mediante estrategias de producción y las variables/factores operacionales del sistema de cultivo que el productor puede gestionar. A continuación, se describen los factores empleados en el componente técnico de modelación del sistema de engorda de tilapia.

El número de peces que se siembra debe adaptarse a una densidad inicial predeterminada por la capacidad o tamaño de los tanques de cultivo, el oxígeno disponible en el medio y al volumen de producción/cosecha planificado. La **Siembra (S)** es el número inicial de alevines en el sistema de cultivo o la densidad ( $\text{org}/\text{m}^3$ ) en relación con el volumen de agua disponible. La mortalidad de peces en los sistemas de producción acuícola se presenta a lo largo del ciclo de cultivo, por lo general con valores elevados durante la siembra e inicio del cultivo. Dicha mortalidad está asociada a factores endógenos (calidad del agua, patógenos, alimentación, etc.) y/o exógenos (depredación, manipulación, calidad del alevín, etc.) del medio de cultivo. La **Mortalidad (M)**, hace referencia a la pérdida de peces partiendo de un lote inicial en los sistemas de cultivo, por lo general se representa como tasas instantáneas de cambio (**TM**). A partir de valores proporcionados por sistemas comerciales de engorda y productores de tilapia en el estado de Yucatán, se determina que las granjas operan con densidades de cultivo entre 25 y 45 organismos por metros cubico ( $\text{org}/\text{m}^3$ ), y con mortalidades de entre 2 y 5% por ciclo de cultivo. Para fines de este estudio se considera una densidad de  $35 \text{ org}/\text{m}^3$  y 5% de mortalidad por ciclo de cultivo.

El **número de peces (N)**, hace referencia a los organismos disponibles a determinado periodo de tiempo en los tanques de cultivo. Esta variable dependerá de la capacidad de los tanques de cultivo y el número inicial de organismos en el sistema o siembra. La población total de peces disminuye debido a distintos factores de mortalidad durante el ciclo de cultivo. El número de tilapias en el sistema se estima mediante la siguiente ecuación:

$$N_{(t)} = S - TM_{(t)} * N \quad [\text{Ec. I}]$$

*Donde  $N(t)$  es el número de peces en el tiempo,  $S$  el número de peces inicialmente sembrados y  $TM$  como la tasa de mortalidad en el tiempo.*

**Capacidad de producción (CP)**, también considerado como el tamaño de granja o sistema, generalmente se expresa en términos de capacidad total en unidades de volumen de agua ( $m^3$ ). Se considera la capacidad de cada tamaño de tanque circular de engorda en el sistema de cultivo:

$$V = \pi * R^2 * h \quad [\text{Ec. II}]$$

*Donde V es el volumen de agua ( $m^3$ ) en el tanque de cultivo, R es el radio del tanque (m) y h se considera como la profundidad o el nivel del agua (m) al que se opera el tanque de cultivo.*

$$CP = \sum_{i=1}^n V_i \quad [\text{Ec. III}]$$

*Donde CP es la capacidad o el volumen total del sistema en metros cúbicos,  $V_i$  es el volumen de agua ( $m^3$ ) de cada tanque en operación.*

**Biomasa (B)**, el objetivo de los sistemas de engorda es obtener la mayor biomasa posible al menor costo. Esta incrementará en función de las condiciones del sistema y durante el ciclo de cultivo.

$$B_{(t)} = W_{(t)} * N_{(t)} \quad [\text{Ec. IV}]$$

*Donde  $W(t)$  es el peso promedio de los organismos (g),  $N(t)$  es el número de peces en determinado periodo de tiempo.*

**Factor de conversión alimenticia (FCA)** es la razón entre el peso de alimento balanceado proporcionado y el crecimiento promedio del pez en un ciclo de cultivo.

$$FCA = \frac{A_{(t)}}{B_{(t)}} \quad [\text{Ec. V}]$$

*Donde  $A(t)$  es el alimento balanceado total consumido (kg) y  $B(t)$  es la biomasa total producida o el peso promedio ganado de los organismos (kg) durante el ciclo de cultivo (t).*

#### 6.4. Submodelo económico

El modelo económico es diseñado para integrar parámetros técnico-biológicos a cierto nivel de agregación y representa las interrelaciones entre el mercado y el sistema de producción. En este componente se observan de manera cuantitativa las decisiones de producción en la estimación de costos y beneficios (Bravo-Ureta y Solis, 2008; Llorente y Luna, 2016).

El desarrollo de los sistemas engorda de tilapia se compone de dos fases; la inversión inicial, la cual considera la adquisición y construcción de las unidades y equipo de producción; y el crecimiento o desarrollo de los organismos, el cual considera los costos asociados a la producción y el ingreso por ventas del producto.

Se representa la rentabilidad económica del sistema a través de una función objetivo de decisiones o gestión de la producción. Para ello es necesario el cálculo del volumen de producción (biomasa) por ciclo de cultivo, el ingreso por ventas y los respectivos costos asociados a la implementación, desarrollo y conclusión de la producción en general. En este componente se incluyen las variables más relevantes sobre el desempeño económica de las granjas de engorda de Tilapia en Yucatán.

**Costos de inversión;** comprende la adquisición de todos los activos tangibles o intangibles necesarios para el desarrollo y puesta en marcha de la unidad productiva, tales como; permisos o concesiones, estudios técnicos, equipamiento e infraestructura. La inversión dependerá de la capacidad de pago del productor y las metas u objetivos planteados (Baca, 2013). Se obtendrán los costos de inversión para los distintos tamaños de granja en operación, las estimaciones se realizarán en base a fuentes primarias y referencias bibliográficas. El modelo del sistema se modifica con relación a la escala de granja, variando diferentes parámetros; capacidad en tanques de cultivo ( $m^3$ ), número de empleados por granja, densidad de siembra y costos de inversión asociados.

**Costo total de producción (CT),** es la suma de los gastos incurridos en el funcionamiento del sistema de cultivo. Considera los costos asociados en la

producción, transformación, promoción y distribución del producto tilapia de talla comercial:

$$CT = CF + CV \quad [\text{Ec. VI}]$$

*Donde CF son los costos fijos y CV la suma de los costos variables por unidad de producción (kg).*

Los **costos variables (CV)**, son los costos asociados al nivel de producción, en donde los costos aumentan o disminuyen proporcionalmente con relación al volumen de peces cultivados. Estos costos se calculan en relaciona un periodo de tiempo y se representan por unidad monetaria (\$ MXN). La función de costos variables fue estimada por:

$$CV(t) = Cc_{(t)} + Ca_{(t)} + Ce_{(t)} + Cmov_{(t)} + DP_{(t)} + Co_{(t)} \quad [\text{Ec. VII}]$$

*Donde Cc es el costo de las crías de tilapia, Ca es el costo de la ración de alimento proporcionado, Ce es el costo de la energía eléctrica consumida, Cmov es el costo de mano de obra variable, DP como la depreciación de la inversión inicial. Co constituye otros costos variables. Todos ellos definidos en el tiempo (t). Dichos costos variables se calculan mediante las siguientes ecuaciones:*

$$Cc_{(t)} = S_{(t)} * Pc_u$$

$$Ca_{(t)} = A_{(t)} * Pa_u \quad [\text{Ec. VIII}]$$

$$Co_{(t)} = S_{(t)} + A_{(t)} * 1.05$$

*Donde S representa la siembra (número de alevines) y  $Pc_u$  es el precio unitario (u) de la cría de tilapia; A es el alimento balanceado consumido y  $Pa_u$  es el precio unitario (kg) del alimento suministrado; Co son otros costos variables estimados al 5% sobre el alimento (A) y la siembra (S) por periodo de tiempo (t).*

En el concepto de otros costos variables (Co), se incluyen los costos de mantenimiento del sistema, así como costos misceláneos de administración, de manejo técnico y mano de obra para la cosecha.

Los **costos fijos (CF)** son aquellos costos que deben ser pagados independientemente del tamaño de sistema, aun cuando la empresa no produzca nada en un tiempo determinado. El costo de mano de obra fija considera el sueldo de técnico de producción y un vigilante. El costo de renta se refiere al pago por concesión o renta de tierra y de servicios, permisos y certificaciones.

$$CF_{(t)} = Cmf_{(t)} + Cr_{(t)} \quad [\text{Ec. IX}]$$

*Donde Cmf es el costo de mano de obra fija Cr es el costo de renta.*

**Depreciación (DP);** los activos tangibles de inversión como es la infraestructura y los equipos y/o herramientas de trabajo, tienden a depreciarse o sufrir cambios en su costo inicial durante el transcurso de su uso. Se utilizará un método de depreciación lineal directa sobre el costo del activo, considerando un valor igual a cero al transcurso de su vida útil:

$$DP = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{V_i} \quad [\text{Ec. X}]$$

*Donde  $C_i$  es el costo del activo de inversión y  $V_i$  es la vida útil estimada del activo de inversión y  $(n)$  es el tiempo o periodo de duración del proyecto expresado en años.*

Los **ingresos brutos (IB)** o ventas brutas, son los rendimientos corrientes por ventas del bien producido (biomasa tilapia) sin considerar costos, impuestos, interés o gastos asociados a la actividad productiva en el tiempo  $(t)$ . Se define por la siguiente ecuación:

$$IB_{(t)} = B_{(t)} * P_{(-)} \quad IB_{(t)} = B_{(t)} * P_{(+)} \quad [\text{Ec. XI}]$$

*Donde B es la bioma total producida en un tiempo  $(t)$  de un año,  $P_{(-)}$  y  $P_{(+)}$  es el precio de venta por unidad al menudeo y al mayoreo respectivamente. Se considera el kg de tilapia como unidad de venta.*

El **ingreso neto (IN)** representa la ganancia total neta de la empresa, descontando los costos corrientes asociados a la producción y los gastos fiscales y/o administrativos en un periodo de tiempo (t) contable. Se define por la siguiente ecuación:

$$IN_{(t)} = IB_{(t)} - CT_{(t)} \quad [\text{Ec. XII}]$$

*Donde  $IB_{(t)}$  son los ingresos brutos por ventas en un tiempo (t) de un año y  $CT_{(t)}$  como los costos totales de producción.*

### **6.5. Evaluación económica de la producción de tilapia**

Consiste en medir la capacidad que tiene el proyecto para generar utilidades en el corto y largo plazo en base al flujo de ingresos y egresos en la proyección financiera. Se emplearán los siguientes criterios de evaluación o estimadores de rendimiento económico de la producción:

**Relación Beneficio / Costo (B/C):** representa la ganancia adicional por peso invertido de forma total o bien la utilidad obtenida por bien producido (Rebollar, 2015). El proyecto es rentable cuando la relación beneficio/costo es mayor que la unidad:

$$B/C_{(t)} = \frac{IB_{(t)}}{CT_{(t)}} \quad [\text{Ec. XIII}]$$

*Donde  $IB_{(t)}$  son los ingresos brutos por ventas en en un tiempo (t) de un año y  $CT_{(t)}$  como los costos totales de producción.*

**Valor presente neto (VPN):** es el valor monetario actual de todos los flujos de efectivo futuros, que resulta de restar la suma de estos flujos ya descontadas a la inversión inicial. Esta herramienta actualiza los beneficios del proyecto, determina el valor del dinero en el tiempo, es decir establece lo que valdría hoy una suma monetaria a recibir en el futuro (Jolly y Clonts, 1993). Para evaluar un proyecto de

inversión desde el punto de vista económico, el criterio de decisión de este indicador es que debe ser igual o mayor que cero (0).

$$VPN = -INV + \sum_{t=1}^n \frac{IN}{(1+i)^n} \quad [\text{Ec. XIV}]$$

*Donde (INV) es la inversión inicial realizada, (IN) son los ingresos o el flujo netos de efectivo anual. (i) es tasa mínima aceptable requerida o la tasa de descuento y (n) es el tiempo o periodo de duración del proyecto expresado en años (5).*

**Tasa interna de retorno (TIR):** es la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero, esta tasa iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. La TIR expresa la tasa de interés máxima que podría pagar un proyecto por los recursos monetarios utilizados (Jolly y Clonts, 1993). Es la forma de medir cual es el rendimiento de la inversión, es decir el porcentaje de utilidad que genera (Baca, 2013). Para evaluar este indicador se debe considerar la tasa de rendimiento mínima aceptable (TREMA), la cual considera un índice inflacionario o una tasa de descuento (TIIE, CETES, etc.) más una prima de riesgo. Como criterio conservador de viabilidad en una inversión de riesgo, se consideró una TREMA de 20% como mínimo exigible en el análisis financiero.

$$TIR = -INV + \sum_{t=1}^n \frac{IN}{(1+i)^n} = 0 \quad [\text{Ec. XV}]$$

*Donde (INV) es la inversión inicial realizada, (IN) son los ingresos o el flujo netos de efectivo anual. (i) es tasa mínima aceptable requerida o la tasa de descuento y (n) es el tiempo o periodo de duración del proyecto expresado en años.*

**Costo medio (Cme):** se utiliza como una medida control en las empresas para reflejar el costo promedio por unidad de producción. El costo medio depende de la tecnología utilizada en la producción, de los precios de los insumos y los factores de producción.

$$Cme = \frac{CT}{q} \quad [\text{Ec. XVI}]$$



*Donde CT es el costo tal de producción y q es el número de tanques de engorda en un rango de 1 a 100.*

**Costo marginal:** mide la tasa de variación en el costo total de producción, ante el incremento de una unidad adicional de producto. Es útil al momento de tomar decisiones entre aumentar o disminuir el costo del producto y es fundamental para el análisis del precio de este:

$$CM = \frac{\Delta CT}{\Delta q} \quad [\text{Ec. XVII}]$$

*Donde  $\Delta CT$  es la tasa de cambio en el costo tal de producción y  $\Delta q$  es la tasa de cambio en el número de tanques de engorda en un rango de 1 a 100.*

**Retorno Sobre la Inversión (RSI):** representa la ganancia adicional que genera cualquier proyecto de inversión por cada peso invertido de forma inicial (Rebollar, 2015). Es una herramienta útil para decidir entre proyectos de inversión y/o optimización de factores productivos.

$$RSI = \frac{IN-INV}{INV} \quad [\text{Ec. XVIII}]$$

*Donde IN son los ingresos netos o el flujo de efectivo y INV es la inversión inicial realizada.*

## **6.6. Tamaño de granja y optimización del sistema de producción**

El incremento en el tamaño del sistema y la producción implican una serie de costos y beneficios en el corto y largo plazo. El crecimiento y desarrollo de una granja de engorda de tilapia se realiza en función del equipo, la infraestructura y la mano de obra, así como la capacidad de producción disponible en volumen de agua o unidades de cultivo. De acuerdo con el contexto de producción y comercialización acuícola en Yucatán, el modelo del sistema de producción se escaló a un tamaño límite de 100 tanques de engorda como unidad de cultivo, tomado como referencia

la granja acuícola BUBUL-HA ubicada en Homún, la cual cuenta con 112 tanques de engorda y una granja ubicada en Sanahcat con alrededor de 90 tanques. Cabe mencionar que el tamaño de dicha granja es considerablemente superior al tamaño promedio de una granja de engorda de tilapia en el estado; seguido por la granja ACUICOLA GARZA con 65 tanques ubicada en Tetiz y la granja AGROSISTEMAS DE YAXCHILAM con 44 tanques ubicada en Umán.

Para determinar el tamaño óptimo de granja se analizaron los rendimientos de escala y el costo medio de producción al incrementar las unidades de cultivo. La evaluación económica considera la estimación de la producción anual en toneladas métricas, el valor presente neto (VPN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y el análisis beneficio/costo del sistema. El tamaño de granja óptimo definido, y sus límites, se utilizaron como base del análisis de sensibilidad de los factores técnico-biológicos y económicos determinantes en la producción. Con el propósito de mejorar la eficiencia productiva, la rentabilidad del sistema, y determinar así la inversión adecuada al objetivo y metas de la empresa o productor acuícola.

### **6.7. Análisis de Sensibilidad**

Este análisis determina la sensibilidad del sistema a contingencias económicas, evaluando el comportamiento de los factores económicos y su efecto en la producción. Generalmente el productor no tiene influencia sobre el precio del producto y el costo de los insumos, por lo que este análisis es de suma importancia para evaluar el riesgo y la incertidumbre en la producción.

Se seleccionaron los factores que se considera tienen una mayor influencia en el sistema de cultivo, y se analizó la sensibilidad del sistema incrementando y reduciendo sus valores en un 20% respecto al monto base. Las variables que se modificaron fueron: el precio de venta y el costo del alimento. En cuanto al ingreso, el precio de mercado de la tilapia es un factor que el productor no puede controlar, y por el lado de los costos, el alimento representa alrededor del 60% de los costos totales. Por esta razón el análisis de sensibilidad no incluye otros factores de menor influencia. Para analizar la sensibilidad del sistema de producción y determinar los

efectos de dichos cambios en el desempeño económico de la granja, se utilizaron los estimadores de rentabilidad descritos anteriormente y se estimó el cambio porcentual de la TIR respecto a los valores del modelo base. La siguiente ecuación muestra la forma de valoración para este análisis:

$$\Delta TIR = \frac{\left(\frac{TIR_1 - TIR_0}{TIR_0}\right)}{0.1} \quad [\text{Ec. XIX}]$$

*Donde  $TIR_1$  representa el valor de la tasa interna de retorno después del cambio porcentual del 20% en la variable de influencia y  $TIR_0$  representa el valor de base.*

## 7. Resultados

Los resultados de esta investigación representan la primera aproximación en la región para evaluar económicamente el efecto del tamaño de granja de engorda (número de tanques) sobre la producción y eficiencia económica de la misma. En este apartado se mostrarán los resultados del rango de tamaño planteado, haciendo énfasis en aquellos en los que se optimizan de mejor manera los factores e insumos, de acuerdo con la teoría económica. En primera instancia se presenta la estimación del alimento balanceado otorgado por tanque de engorda, así como la inversión y depreciación relativa a las unidades de cultivo en operación. Posteriormente, se presenta un primer análisis comparativo del tamaño de granja y evaluación financiera, determinado puntos óptimos de operación y rendimientos económicos en la producción. Por último, se realizó un análisis de sensibilidad de carácter económico, evaluando el efecto del precio de venta en los beneficios y el precio del alimento en los costos totales del sistema. Para fines del presente estudio, el escalamiento del tamaño de granja no consideró la variación temporal durante los ciclos de cultivo, por lo cual se empleó la estimación de los factores y valores monetarios en términos anuales.

### 7.1. Estimación del alimento balanceado

El alimento varía en contenido de proteína (%) y cantidad (kg) conforme al crecimiento del pez, esto conlleva raciones y costos asociados específicos durante el ciclo de cultivo. El costo de alimento suministrado se estimó en base a las etapas de desarrollo, días de cultivo y tablas de alimentación proporcionadas por distribuidores de alimento acuícola balanceado. Para un tanque de 16 metros de diámetro operando a una densidad de 35 org/m<sup>3</sup> (7410 peces/tanque) se estimó un consumo de 4509.60 kg de alimento balanceado con un valor de \$76,779.48 por ciclo de cultivo (Tabla 10).

Tabla 10. Estimación de alimento balanceado proporcionado por ciclo de engorda de tilapia nilótica.

Etapa (%proteína)	Ración diaria (% biomasa)	Semana	Peso (g)	Biomasa (kg)	Consumo (kg/semana)	Precio (\$/kg)	Costo (\$)
pre cría (4516)	8%	1	1	7.41	4.15	\$30.88	\$128.14
	7%	2	5	37.05	18.15	\$30.88	\$560.61
	7%	3	7	51.87	25.42	\$30.88	\$784.86
	6%	4	10	74.10	31.12	\$30.88	\$961.05
	6%	5	13	96.33	40.46	\$26.34	\$1,065.68
cría (4010)	5%	6	17	125.97	44.09	\$26.34	\$1,161.32
	5%	7	22	163.02	57.06	\$26.34	\$1,502.88
	5%	8	29	214.89	75.21	\$26.34	\$1,981.07
	4%	9	37	274.17	76.77	\$26.34	\$2,022.06
	4%	10	46	340.86	95.44	\$26.34	\$2,513.91
	4%	11	56	414.96	116.19	\$16.55	\$1,922.92
	4%	12	69	511.29	143.16	\$16.55	\$2,369.32
pre-engorda (3205)	3%	13	83	615.03	129.16	\$16.55	\$2,137.54
	3%	14	100	741.00	155.61	\$16.55	\$2,575.35
	3%	15	120	889.20	186.73	\$16.55	\$3,090.41
	3%	16	140	1037.40	217.85	\$16.55	\$3,605.48
	3%	17	162	1200.42	252.09	\$16.55	\$4,172.06
	3%	18	184	1363.44	286.32	\$16.55	\$4,738.64
	2%	19	207	1533.87	214.74	\$16.55	\$3,553.98
	2%	20	231	1711.71	239.64	\$15.36	\$3,680.86
engorda (2505)	2%	21	256	1896.96	265.57	\$15.36	\$4,079.22
	2%	22	282	2089.62	292.55	\$15.36	\$4,493.52
	2%	23	309	2289.69	320.56	\$15.36	\$4,923.75
	2%	24	337	2497.17	349.60	\$15.36	\$5,369.91
	1%	25	365	2704.65	189.33	\$15.36	\$2,908.04
	1%	26	393	2912.13	203.85	\$15.36	\$3,131.12
	1%	27	422	3127.02	218.89	\$15.36	\$3,362.17
	1%	28	500	3705.00	259.35	\$15.36	\$3,983.62
<b>4509.06 TOTAL</b>						<b>\$ 76,779.48</b>	

## 7.2. Inversión inicial en granjas de engorda en Yucatán

El rubro de infraestructura se refiere a la construcción de obra civil necesaria para laborar y resguardar insumo y equipo de operación; el rubro de instalación es la construcción y adaptación para el suministro y manejo de servicios como agua y la corriente eléctrica; el equipo acuícola contempla el equipo técnico y las herramientas necesaria para la operación del sistema (Figura 10). La red hidráulica inicia con la obtención del agua desde una fuente o pozo para después ser distribuida mediante motobombas a las unidades de cultivo por tubería PVC, es necesario un sistema de almacenaje de agua como una cisterna y un canal de desagüe o pozo de absorción de agua residual. La instalación eléctrica, contempla el suministro de energía eléctrica desde la fuente hasta la puesta en el terreno y su distribución a lo largo del mismo; debido a fallas en el suministro eléctrico y por ende a la aireación del sistema, es indispensable contar con plantas de emergencia eléctrica que reduzcan el riesgo de pérdida de la producción. Los aireadores son equipo esencial para operar, mantener e incrementar la producción; los productores recomiendan contar con equipo de aireación de repuesto en caso de falla. De acuerdo con los objetivos planteados en este estudio, la inversión de activos fijo se dividió en dos secciones: a) inversión inicial (lo) mínima necesaria para el desarrollo y operación de una granja de engorda de tilapia en Yucatán, b) inversión requerida para operar una unidad de cultivo (Tabla 11 y 12).

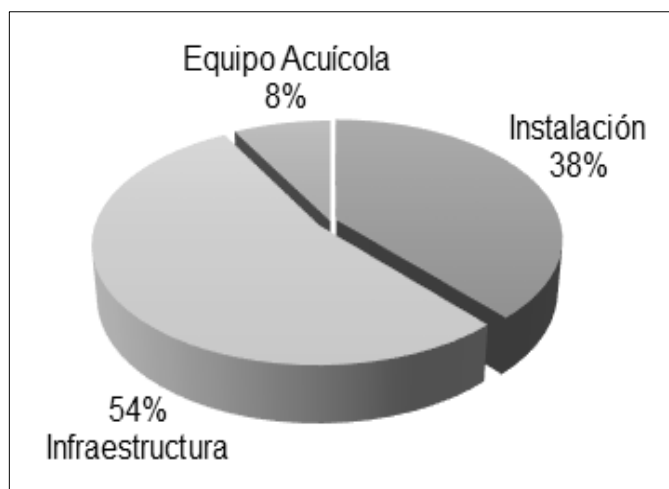


Figura 10. Costos de inversión del cultivo de engorda de tilapia nilótica.

Tabla 11. Supuestos de inversión inicial asumidos en el modelo bioeconómico.

Rubro	Concepto	Descripción	Precio	IVA	TOTAL
Instalación	Acometida eléctrica	Transformador trifásico 220/440v, poste, tendido eléctrico, subestación eléctrica	\$300,000.00	\$48,000.00	\$348,000.00
Infraestructura	Bodega de alimento/equipo	Obra civil seccionada (10x10m) y adecuación	\$ 420,450.80	\$ 67,272.13	\$ 487,722.93
Infraestructura	Laboratorio de análisis	Obra civil (8x8m), incluye mobiliario y adecuación	\$ 360,786.50	\$ 57,725.84	\$ 418,512.34
Infraestructura	Cuarto de maquinas	Obra civil (4x6 m), instalación eléctrica y adecuación	\$ 81,355.00	\$ 13,016.80	\$ 94,371.80
Infraestructura	Oficina y baños	Obra civil (8x8m), tinaco 1100 lt, biodigestor 600 lt, incluye mobiliario y adecuación	\$ 294,089.90	\$ 47,054.38	\$ 341,144.28
Equipo acuícola	Equipo de medición	Multiparamétrico, kit de pruebas químicas, balanza digital 2 kg, báscula 300 kg de acero inoxidable	\$ 42,300.00	\$ 6,768.00	\$ 49,068.00
Equipo acuícola	Equipo de mantenimiento y operación	Herramientas, equipo oficina, tarimas de plástico (1.2x1.2m) (10), contenedores térmicos 1000 lt (2), contenedor perforado plástico 40 kg (10), depósito de agua con rejilla metálica 1000 lt (2), plataforma transporte 400kg	\$ 32,460.50	\$ 5,193.68	\$ 37,654.18
<b>TOTAL ACTIVOS</b>			<b>\$1,531,442.70</b>	<b>\$245,030.83</b>	<b>\$1,776,473.53</b>

Tabla 12. Supuestos de inversión por unidad de cultivo en granjas de engorda.

Rubro	Concepto	Descripción	Precio	IVA	TOTAL
Instalación	Red hidráulica de abasto	Pozo profundo, bomba sumergible 15 HP, motobombas 3 HP (2), conexión eléctrica, tubería PVC.	\$ 105,000.00	\$ 16,800.00	\$ 121,800.00
Instalación	Red hidráulica de desagüe	Tubería PVC, sedimentador con placas difusoras (2x6 m), registro de desagüe	\$ 98,000.00	\$ 15,680.00	\$ 113,680.00
Infraestructura	Tanque circular liner de 16 m diámetro	Construcción de terraplén, suministro e instalación de tanque, conexión red hidráulica,	\$ 68,884.00	\$ 11,021.44	\$ 79,905.44
Equipo acuícola	Sistema de aireación	Caseta (1x1m), conexión eléctrica, Blower 4 hp trifásico, tubería PVC, manguera difusora 20m	\$ 31,240.00	\$ 4,998.40	\$ 36,238.40
Instalación	Generador eléctrico de emergencia	Suministro e instalación de planta 55 kva/45 kw	\$ 325,947.00	\$ 52,151.52	\$ 378,098.52
<b>TOTAL ACTIVOS FIJOS</b>			<b>\$ 629,071.00</b>	<b>\$ 100,651.36</b>	<b>\$ 729,722.36</b>

Para evaluar la inversión y los costos asociados para cada rubro, se consideró un estimado de la capacidad y divisibilidad de la infraestructura y el equipo de operación por unidad de cultivo (tanque de 16 m diámetro), en base a las especificaciones técnicas del equipo, experiencias de producción y consulta de estudios técnicos de construcción ingenieril (Tabla 13).

Tabla 13. Capacidad de la inversión por unidad de cultivo.

<b>Concepto</b>	<b>Capacidad (unidades de cultivo)</b>
Red hidráulica de abasto	20
Red hidráulica de desagüe	16
Sistema de aireación	4
Planta de emergencia eléctrica	16

### 7.3. Depreciación de activos fijos de inversión

La depreciación de la infraestructura y el equipo de operación están en función de su tiempo de vida útil, el cual hace alusión a la obsolescencia del equipo y su desgaste por funcionamiento, independientemente del mantenimiento aplicado. En las tablas 14 y 15, se presentan los años de vida útil por concepto de inversión y sus valores de depreciación anual.

Tabla 14. Vida útil y depreciación de activos fijos de inversión.

<b>Concepto</b>	<b>Total activo fijo</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Depreciación</b>
Acometida eléctrica	\$ 348,000.00	25	\$ 13,920.00
Bodega de alimento y equipo	\$ 487,722.93	20	\$ 24,386.15
Laboratorio de análisis	\$ 418,512.34	20	\$ 20,925.62
Cuarto de maquinas	\$ 94,371.80	20	\$ 4,718.59
Oficina y baños	\$ 341,144.28	20	\$ 17,057.21
Equipo de medición	\$ 49,068.00	10	\$ 4,906.80
Equipo de mantenimiento/ operación	\$ 37,654.18	10	\$ 3,765.42
		<b>Total</b>	<b>\$ 89,679.79</b>



Tabla 15. Vida útil y depreciación de activos fijos de inversión por unidad de cultivo.

<b>Concepto</b>	<b>Total activo fijo</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Depreciación</b>
Red hidráulica de abasto	\$ 121,800.00	15	\$ 8,120.00
Red hidráulica de desagüe	\$ 113,680.00	15	\$ 7,578.67
Tanque circular liner de 16m diámetro	\$ 79,905.44	10	\$ 7,990.54
Sistema de aireación	\$ 36,238.40	10	\$ 3,623.84
Generador eléctrico de emergencia	\$ 378,098.52	20	\$ 18,904.93
		<b>Total</b>	<b>\$ 46,217.98</b>

#### **7.4. Simulación de escala de producción en granjas de engorda**

Para fines de este estudio el tamaño de granja se refiere a la escala espacial de producción o el nivel de operación, el cual se define por el número de unidades de producción (tanques 16 m diámetro). Cabe mencionar, que, al examinar el comportamiento y tendencia de los costos y rendimientos a escalas, se incrementó la escala de análisis de 100 hasta 200 tanques con el fin de observar puntos de cambio o inflexión. Sin embargo, la tendencia de los costos e indicadores económicos se mantuvieron sin cambios significativos, por lo que se mantuvo la escala límite de 100 tanques de engorda en contexto a la situación acuícola de Yucatán.

Los valores presentados a continuación son estimaciones anuales a partir de los costos y factores de producción antes señalados. En la figura 10 y 11 se presentan gráficamente el incremento de la biomasa anual con relación al número de tanques en operación. La biomasa se estimó a partir de dos ciclos de cultivo operando a una densidad de 35 org/m<sup>3</sup> y 95% de supervivencia. Con una producción de 6.67 t de tilapia nilótica entera para 1 tanque, 333.45 t para 50 tanques y 666.9 t para 100 tanques. El valor de inversión inicial se refiere al costo de la instalación, infraestructura y equipo acuícola necesario para operar una granja de engorda de

tilapia en Yucatán. Considerando la divisibilidad de la capacidad expresada en la tabla 14, los montos de inversión aumentan conforme incrementa el tamaño de granja y la producción. Construir y operar una granja de 1 tanque de engorda requiere de una inversión inicial de \$2,506,195.89, aumentando a \$5,827,817.80 para 50 tanques y \$9,816,591.63 para 100 tanques (Figura 11). La capacidad real en volumen de agua de un tanque de 16 metros de diámetro y 1 metros de profundidad destinado a producción es de 211.12 m<sup>3</sup>, una granja con 50 tanques de engorda tendrá una capacidad de 10,556 m<sup>3</sup>, una granja con 100 tanques tendrá una capacidad total de 21,112 m<sup>3</sup> (Figura 12).

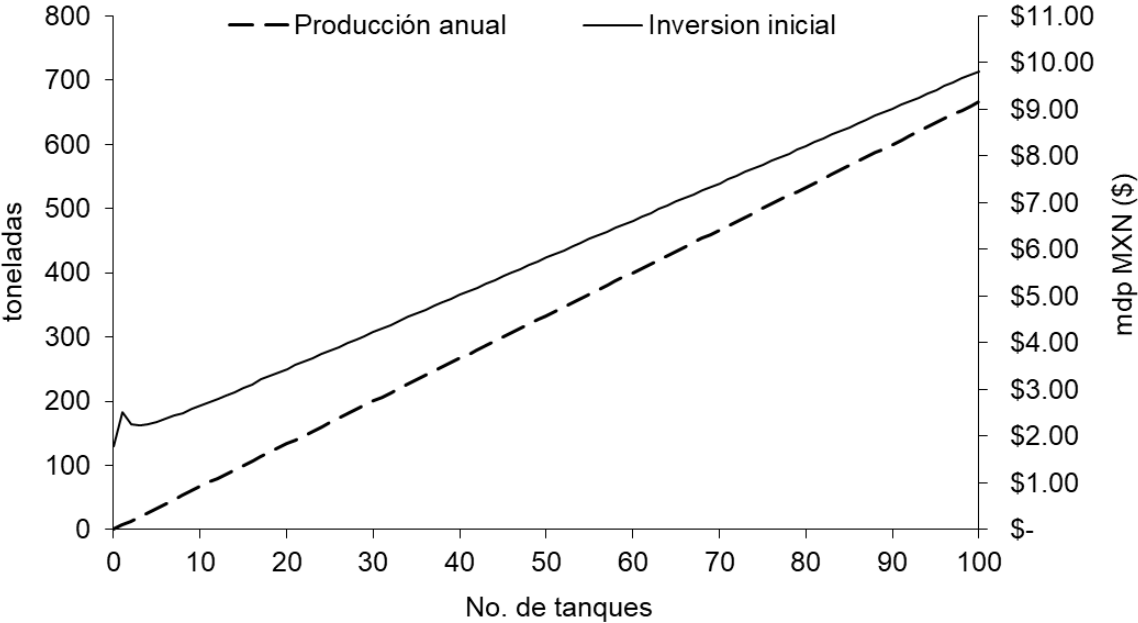


Figura 11. Inversión inicial con relación al tamaño de granja.

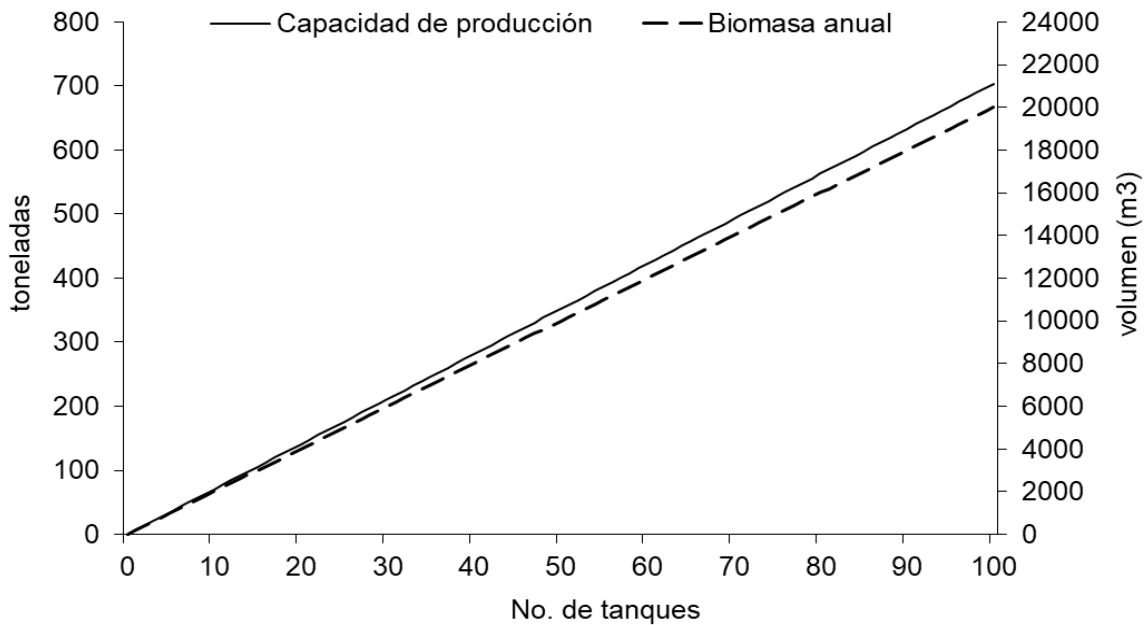


Figura 12. Capacidad de producción con relación al tamaño de granja.

La figura 13 muestra el ingreso bruto anual por ventas bajo un precio fijo de \$ 55.00 por kg de tilapia entera, y el costo total anual de operación con relación al número de tanques. Tanto los ingresos como los costos de operación aumentaron conforme el número de tanques empleados. La tasa de incremento de los costos de operación tiende a reducirse debido a los costos fijos, a diferencia de los ingresos brutos que se mantienen proporcionales debido a factores constantes como el precio de venta y la densidad de cultivo. Para las dos primeras escalas los costos totales de operación fueron mayores que los ingresos totales por venta. Operar una granja de 2 tanques resulta en un ingreso por ventas de \$ 733,590.00 y un costo total de \$ 787,559.47, operar 50 tanques genera un ingreso de \$ 18,339,750.00 y costo de \$ 12,157,912.17, y finalmente para la operación de una granja de 100 tanques genera un ingreso de \$ 36,679,500.00 y costo de \$ 24,024,790.67.

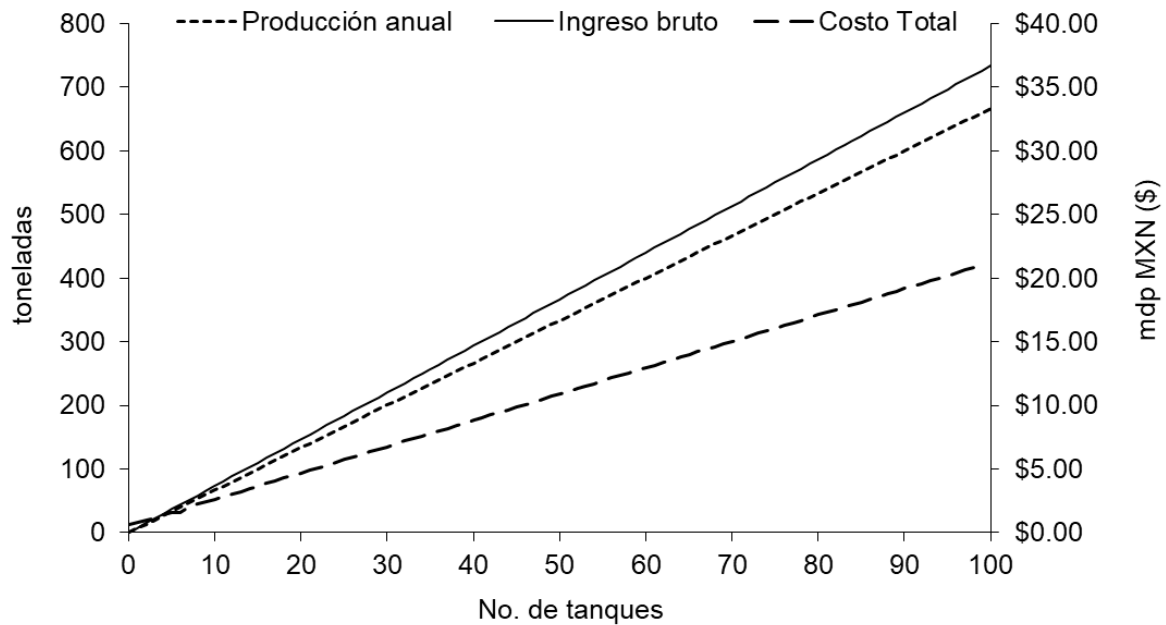


Figura 13. Costo, beneficio y producción anual de tilapia nilótica con relación al número de tanques de engorda.

El costo total de operación se integra por los costos variables, los cuales están en función lineal con la magnitud o escala de operación, y los costos fijos que son independientes de la escala. En la figura 14 se representa gráficamente los costos variables de operación. El costo de mayor relevancia es el suministro de alimento balanceado representado alrededor del 60% del costo total, seguido por la adquisición de alevines, la mano de obra y el costo eléctrico. Es de mencionar que el costo de depreciación anual de la inversión no es un valor monetario que en efecto se descuenta del flujo de caja de la granja, sin embargo, debe considerarse para no subestimar el beneficio neto total.

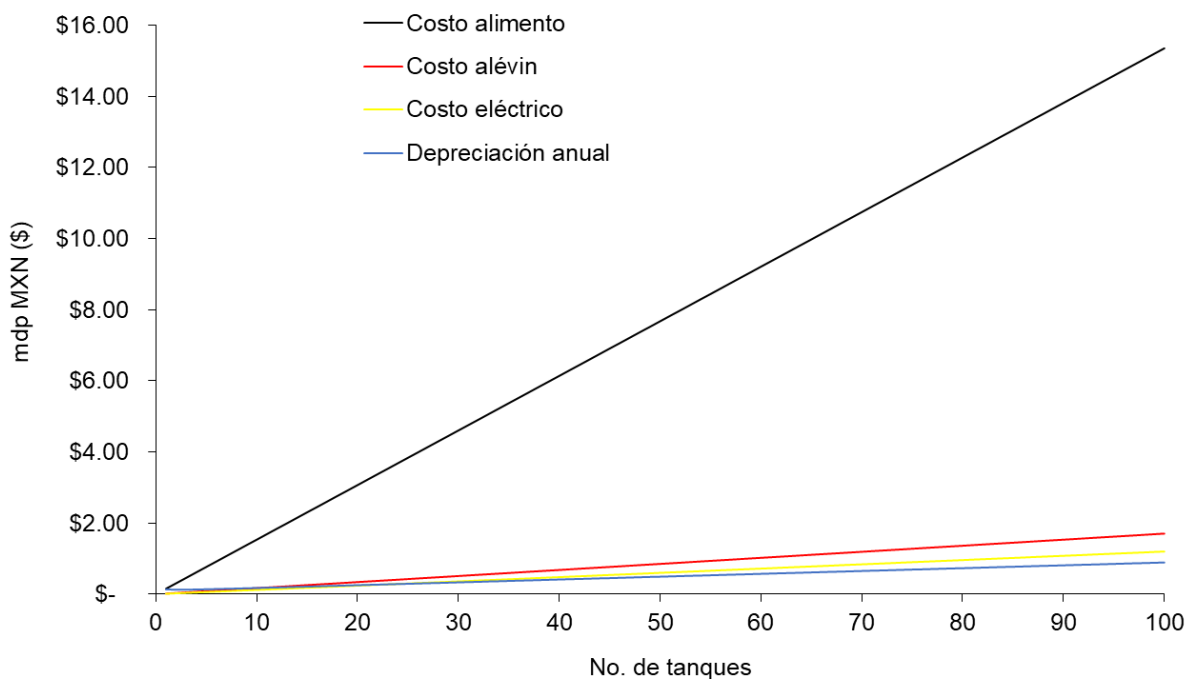


Figura 14. Costos variables de producción y depreciación de la inversión con relación al número de tanques de engorda.

En Yucatán, las granjas de tilapia son operadas tanto por productores del campo rural, sociedades o cooperativas de producción, pequeñas y grandes empresas. Por lo general, aunque no es regla, se emplea a un técnico o encargado de la producción de profesión Biólogo, Zootecnista, Agrónomo, Ingeniero acuícola, o afín. En la mayoría de las granjas visitadas, la administración y gerencia era función del propietario y/o del mismo encargado de producción, en la minoría se emplea a un contador/administrador para la granja o se contratan los servicios de un despacho contable. La mano de obra fija hace referencia al trabajador técnico-administrativo (gerente, contador, biólogo, ingeniero, etc.), siendo en la mayoría de las granjas de Yucatán el mismo propietario quien desempeña dicho puesto. Si bien se distinguen las granjas de cohorte familiar-social en Yucatán de las empresariales o de cooperativas de producción, se consideró este costo fijo con el fin de representar el contexto de la actividad acuícola nacional y global. Para fines del contexto de este estudio se consideró un costo de mano de obra fija de \$ 192,000.00 anuales,

independiente del número de tanques empleados; este costo hace referencia al sueldo de un profesional técnico y un vigilante nocturno. El costo de mano de obra variable aumenta de manera escalonada conforme el tamaño de granja, iniciando con un salario anual de \$ 62,359.20 por un trabajador operando 1 tanque y un salario anual de \$ 1,558,980.00 por 13 trabajadores operando 100 tanques de engorda (Figura 15).

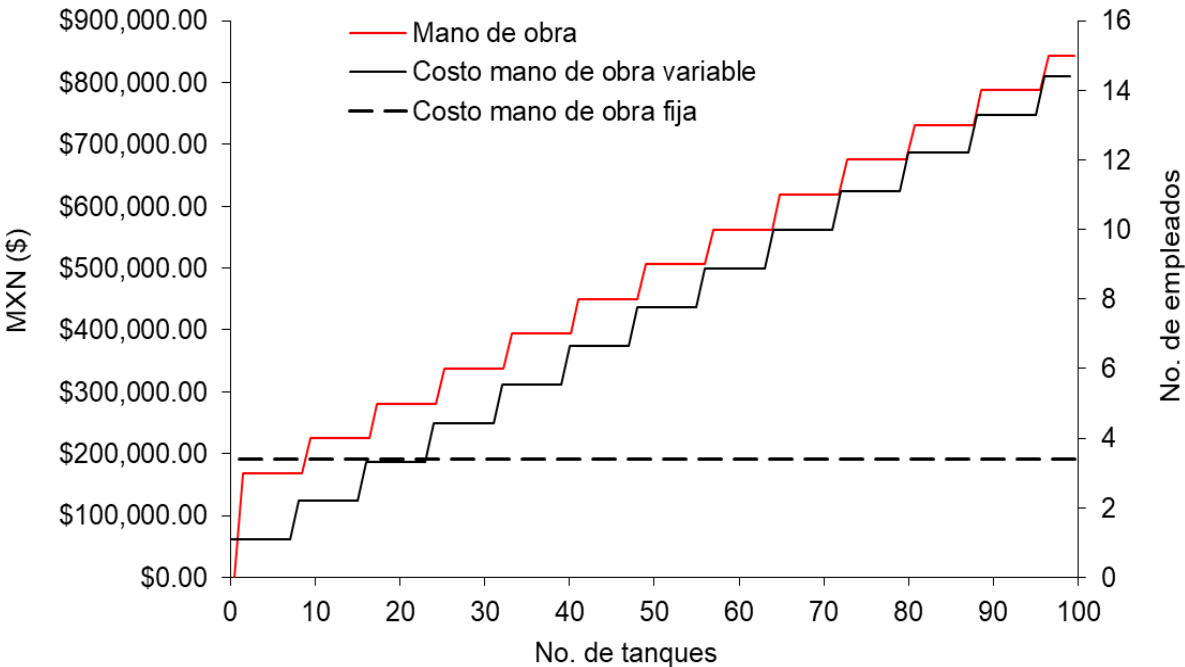


Figura 15. Mano de obra asociada al nivel de producción o tamaño de granja.

## 7.5. Evaluación económica de la producción

Se evaluaron las distintas herramientas e indicadores económicos, con el fin de determinar la rentabilidad económica de cada tamaño de granja o nivel de producción. En comparación con otras actividades productivas o industrias, la producción de tilapia nilótica se debe evaluar en primera instancia en un periodo de 5 años, lo que se considera como corto plazo. Lo anterior debido al nivel relativamente bajo de inversión inicial y que a un año de operación se logran dos ciclos de cultivo y por ende dos ventas totales al año, generando utilidades en los primeros años de operación y logrando obtener retornos sobre la inversión en el corto plazo. Se consideraron las escalas que generan el mayor beneficio relativo a la escala de producción y se descartaron los tamaños que no generaron utilidad sobre la inversión en el corto plazo (5 años) y a una tasa de descuento del 5% anual.

En la figura 16 se observa el incremento del valor presente neto (VPN) de la producción y la tendencia de la tasa interna de retorno de la inversión (TIR) con relación al aumento del tamaño de granja en el corto plazo. Los tamaños de granja de entre 1 a 6 tanques presentaron rendimientos negativos en el corto plazo. El valor neto de la producción de una granja de 7 tanques se estimó en \$175,845.06, aumentando de manera constante a \$41,006,238.43 al operar 100 tanques de engorda en 5 años. El primer punto de interés en la curva de la TIR se observa en aumentar de 6 a 7 tanques de engorda, donde la TIR aumenta de 0 a 8%, logrando un retorno superior a la tasa de descuento considerada (5%). Como segundo punto de interés, considerando la TREMA (20%), es hasta un tamaño de 10 tanques donde se obtiene una TIR de 22%. El tercer punto de interés se observa en tamaños de granja superiores a los 80 tanques, donde el incremento exponencial observado de la TIR en tamaños iniciales se reduce con tendencia a un límite máximo constante con respecto a la escala de producción. Al aumentar de 80 a 100 tanques de engorda la TIR aumento tan solo un 5.8%.

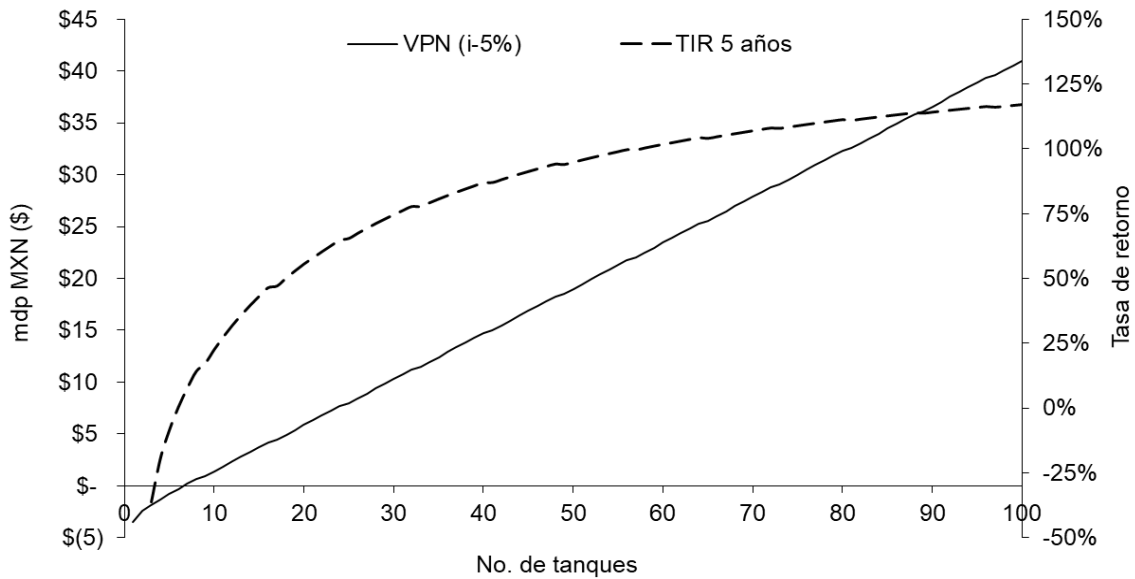


Figura 16. Evolución del TIR y VPN con relación al tamaño de granja en el corto plazo.

En la figura 17, la curva del indicador RSI determina el porcentaje de retorno de la inversión inicial en el corto plazo de operaciones para cada tamaño de granja. De acuerdo con las estimaciones obtenidas, se determinó un tamaño de 14 tanques como el mínimo rentable, es a partir de este tamaño en el que se recuperaría en 111% la inversión inicial realizada en un plazo de 5 años de operaciones. El porcentaje de retorno de la inversión aumenta conforme el tamaño de granja, lo que sugiere una economía de escala. Por otro lado, dicha tasa de aumento en el rendimiento de la inversión inicial se reduce y presenta una tendencia a ser constante a la escala de producción. Operar una granja de 50 tanques de engorda en un periodo de 5 años generaría un retorno de 326% del valor de la inversión inicial, con 100 tanques en operación se obtendría 418 % de la inversión estimada para dicho tamaño. La relación Beneficio/Costo (B/C) es de 1.70 para un tamaño de 32 tanques, aumentando a 1.74 para un tamaño de 100 tanques. Lo anterior en términos brutos nos indica que los beneficios serán similares al operar 32 hasta 100 tanques de engorda, independientemente de la inversión realizada para cada escala de operación (Figura 18).



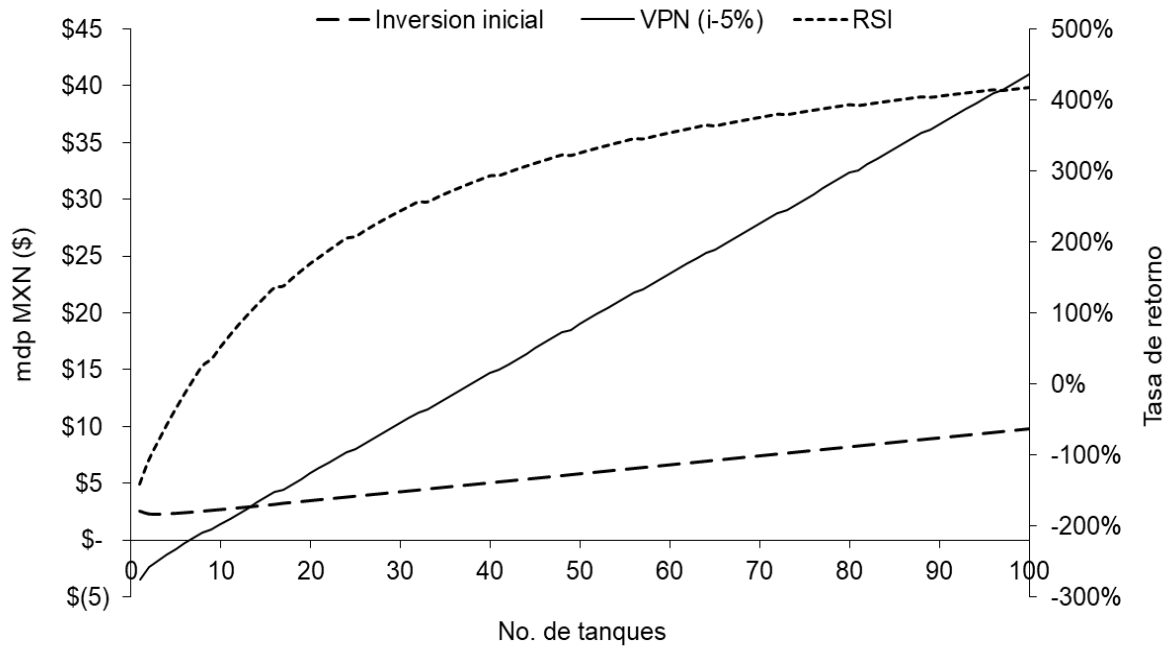


Figura 17. Retorno sobre la inversión (RSI) con relación al número de tanques de engorda en el corto plazo.

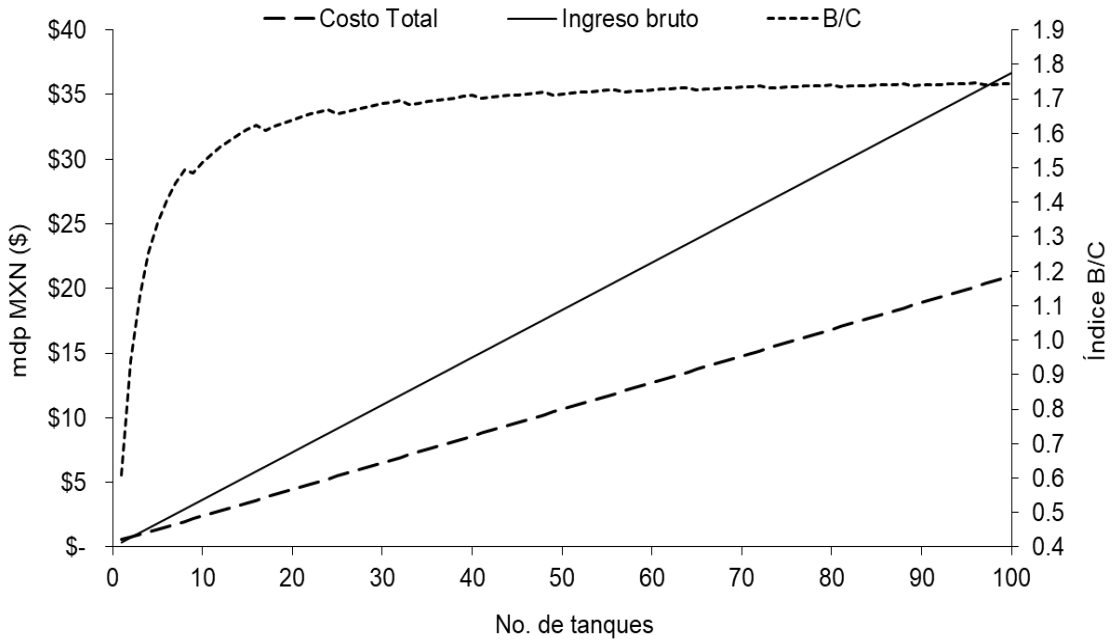


Figura 18. Relación de los beneficios por ventas y costos totales anual de producción (B/C).

## 7.6. Costo Medio y Análisis Marginal

El costo de inversión inicial incrementa a medida que aumentamos el número de tanques de engorda. De acuerdo con el esquema y los factores de producción planteados, al operar 1 tanque de engorda nuestro costo de inversión será de \$375.80 por kg de tilapia entera producida, operando 30 tanques el costo unitario se reduce a \$21.11, si continuamos hasta los 100 tanques el costo se reduce a \$14.72. Al analizar el coste unitario de inversión en la figura 19, se observa el efecto de la economía de escala principalmente en los primeros 30 tanques, seguido de un descenso moderado con tendencia a estabilizar dicho valor conforme agregamos tanques al sistema de producción.

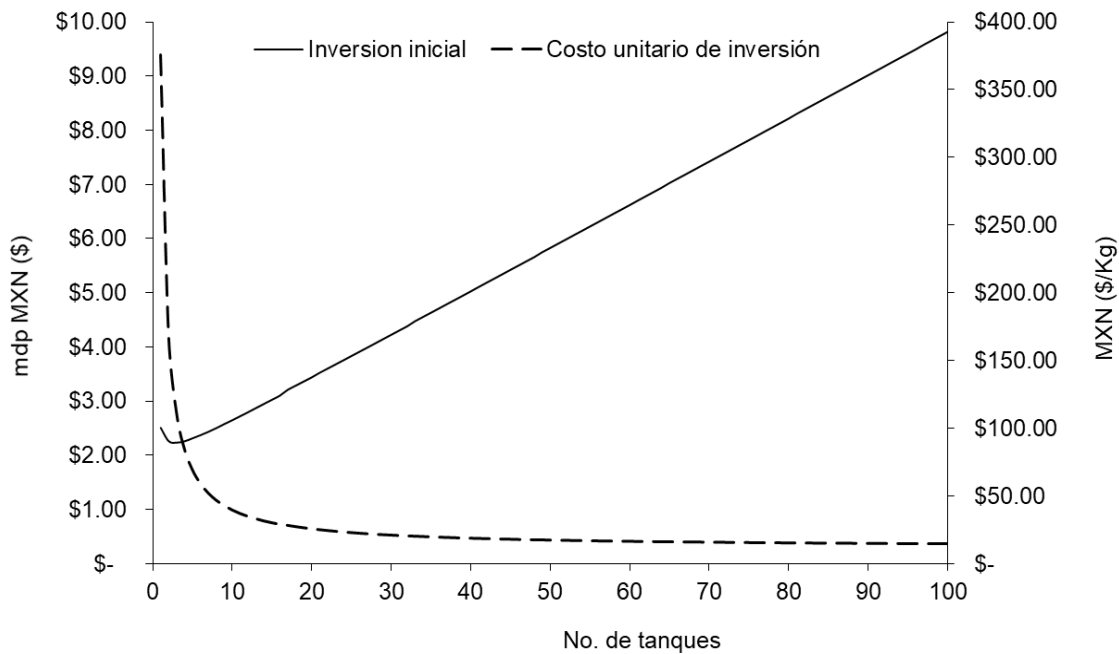


Figura 19. Costo unitario de inversión inicial.

El costo unitario o medio se genera a partir de los costos y la producción total. La Figura 20 muestra los valores de esta variable de acuerdo con la producción en los diferentes tamaños de granja, se presenta también la evolución de la tasa interna de rendimiento (TIR), para apreciar el efecto sobre la rentabilidad. Se observó que el costo medio total decreció conforme aumentó el tamaño de la granja, revelándose

la existencia de rendimientos crecientes a escala en los primeros tamaños de granja. En los siguientes tamaños de granja, la reducción del costo medio fue mínimo, por lo que podemos asumir un comportamiento de retornos constantes a la escala de operación. El costo medio de operar un sistema con un solo tanque de engorda es de \$90.18 por kilogramo de tilapia entera producida, aumentando a 31 tanques el costo se reduce a \$32.54/kg y al operar 100 tanques el costo medio se reduce en tan solo un peso a \$31.53/kg. La tasa interna de rendimiento (TIR) tiene una mayor relación con los costos de inversión que con los costos medios. Su valor también se incrementa con el tamaño de granja, sin embargo, tiende a la constante de escala.

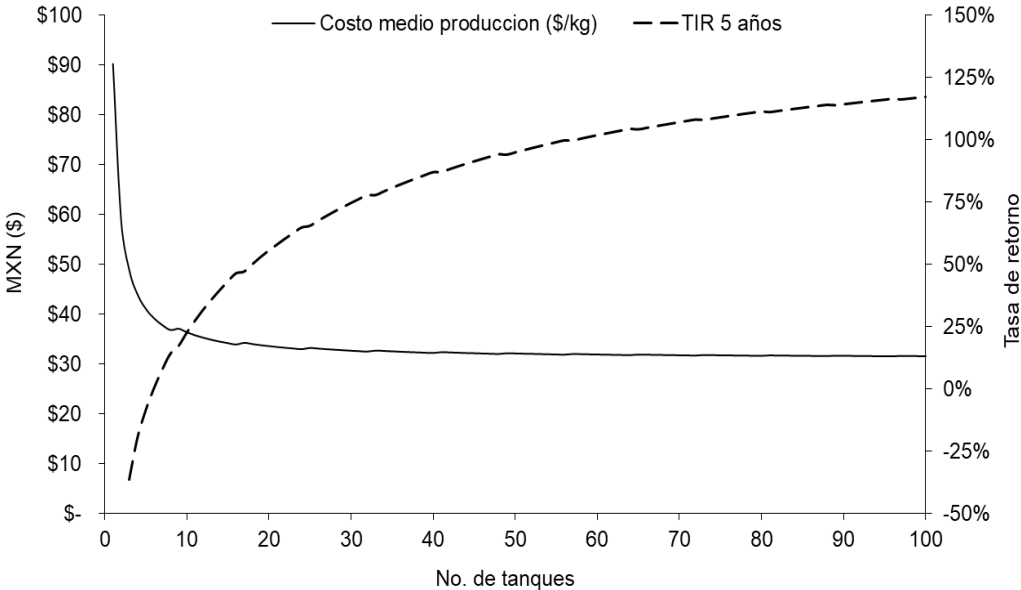


Figura 20. Costo medio y tasa interna de retorno (TIR) de la producción anual.

El objetivo final de la planificación y manejo de empresas es asegurar que el uso de cada factor de producción variable, así como del equipo de trabajo es empleado alcanzando su propio punto de máxima eficiencia económica. De acuerdo con la teoría económica se emplea el enfoque marginal, para que a corto plazo se optimicen los beneficios y minimicen pérdidas. Por lo general, este análisis se aplica en factores e insumos de producción, sin embargo, este estudio se enfoca en el

número de tanques como medidas o unidades de escalamiento, aunado a que el precio de venta es por kilogramo de tilapia entera. El comportamiento marginal de los costos en la figura 21, refleja el cambio en la magnitud de producción al aumentar o disminuir en una unidad de cultivo. El ingreso bruto marginal es igual al precio de venta fijo acordado de \$55.00 por kilogramo, debido a que la producción aumenta conforme el número de tanques de engorda, pero los factores o insumos de producción se mantienen constantes. Es a partir de los tres tanques de engorda cuando se obtienen rendimientos económicos, con un costo medio de producción de \$48.69/kg, menor al precio de venta. Desde el punto de vista marginal, podemos considerar como puntos de ineficiencia técnica cuando el costo marginal es superior al costo medio de producción y como óptimo cuando el costo marginal iguala al costo medio de producción. De acuerdo con este resultado, se consideran como óptimos los tamaños de granja anterior a los puntos de ineficiencia técnica: 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88 y 96 tanques. En este contexto, los puntos óptimos están determinados principalmente por la mano de obra empelada en función del número de tanques en operación.

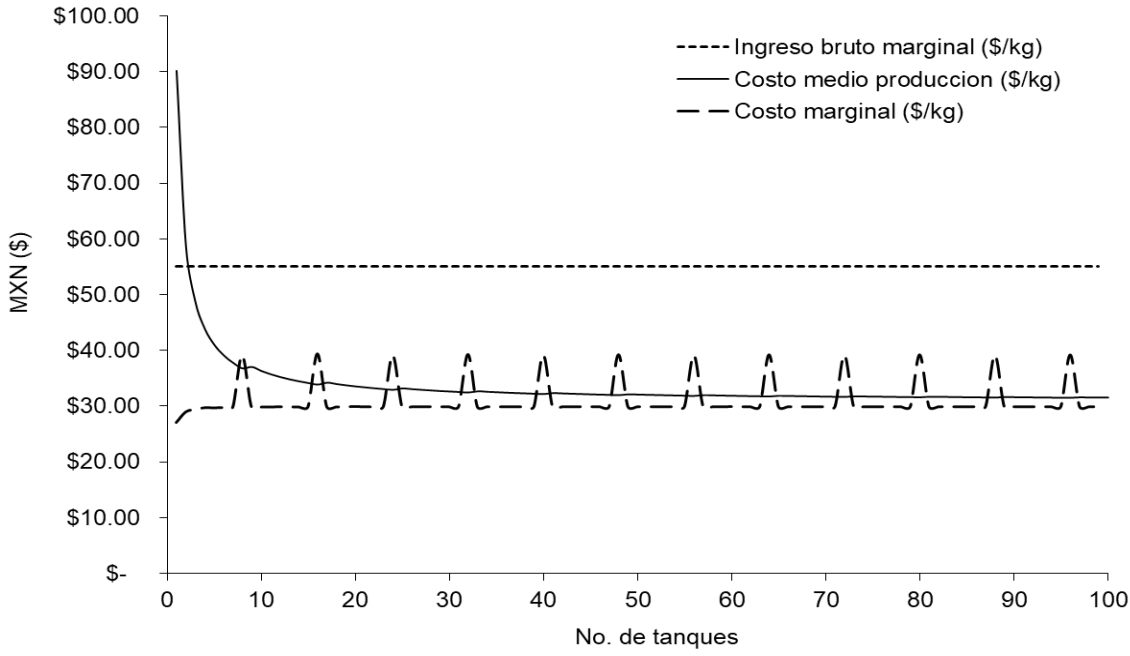


Figura 21. Enfoque marginal de los costos de producción con relación al número de tanques de engorda.

### **7.7. Escalas de Granja Óptimas**

La evidencia de economías de escala para el cultivo de tilapia en tanques circulares en Yucatán ofrece una información de aplicación práctica y útil para la toma de decisiones en el corto y largo plazo. Si bien no podemos hablar de un único tamaño como el óptimo bajo este esquema de producción, si podemos definir tamaños con distinto nivel de inversión que generarían mayores rendimientos. Analizar más de un tamaño de granja óptimo nos permite visualizar alternativas de producción para inversiones con capacidad de pago variable. En la tabla 16 se resumen los criterios de selección empleados en la determinación de tamaños de granja óptimos. Se consideró cada uno de los criterios con el fin de descartar los tamaños de menor rentabilidad y mantener únicamente los tamaños óptimos que convergen en cada criterio. Únicamente el costo marginal fue específico en cuanto a tamaños de granja, los demás indicadores mostraron límites o puntos de interés a considerar en la selección del tamaño óptimo.

De acuerdo con el indicador B/C se descartaron todos los tamaños menores a 32 tanques de engorda; con base en el comportamiento de la TIR en el corto plazo, se descartaron tamaños de granja superiores a los 80 tanques. Por consiguiente, se mantuvieron los tamaños indicados por el costo marginal dentro de dicho rango (32, 40, 48, 56, 64, 72, 80).

Tabla 16. Indicadores como criterio de selección de tamaños óptimos de granja.

Criterio	No. tanques	Descripción
Costo unitario de Inversión	30<	El costo unitario de inversión inicial se reduce en tan solo \$6.39, al aumentar de 30 a 100 tanques de engorda.
Costo medio Producción	31<	De 31 tanques hasta los 100 de engorda, el costo medio de producción se reduce en tan solo \$1.00.
Costo Marginal	8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88 y 96	Tamaños donde el costo marginal igualó al costo medio de producción, son los puntos de mayor eficiencia técnica.
B/C	32<	Valor de 1.70 para tamaños de 32 tanques en adelante.
RSI	14<	A partir de un sistema de 14 tanques de engorda se recupera el 111% del costo de inversión inicial en un periodo de 5 años.
VPN	7<	Tamaños de granja menores a 7 tanques de engorda generar rendimientos negativos en el corto plazo.
TIR	7< 80<	A partir de 7 tanques de engorda la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de descuento anual (5%). Únicamente se incrementa en 5.8% la TIR al aumentar de 80 a 100 tanques de engorda.

A modo de puntualizar y simplificar el análisis, se seleccionó 4 tamaños óptimos de granja: 32, 48, 64 y 80 tanques de engorda. Los montos de producción, costos e ingresos anuales estimados para los cuatro tamaños de granja considerados como óptimos económicos se presentan en la tabla 17. Los resultados obtenidos indican que el engorde de tilapia nilótica en tanques es sensible a la economía de escala, es decir, que evoluciona favorablemente frente a incrementos de la producción. Esto debido fundamentalmente a la disminución relativa de los costos fijos con relación al aumento en el número de tanques. Los costos variables, sujetos a la capacidad productiva se mantienen estáticos en este análisis, no obstante, una disminución en estos costos (alevines, alimento, etc.) incrementaría la rentabilidad económica. El costo estimado de la depreciación es relativamente bajo, sin embargo, es un factor relevante, debido a que, para fines de este estudio, añade variabilidad explicada por la eficiencia de la capacidad técnica y operación de los activos de inversión.

Tabla 17. Costos y beneficios de la producción anual de tilapia por tamaños de granja.

<b>Tamaño de granja</b>	32 tanques	48 tanques	64 tanques	80 tanques
Inversión Inicial	\$4,380,855.87	\$5,659,342.91	\$6,937,829.95	\$8,214,794.49
Producción (t)	213.4	320.1	426.8	533.5
<b>Costos variables</b>				
Alimento	\$4,913,886.94	\$7,370,830.41	\$ 9,827,773.88	\$12,284,717.35
Alevín	\$545,376.00	\$818,064.00	\$1,090,752.00	\$1,363,440.00
Mano de obra	\$249,436.80	\$374,155.20	\$498,873.60	\$623,592.00
Electricidad	\$384,000.00	\$576,000.00	\$768,000.00	\$960,000.00
Otros	\$272,963.15	\$409,444.72	\$545,926.29	\$682,407.87
Costos variables totales	\$6,365,662.89	\$9,548,494.33	\$12,731,325.77	\$15,914,157.21
<b>Costos fijos</b>				
Mano de obra	\$192,000.00	\$192,000.00	\$192,000.00	\$192,000.00
Renta	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Costos fijos totales	\$212,000.00	\$212,000.00	\$212,000.00	\$212,000.00
Depreciación anual	\$348,445.88	\$476,294.58	\$604,143.29	\$731,890.49
<b>Ingreso bruto</b>	\$11,737,440.00	\$17,606,160.00	\$23,474,880.00	\$29,343,600.00
<b>Costo total</b>	\$6,926,108.76	\$10,236,788.91	\$13,547,469.06	\$16,858,047.70
<b>Subtotal</b>	\$4,811,331.24	\$7,369,371.09	\$9,927,410.94	\$9,927,410.94
I.S.R. (15%)	\$721,699.69	\$1,105,405.66	\$1,489,111.64	\$1,872,832.84
P.T.U. (10%)	\$481,133.12	\$736,937.11	\$992,741.09	\$1,248,555.23
<b>Ingreso neto</b>	\$3,608,498.43	\$5,527,028.32	\$7,445,558.21	\$9,364,164.22

La Tabla 18 resume el comportamiento lineal de la rentabilidad entre tamaños de granja óptimos. Los cuatro tamaños de granja presentan una alta rentabilidad con valores TIR muy superior al rendimiento mínimo exigible a una inversión de riesgo, que nunca debería bajar del 20%. El costo medio de producción y el costo unitario de inversión decrecieron en \$0.85 y \$5.13, respectivamente, al pasar de 32 a 80 tanques de engorda. El incremento del índice B/C fue mínimo, a diferencia del estimador RSI, el cual representa los beneficios como porcentaje de los valores de la inversión inicial. El indicador de recuperación de la inversión señala el periodo en años que se requieren para recuperar el costo de la inversión inicial realizada; siendo de 2 años para los tamaños de 32 y 48 tanques, y de 1 año para los tamaños de 65 y 80 tanques. El indicador de % de cambio se refiere a la magnitud y dirección del estimador al aumentar la escala. La rentabilidad aumenta con relación al tamaño de granja, sin embargo, el mayor efecto de escala se observó al incrementar de 32

a 48 tanques de engorda. Presentando un cambio de -1.5% en el costo medio de producción, -13.9% en el costo unitario de inversión, 63% en VPN y 21.1% en la TIR. Por tanto, el incremento de la inversión para realizar la alternativa de mayor tamaño parece no compensar los efectos de la economía de escala existente al aumentar la producción. Esto indica que resulta más atractivo financieramente aumentar hasta un tamaño a 48 tanques, con relación a escalas superiores de producción.

Tabla 18. Rentabilidad económica de la producción de tilapia por tamaños de granja. VPN y TIR estimados para un periodo de 5 años de operación.

Estimador	32 tanques	48 tanques	64 tanques	80 tanques
Costo medio	\$32.45 /kg	\$31.98 /kg	\$31.74 /kg	\$31.60 /kg
% de cambio	-	-1.5%	-0.7%	-0.5%
Costo unitario inversión	\$20.53 /kg	\$17.68 /kg	\$16.25 /kg	\$15.40 /kg
% de cambio	-	-13.9%	-8.1%	-5.3%
B/C	1.70	1.72	1.73	1.74
RSI	257%	323%	365%	394%
Recup. inversión	2 años	2 años	1 año	1 año
VPN	\$11,242,053.89	\$18,269,797.25	\$25,297,540.61	\$32,327,136.05
% de cambio	-	63%	38%	28%
TIR	78%	94%	104%	111%
% de cambio	-	21.1%	10.8%	6.7%

## 7.8. Análisis de Sensibilidad

Con la finalidad de cuantificar los cambios de los supuestos económicos del sistema ante variaciones de factores económicos y de mercado, se variaron el precio de venta y el costo del alimento en un  $\pm 20\%$  (uno a la vez). El precio de venta base del kg de tilapia entera es de \$55.00, al reducir y aumentar en 20% su valor, tenderemos un precio de \$44.00 para un escenario adverso y \$66.00 para un escenario favorable. Los resultados de este análisis advierten que, bajo los supuestos considerados, a la fluctuación del precio de venta tiene un mayor efecto que la variación en el costo del alimento, en la rentabilidad estimada por la TIR (Tabla 19).



Tabla 19. Resultados del análisis de sensibilidad por escenario y tamaños óptimos de producción.

Escenario	No. tanques	Costo medio	B/C	RSI	VPN	TIR
Base	32	\$32.45	1.69	257%	\$11,242,053.89	78%
	48	\$31.98	1.72	323%	\$18,269,797.25	94%
	64	\$31.74	1.73	365%	\$25,297,540.61	104%
	80	\$31.60	1.74	394%	\$32,327,136.05	111%
+20% Precio venta	32	\$32.45	2.03	431%	\$18,864,599.78	120%
	48	\$31.98	2.06	525%	\$29,703,616.09	143%
	64	\$31.74	2.08	584%	\$40,542,632.40	157%
	80	\$31.60	2.09	625%	\$51,383,500.79	166%
-20% Precio venta	32	\$32.45	1.36	83%	\$3,619,507.99	31%
	48	\$31.98	1.38	121%	\$6,835,978.40	42%
	64	\$31.74	1.39	145%	\$10,052,448.81	49%
	80	\$31.60	1.39	162%	\$13,270,771.30	53%
+20% Costo alimento	32	\$37.29	1.47	180%	\$7,891,310.87	58%
	48	\$36.81	1.49	234%	\$13,243,682.72	72%
	64	\$36.58	1.50	268%	\$18,596,054.57	81%
	80	\$36.43	1.51	292%	\$23,950,278.50	86%
-20% Costo alimento	32	\$27.62	1.99	333%	\$14,592,796.91	97%
	48	\$27.14	2.03	412%	\$23,295,911.78	116%
	64	\$26.91	2.04	461%	\$31,999,026.65	128%
	80	\$26.76	2.06	495%	\$40,703,993.60	136%

De manera general, al disminuir el precio de venta la rentabilidad del sistema se reduce, sin embargo, se mantiene superior a la TREMA de 20% (Figura 22). Por otro lado, considerando el indicador RSI y el índice B/C, se deberían descartar el tamaño de 32 tanques al no cubrir el 100% de la inversión inicial en un periodo de 5 años de operación y el tamaño de 80 tanques, debido a que se genera el mismo beneficio (1.39) al operar 64 tanques con una inversión inicial menor.

Para evaluar este análisis se utilizó el porcentaje de variación en la TIR con respecto al análisis base (Tabla 20). El efecto de la variación en los factores resultó ser más fuerte en el tamaño de 32 tanques de engorda. En cuanto a la sensibilidad de la TIR, la variación en el precio de venta generó un efecto dos veces mayor que el costo del alimento, siendo mayor el cambio al reducir en 20% dicho factor. El mayor cambio porcentual de la TIR fue de -60% en el escenario de 32 tanques con

reducción del precio de venta. El escenario de 64 tanques con aumento en el costo del alimento presenta el menor efecto con un cambio porcentual de -22% en el estimador TIR.

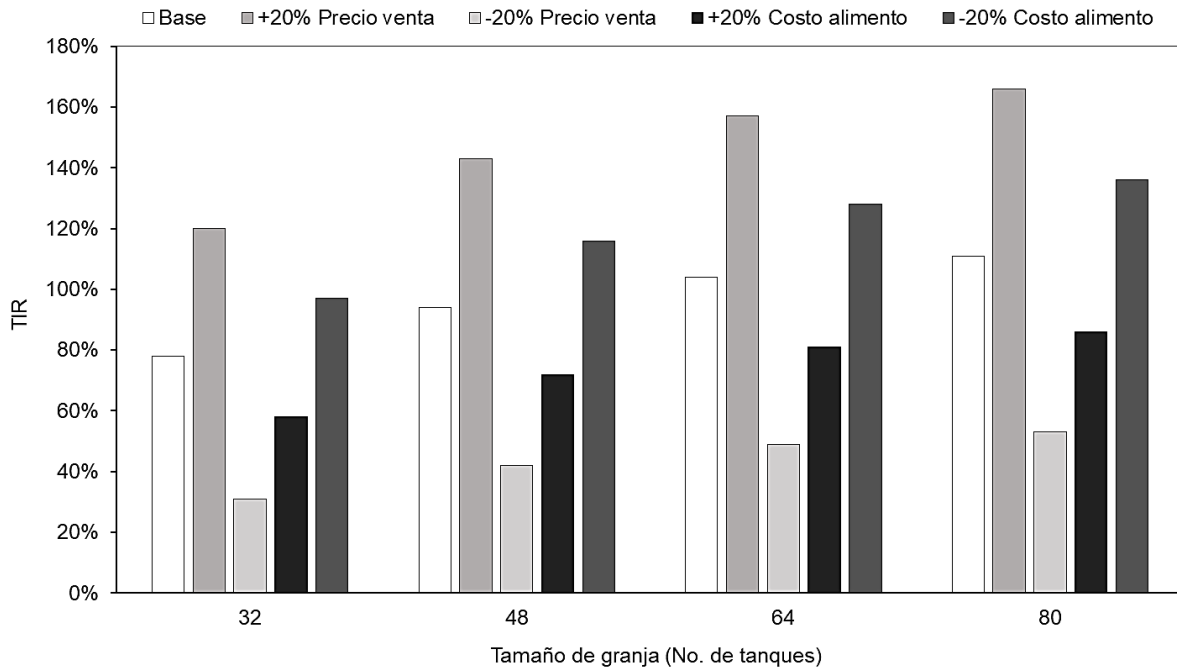


Figura 22. Efecto en la tasa interna de retorno (TIR) respecto a la variación del precio de venta y el costo de alimento.

Tabla 20. Porcentaje de cambio del estimador TIR ante escenarios de sensibilidad para cada tamaño óptimo de granja

Factor	No. de tanques			
	32	48	64	80
+20% Precio venta	54%	52%	51%	50%
-20% Precio venta	-60%	-55%	-53%	-52%
+20% Costo alimento	-26%	-23%	-22%	-23%
-20% Costo alimento	24%	23%	23%	23%

## 8. Discusión

Este trabajo es el primero en su género en la región en mostrar mediante un modelo de simulación económica el efecto del tamaño de granja sobre la producción y eficiencia económica de la misma. Para ello, se usó como ejemplo el sistema de tanques circulares de liner (16 m diámetro) usados en los sistemas de cultivo de engorda de tilapia (*O. niloticus*) en Yucatán. El tamaño de la granja se relaciona con las inversiones iniciales y con los beneficios esperados de dicha inversión. La decisión del tamaño es de gran trascendencia para el acuicultor, interesado en obtener los mayores beneficios de su inversión (Gasca-Leyva et al. 2002; González-Romero et al. 2014; Yuan et al. 2020). Son escasos los trabajos enfocados en la economía de la producción de tilapia que consideran la inversión inicial en la evaluación de la rentabilidad del sistema. Por otro lado, los estudios que integran la inversión en la modelación económica no suelen desglosar los costos a detalle, lo cual dificulta realizar una adecuada comparación con este estudio. En este escenario estudiamos diferentes escalas de granja y los efectos sobre los costos, los ingresos y la rentabilidad de la inversión.

Los primeros tranques introducidos para el cultivo de tilapia en Yucatán eran de concreto y de diámetros menores, debido a que la producción acuícola estaba enfocada en el desarrollo social. Sin embargo, durante la última década la producción de tilapia en el estado tuvo una transición de sistema de autoconsumo a sistemas comerciales. Lo anterior, debido principalmente al incremento población, a la inversión pública y privada, y a la investigación bioeconómica de procesos y tecnologías de cultivo. Poot-López et al. (2014) y Paredes-Trujillo et al. (2016) determinaron dos categorías de granjas de tilapia en Yucatán, las de escasa tecnología de producción con 1 a 4 tanques de engorda y las de tecnología media-alta con 5 a 13 tanques. Los estudios más recientes y cercanos a esta investigación han sido lo realizado por Zongli et al. (2017), Yuan et al. (2017) y Yuan et al. (2020) quienes evaluaron el rendimiento económico y la eficiencia técnica de distintos tamaños o niveles de producción de granjas de tilapia en China. Una importante diferencia con estos estudios es el proceso y la tecnología de cultivo, donde se

emplean estanques excavados en tierra (>0.5 ha) con costos de inversión y producción distintos a los planteados en este estudio. Existen diversos estudios con resultados relevantes que analizan la economía de escala en la producción acuícola de especies de importancia comercial como el esturión, la dorada y el camarón blanco, mencionados en la Tabla 1.6.

En base a lo expresado por productores, datos de crecimiento proporcionados, demanda del mercado y resultados obtenidos por Poot-López et al. (2014) y Kim et al. (2020), el modelo económico considero dos ciclos de cultivo anuales y una talla de cosecha de 450 g. Avances tecnológicos y estudios referentes a la optimización del crecimiento biológico y la producción, han contribuido a la reducción de la mortalidad de la tilapia en sistemas de engorda. Poot-López (2010) estimo una mortalidad de 10% a partir de datos proporcionada por granjas de engorda en Yucatán, sin embargo, a partir de lo indicado por los productores recientemente, este estudio considero una mortalidad del 5% por ciclo de cultivo para cada tanque de engorda. Existen situaciones de eventos extraordinarios donde la mortalidad es mayor (e.g., eventos climáticos, suministro eléctrico) inclusive pudiendo afectar la producción en su totalidad, sin embargo, no es la norma en la situación acuícola del Estado, siendo así particular a las condiciones de cada granja o sistema. La densidad de cultivo es una decisión del acuicultor y dependerá del nivel de tecnología y capital de operación con el que se cuente. De acuerdo con los datos registrados por Poot-López et al. (2014) y Paredes-Trujillo et al. (2016) la densidad de cultivo en granjas de tilapia en Yucatán fue desde un mínimo de 8 org/m<sup>3</sup> en granjas de baja tecnología, hasta 45 org/m<sup>3</sup> en granjas con un nivel medio a alto de tecnología, similar al rango de densidad planteado en este estudio. Algunos dueños de granjas expresaron tener la capacidad de operar densidades mayores a los 45 org/m<sup>3</sup>, sin embargo, optaron por mantener densidades de cultivo menor, debido principalmente a la reducción en los costos de producción. Con base en ello, podemos considerar la densidad de 35 org/m<sup>3</sup> empleada en este estudio como una alternativa moderada adversa al riesgo. Si bien la densidad se mantiene fija, sería recomendable evaluar distintos escenarios del presente modelo económico con densidades mayores y menores, a fin de observar las modificaciones en los costos

de producción y la rentabilidad resultante. Poniendo en perspectiva la densidad de cultivo y la capacidad en metros cúbicos de agua en los tanques de engorda, la producción estimada en este estudio es similar a la generada en el modelo bioeconómico de Poot-López (2010).

Los insumos de producción aumentaron de manera proporcional conforme el número de tanques en operación aumentó. La alimentación resultó ser el factor condicionante de la rentabilidad del sistema, al constituir poco más del 60% de los costos de producción en cada ciclo de cultivo. A pesar de las recomendaciones de emplear raciones del 60-80% de lo indicado en las tablas de alimentación proporcionadas por distribuidores de alimento balanceado (Gasca-Leyva et al. 2002; Domínguez-May et al. 2011; Poot-López et al. 2014; Domínguez-May et al. 2020), se optó por estimar la cantidad y el costo del alimento de acuerdo con las tablas y raciones de alimento empleadas actualmente por productores de tilapia en Yucatán.

En base a los resultados del presente estudio, la mano de obra juega un papel importante en la evaluación de las escalas de producción o tamaño de granja, y es un factor importante en la funcionalidad y eficiencia técnica de los sistemas de producción acuícola. La simulación de la eficiencia técnica de este factor es compleja en sentido de su variación cualitativa (especialización, capacitación) y de manera cuantitativa, en relación del número de trabajadores con la capacidad productiva del sistema (Castilho-Barros et al. 2020). De acuerdo con lo observado y registrado en la operación de granjas de engorda de tilapia, se consideró una relación eficiente de un trabajador para operar ocho tanques circulares de 16 metros de diámetro. Por lo cual se evidencia una conducta de incremento escalonado en el número de trabajadores y por ende en el costo variable de producción conforme aumentan el número de tanques de engorda en el sistema. Dichos resultados planteados hacen referencia al contexto de labor o empleados de las granjas de Yucatán. Sería pertinente analizar la variación en la mano de obra y su efecto directo en los costos fijos y eficiencia técnica del sistema, con el fin de considerar

tecnologías y esquemas de operación específicos a cada granja o región en particular.

Los costes de inversión en este estudio presentan incrementos lineales con respecto al tamaño de la granja, mientras que en los estudios de la producción de dorada en jaulas flotantes de Gasca-Leyva (2002) y De Benito et al. (2016) presentaron una tendencia logarítmica asintótica. La inversión inicial en una granja de peces, y en las empresas en general, crece conforme al tamaño de éstas, pero de una forma no lineal. Este se debe principalmente a que la capacidad técnica de los equipos, instalaciones e infraestructura disponibles en el mercado no es continua ni divisible (Allen et al. 1984; Edwards y Starr, 1987; Salvanes, 1989). En este estudio, se estimó la inversión necesaria para cada tamaño de gran considerando la proporción de cada concepto de inversión con base en la capacidad técnica y su funcionalidad en la operación de las granjas de engorda. Se evidencia la eficiencia técnica y económica de la inversión por escala de producción en el comportamiento asintótico del indicador retorno sobre la inversión (RSI) y la tendencia a la constante del costo unitario de inversión y con relación al número de tanques. Las relaciones de tamaño y tecnología influirán en la escala, inversiones y costos de producción. Bajo ciertos límites de operación y escala o tamaño adecuado, dichas relaciones propiciarán un mejor costo de inversión por unidad de cultivo instalada y un mayor rendimiento de la mano de obra, lo cual contribuirá a disminuir el costo de producción y aumentar la rentabilidad del proyecto.

En este modelo, tanto el costo unitario de inversión como el costo medio de producción presentaron rendimientos crecientes de escala en los primeros 30 tanques, para después reducir su tasa y presentar tendencia a rendimientos constantes a escala. El costo medio de operar un sistema de 31 es \$32.54/kg y al operar 100 tanques el costo medio se reduce en tan solo un peso a \$31.53/kg. Considerando el precio de venta de \$55.00 por kilogramo de producto, tendríamos un margen de utilidad bruta de entre \$22.50 y \$23.50, para dicho rango de tamaños. Hay ciertos procesos y técnicas de producción que exigen una escala mínima de aplicación, ya que por debajo de sus límites los costos serán elevados, lo que no se

justificará en el desarrollo y la operación de la granja. El costo medio y el costo marginal, relacionado con la producción en un intervalo de tiempo y/o niveles de producción, son indicador de la tendencia hacia las economías de escala. En general, la tendencia en la mayoría de las empresas es la del desplazamiento del costo medio hacia el mínimo valor, en la transición del corto plazo hacia el largo plazo (Allen et al. 1984; Jolly y Clonts, 1993). Respecto a los costos generados por el modelo económico, se observa que los costos variables presentan una tendencia de incremento conforme aumenta el tamaño de granja y la producción, los costos fijos no se modifican.

El nivel de producción que maximiza los beneficios será cuando el costo y el ingreso marginales se igualan (Jolly y Clonts, 1993). Para este estudio, el ingreso bruto marginal es igual al precio de venta fijo acordado de \$55.00 por kilogramo. La producción de tilapia nilótica en Yucatán se rige bajo un mercado teórico de libre competencia, donde el precio de venta se mantiene fijo independientemente del volumen de producción, siempre acordado bajo el supuesto de oferta y demanda. Si bien, el análisis marginal de ingresos y costos se basa en un comportamiento temporal, en este estudio, los costos fijos, la mano de obra variable y la depreciación de los activos, definen la conducta marginal de los costos, debido a que presentan discontinuidades en la tecnología empelada y en la operación del sistema. Las proporciones de los factores fijos y variables se ajustan con los equipos, ofreciéndonos diferentes costos medios, con la tendencia hacia un óptimo en el largo plazo (Gasca-Leyva et al. 2002). La mayoría de las granjas, si es que no todas, cuentan con más equipamiento acuícola de lo requerido, en varias granjas se observaron aireadores de paleta, motobombas y tanques de engorda en desuso o en un estado inoperante por falta de mantenimiento. En un principio las granjas de Yucatán iniciaron con apoyos a fondo perdido por parte del gobierno estatal y federal para su desarrollo y operación, al no ser un costo asumido por el productor suele no considerarse este costo en el análisis financiero del sistema, resultando en disparidades en el equipo, infraestructura e instalaciones con respecto a la escala. Un claro ejemplo, es el uso de las plantas de emergencia eléctrica, las granjas de tilapia suelen crecer y aumentar el número de tanques, pero rara vez consideran la

capacidad y eficiencia técnica de operación del generador o planta eléctrica y el riesgo que conlleva en la producción.

De acuerdo con el valor presente neto (VPN), es a partir de un tamaño de 7 tanques donde se obtendrían rendimientos positivos de la producción en un plazo de 5 años, presentando un incremento lineal en las escalas siguientes. Este indicador considera una tasa de descuento anual del 5% con el fin de estimar el valor presente de un pago en el futuro. En México, este descuento hace referencia a una tasa de inflación de 3-4% y un interés bursátil de 2% anual. El flujo de efectivo neto anual incluye depreciaciones y amortizaciones como un costo corriente, debido a que estas deben deducirse de impuestos (Rebollar y Jaramillo, 2012). Bajo las condiciones y certidumbre de producción planteados y de manera general, los indicadores de rentabilidad superaron sus valores críticos. Los indicadores financieros de rentabilidad B/C y RSI, fueron útiles en la distinción de tamaños de referencia óptimos. Ambos indicadores presentan una tendencia asintótica conforme aumenta el número de tanques. De acuerdo con los beneficios brutos de la producción, se observa un ligero aumento al aumentar de 32 (1.70) a 100 (1.74) tanques de engorda, este indicador no considera la inversión inicial, descuentos y pago de intereses. Los porcentajes de retorno sobre la inversión indican de manera relativa un retorno mayor de la inversión en tamaños iniciales, con tendencia a rendimientos constantes en tamaños mayores. Ambos indicadores presentaron una mayor rentabilidad en comparación con otros trabajos de economía de la producción de tilapia (Reyes, 2012; Benítez et al. 2015).

Los resultados de este modelo evidenciaron una economía de escala, lo cual plantea que el crecimiento de las granjas de engorda de tilapia en Yucatán es favorable, siempre que se consideren las escalas de operación o el número de tanques adecuado y el capital de inversión requerido. Por otro lado, se debe considerar la disponibilidad de área, insumos y recurso hídrico, previo a la planificación e inversión. Las economías de escala han sido descritas en cultivo de peces (Gasca-Leyva et al. 2002; García-García et al. 2005; De Benito et al. 2012; Cang et al. 2018; Rahman et al. 2019), presentando un decrecimiento del costo



medio conforme se incrementaba el tamaño de la granja, mientras que Logan et al. (1995) la obtienen basándose en los resultados de la tasa interna de rendimiento (TIR). Este estimador es una herramienta útil al momento de optar por un escenario de producción o proyecto de inversión. En este estudio fue favorable para tamaños de granja mayores a 7 tanques de engorda, generando rendimientos superiores a la tasa de descuento del 5%. De manera conservadora, el tamaño mínimo rentable se define en 10 tanques, donde la TIR (22%) supera a la TREMA (20%). Este indicador tiende a reducir su tasa de incremento conforme aumenta el número de tanques, lo cual pone en evidencia tamaños rentables como límites o puntos de interés en el esquema de producción. De manera relativa a la escala de producción, las TIR's generadas en este estudio fueron ligeramente mayores a la estimada por Reyes (2012), Jarero et al. (2013) y Castilho-Barros et al. (2020), 45%, 24% y 23.7% respectivamente. Benítez et al. (2015) estimó una TIR mayor, de 143%, sin embargo, dicho análisis no consideró la inversión inicial en la evaluación financiera.

Los tamaños de granja de 32, 48, 64 y 80 tanques de engorda de 16 metros de diámetro de acuerdo a los resultados son las alternativas de inversión que generan los mejores rendimientos económicos. Esto sugiere que los costos de los diferentes factores de producción y la comercialización, así como los de inversión y los ingresos esperados, contribuyen a ofrecer una mejor rentabilidad al incrementar la eficiencia en el uso de los equipos y de las instalaciones de cultivo. Los cuatro tamaños de granja de engorda de tilapia determinados como óptimos, representan distintos esquemas financieros y de inversión. Si bien se evidencian economías de escala en el aumento de unidades de producción, el capital de inversión con el que se cuenta, o bien, la capacidad de pago del inversionista/productor, definirán la escala conveniente de operación que genere mayores beneficios.

Las variables de producción y su magnitud son decisiones del productor, por otro lado, el mercado y su comportamiento, son ajenos al productor. En este estudio, se realizó un análisis de sensibilidad en factores de mercado, como la modificación en el precio de venta y el costo del alimento, siendo este último el de mayor influencia en los costos de producción. Esto coincidió con otros estudios bioeconómicos a

corto plazo, donde se menciona que el precio de venta y costos de alimento son los factores que más inciden en la gestión óptima de un cultivo (Green et al. 2002; Liu y Sumaila, 2007; Saiti et al. 2007; González-Romero et al. 2014; Merinero et al. 2016; Yuan et al. 2017; Castilho-Barros et al. 2020). El análisis de sensibilidad muestra la variación de la TIR con respecto modificaciones al 20% de los factores ante mencionados, en los escenarios adversos la TIR se mantuvo superior al TREMA (20%). La reducción en el precio de venta presentó el mayor efecto en la rentabilidad de dichos tamaños óptimos, siendo el tamaño de 32 tanques el de mayor variación. En este año (2020) debido a la situación extraordinaria del Covid-19, los productos de tilapia han tenido que reducir sus precios de venta, inclusive por debajo del costo medio de producción, esto debido a una importante reducción en la demanda del producto a nivel regional y nacional.

Al evaluar la sensibilidad del sistema por el efecto del mercado en el costo del alimento balanceado y el precio de venta, la alternativa de 64 tanques es la mejor opción al presentar una menor variación de la TIR. De acuerdo con los resultados obtenidos del comportamiento de la inversión, los costos, y los ingresos, una granja de engorda de tilapia en Yucatán de 48 tanques sería la mejor alternativa al momento de invertir o escalar la producción existente. Debido a que se presenta una mayor reducción en los costos medios y un mayor aumento en la rentabilidad al escalar el sistema a dicho tamaño, esto con respecto a los demás tamaños óptimos determinados. El incremento de la inversión para realizar la alternativa de mayor tamaño parece no compensar los efectos de la economía de escala existente al aumentar la producción. Si bien, operar granjas con un mayor número de tanques de engorda generaría mejores beneficios, en términos de rentabilidad y nivel de inversión es recomendable mantener un tamaño moderado de buenos rendimientos con una inversión apegada a la realidad de la industria y mercado acuícola en Yucatán.

Evaluar puntos de ineficiencia técnica, combinación de factores y activos, y la capacidad y funcionalidad de los equipos indivisibles, permitiría generar recomendación en cuanto a la inversión de activos y niveles de operación. Si existe

flexibilidad en la instalación de la granja, si los equipos y la tecnología lo permiten, se puede considerar la implementación del proyecto por etapas como una alternativa viable. La oferta y demanda del producto en el mercado juega un papel decisivo en el volumen de producción y por ende en el tamaño de la granja. El cultivo de tilapia en Yucatán tiene el potencial para aumentar su producción y los rendimientos económicos a nivel regional, es cuestión de explotar otros nichos de mercado. Actualmente en México, el volumen de importación de tilapia es mayor al de exportación, esto presenta una oportunidad de comercializar una mayor cantidad de producto a mercados nacionales. En cuanto al mercado de exportación, es necesario posicionar el producto de cada granja en cuanto a calidad, diversificación y certificaciones de sanidad y buenas prácticas en el proceso de cultivo, además de manufactura y comercialización.

## 9. Conclusiones

1. Con un precio de venta de \$55 por kg de tilapia, los tamaños de granja de uno a seis tanques presentaron rendimientos negativos en el corto plazo, a partir de siete tanques el sistema es rentable. El valor presente neto (VPN) de una granja de siete tanques se estimó en \$175,845.06 aumentando de manera constante a \$41,006,238.43 al operar 100 tanques de engorda en cinco años.
2. Al aumentar de seis a siete tanques de engorda, donde la tasa interna de retorno (TIR) aumenta de 0 a 8%, se logra un retorno superior a la tasa de descuento considerada (5%). Considerando la TREMA (20%), es hasta un tamaño de 10 tanques donde se obtiene una TIR de 22%. La TIR se reduce con tendencia a un límite máximo constante con respecto a la escala de producción, aumentando en tan solo un 5.8% de 80 a 100 tanques.
3. De acuerdo con el indicador del retorno sobre la inversión (RSI), se determinó un tamaño de 14 tanques como el mínimo rentable en el que se recuperaría en 111% la inversión inicial realizada en un plazo de cinco años de operaciones. Operar una granja de 50 tanques de engorda en un periodo de cinco años generaría un retorno de 326% del valor de la inversión inicial. mientras que con 100 tanques en operación se obtendría un 418%.
4. Los beneficios brutos serán similares al operar 32 hasta 100 tanques de engorda, independientemente de la inversión realizada para cada escala de operación. El índice Beneficio/Costo (B/C) es de 1.70 para un tamaño de 32 tanques, aumentando a 1.74 para un tamaño de 100 tanques.
5. A partir de un tamaño de granja de tres tanques de engorda es cuando se obtienen rendimientos económicos, con un costo medio de producción de \$48.69/kg, menor al precio de venta. Si bien el costo medio y el costo unitario de inversión se reducen al aumentar el tamaño de granja la rentabilidad neta no es significativamente mayor, haciendo ineficiente la producción de la granja con aumento en insumos que no mejoran la rentabilidad.

6. La rentabilidad aumenta con relación al tamaño de granja, sin embargo, el mayor efecto de escala se observó al incrementar de 32 a 48 tanques de engorda. Los tamaños de 65 y 80 tanques tienen la ventaja de recuperar en un año de operación la inversión inicial, siendo de dos años para los tamaños de 32 y 48 tanques.
7. Considerando el indicador RSI y el índice B/C, se deberían descartar el tamaño de 32 tanques al no cubrir el 100% de la inversión inicial en un periodo de cinco años de operación y el tamaño de 80 tanques, debido a que se genera el mismo beneficio (1.39) al operar 64 tanques con una inversión inicial menor.
8. En cuanto a la sensibilidad de la TIR, la variación en el precio de venta genero un efecto dos veces mayor que el costo del alimento, siendo mayor el cambio al reducir el precio de venta. El mayor cambio porcentual de la TIR fue de -60% en el escenario de 32 tanques con reducción del precio de venta. El escenario de 64 tanques con aumento en el costo del alimento presento el menor efecto con un cambio porcentual de -22% en el estimador TIR.
9. El costo medio total decreció conforme aumentó el tamaño de la granja, revelándose la existencia de rendimientos crecientes a escala en los primeros tamaños de granja, en los siguientes tamaños de granja, la reducción del costo medio fue mínimo, por lo que podemos asumir un comportamiento de retornos constantes a la escala de operación.
10. De acuerdo con los resultados obtenidos del comportamiento de la inversión, los costos, y los ingresos, de una granja de engorda de tilapia en Yucatán con 48 tanques sería la mejor alternativa al momento de invertir o escalar la producción existente. De acuerdo con la sensibilidad del sistema por el efecto del mercado en el costo del alimento balanceado y el precio de venta, la alternativa de 64 tanques es la mejor opción al presentar una menor variación en la tasa de rentabilidad.

## 10. Recomendaciones Generales

- Ampliar la línea de investigación en acuicultura con publicaciones que desde el punto de vista económico analizan este sector productivo en el ámbito de la microeconomía.
- Es necesario actualizar anualmente los valores de inversión y costos de insumos, de acuerdo con la región o país de interés. Analizar la eficiencia operativa de la mano de obra empleada, evaluando capacidades, formación y aspectos sociodemográficos reconociendo los contextos específicos.
- Evaluar la capacidad y eficiencia técnica de los equipos de operación y activos de inversión, integrando un análisis ingenieril y de eficiencia técnica dentro de un sistema de cultivo (p. ej. Precision Fish Farming (PFF), fronteras de producción, modelo Cobb-Douglas, etc.).
- El desarrollo de este modelo económico continuará con la incorporación de un modelo biológico de crecimiento, analizando de igual manera la conducta temporal y tallas de cosecha. Se podría incorporar un análisis de riesgo por simulación estocástica (p. ej. método Monte Carlo).
- El modelo económico desarrollado es replicable en distintos procesos de producción y/o especie de interés comercial. Se debe considerar la tecnología y los factores de producción determinantes en la rentabilidad.
- Este estudio evidencia la existencia de un amplio margen para mejorar la inversión y el desempeño de las granjas, considerando la escala y el uso adecuados de los factores de producción.
- Las condiciones generales obtenidas en este trabajo referente a tamaños óptimos de granja, estimación de costos, y decisiones de gestión en general, deben considerarse no como valores absolutos de referencia obligada, sino como tendencias resultantes de acuerdo con las variables que se consideran en el modelo.

## 11. Referencias Bibliográficas

- Acosta M., Correa A. y González-Pérez A.L. 2002. Factores determinantes de la rentabilidad financiera de las pymes. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, XXXI. 112, 395-430.
- Alam M. A., Guttormsen A. G., y Roll K. H. 2019. Production risk and technical efficiency of tilapia aquaculture in Bangladesh. *Marine Resource Economics*, 34,2, 123-141.
- Álvarez R.A.R., Mamani E.A., y Londoño J.A.B. 2004. Economía de la producción de bienes agrícolas: teoría y aplicaciones. Universidad de los Andes, Facultad de Economía, CEDE.
- Allen P.G., Botsford L.W., Schuur A.M. y Johnston W.F. 1984. *Bioeconomics Of Aquaculture*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands, 351.
- Araneda M., Hernández J., Domínguez-May R., Vela M. A., y Gasca-Leyva E. 2018. Harvest time optimization considering the stocking density and heterogeneity of sizes in the culture of white shrimp in freshwater. *Aquaculture Economics & Management*, 22,4, 431-457.
- Audretch D., 1999. "Small firms and efficiency", en Z. Acs eds. *Are Small Firms Important? Their Role and Impact*. University of Baltimore, USA, 20-37
- Baca, U. G. 2013. *Evaluación de Proyectos*. Séptima ed. Edit. McGraw Hill. México, D.F. 337.
- Bailly D. y Lagos P., 1991. *Aquaculture Economics: identification and management of producton cost*. *Aquaculture Europe '89 Business Joins Science*. N. de Pauw and R. Billard eds. *Europan Aquaculture Society*. No 12: 360-369.
- Balbuena D., Ríos V., Flores A. y Meza, J. 2011. *Manual para el Extensionista en Acuicultura*. MAG y FAO, Paraguay.
- Barba M., Melgar, C. Juárez F. 2009. *Manual para el Uso de la Tecnología EM en Granjas de Tilapia en Tabasco*. 1ªed. El Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco, México. 37. ISBN 978-607-7637-11-0
- Basualdo-Ramírez L.J., Jiménez-Guzmán F., Jiménez-Saavedra A.C., Macal Niño F.J., Quintero-Marmol E.A.M., Montaña-Aguilar D. y Gutiérrez U E. 2012. *Criterios técnicos y económicos para la producción sustentable de tilapia en México*. México. Soltar impresiones. (Comité Nacional Sistema Producto Tilapia S.C.)
- Benítez M., Rebollar S., González F., Hernández J., y Gómez G. 2015. Viabilidad económica para la producción y venta de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en AMATEPEC, Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 37,147-158.
- Bocek, a. 2007. *Acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural introducción al cultivo de la tilapia (en línea)*. International Center for Aquaculture Swingle Hall Auburn University. Alabama, USA, 36849-5419.

- Bravo-Ureta, B. y Solis, D. 2008. Bioeconomic modelling and salmon aquaculture: an overview of the literature. *Int. J. Environment and Pollution*, 33,4, 485.
- Bywater, A. y Cacho O. 1994. Use of simulation models in research. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 54, 403-12.
- Cacho, O. 1997. Systems modelling and bioeconomic modelling in aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 1, 45-64.
- Cai, J., Leung, P., Yuan, X., Yuan, Y. y Luo, Y., 2016. Improving the Technical and Economic Performance of Aquaculture: Perspective from Bio-Economic Model.
- Camacho, B. 1997. Proyecto para el cultivo de tilapia en Xancaltitla, Municipio de Atlapexco, Hidalgo. México. 55-147.
- Campos, M. N., Sevilla, P. M., Velasco, L. S., Filograsso, L. C., y Cárdenas, O. L. 2016. Acuicultura: estado actual y retos de la investigación en México. *Revista AquaTIC*, 37.
- Cang, P., Yang, Z., y Duan, Y. 2018. The economies of scale of turbot industrial running water aquaculture system in China: a case from Shandong province. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18,1, 167-173.
- Cantor, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, México.
- Castilho-Barros, L., Owatari, M., Mouriño, J., Silva, B., y Seiffert, W. 2020. Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: A small-scale farm model. *Aquaculture*, 515, 734551.
- CONAPESCA. 2017. Anuario estadístico de la Comisión Nacional de Pesca [https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgpppe/2017/ANUARIO\\_ESTADISTICO\\_2017.pdf](https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgpppe/2017/ANUARIO_ESTADISTICO_2017.pdf) fecha de consulta: marzo, 2020
- Costa, J., Sabbag,O., Ayroza, L, Martins y M. Espagnoli, G. 2017. Productive performance and economic evaluation of tilapia stocked in different times of the year. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46,7, 553-559.
- De Benito, F., Maicas, F., Jauralde, I., Martínez, S., Marín, M. y Jover, M., 2016. Evaluación de la rentabilidad económica de la producción de dorada (*Sparus aurata*) en jaulas marinas. *Revista AquaTIC*, 37.
- Domínguez-May, R., Hernández, J. M., Gasca-Leyva, E., y Poot-López, G. R. 2011. Effect of ration and size heterogeneity on harvest time: tilapia culture in Yucatan, Mexico. *Aquaculture Economics & Management*, 15,4, 278-301.
- Domínguez-May, R., Poot-López, G. R., Hernández, J. y Gasca-Leyva, E. 2020. Dynamic optimal ration size in tilapia culture: Economic and environmental considerations. *Ecological Modelling*, 420, 108930.
- Edwards, B. K., y Starr, R. M. 1987. A note on indivisibilities, specialization, and economies of scale. *The American Economic Review*, 77,1, 192-194.
- Elhendy, A. M., y Alzoom, A. A. 2001. Economics of fish farming in Saudi Arabia: analysis of costs of tilapia production. *Aquaculture Economics & Management*, 5,3-4, 229-238.



- El-Sayed, A.F.M. 2006. Tilapia Culture. CABI Publishing. UK. 277.
- Engle, C.R. 1997. Economics of tilapia (*Oreochromis sp.*) aquaculture. Costa-Pierce, B.A. and J.E. Rakocy, eds. Tilapia Aquaculture in the Americas, 1. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana.
- Engle, C.R. 2006. Marketing and economics. Lim, C. and C.D. Webster, eds. Tilapia: Biology Culture, and Nutrition. Food Products Press, New York, 619–644.
- Engle, C. R. 2007. Investment and farm modeling for feasibility assessment and decision making in aquaculture. Species and system selection for sustainable aquaculture, 67-84.
- Engle, C.R., Quagraine, K.K. y Dey, M.M., 2016. Seafood and aquaculture marketing handbook. John Wiley & Sons.
- FAO. 2014. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma.
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224.
- FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture. 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La Sostenibilidad en Acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es> fecha de consulta: octubre, 2020.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura). 2012. Manual del curso de Formulación y Evaluación de Proyectos Productivos II. Villadiego, Guanajuato, México.
- Fitzsimmons, K. 2000. Tilapia aquaculture in Mexico. Costa-Pierce, B.A. and J.E. Rakocy, eds. Tilapia Aquaculture in the Americas. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, 2, 171–183.
- Fitzsimmons K. 2006. Prospect and potential for global production. Tilapia: Biology, Culture and Nutrition. Food Products Press, New York, USA.; 51-72.
- Fitzsimmons, K., y Watanabe, W. O. 2010. Tilapia (Family: Cichlidae). Finfish aquaculture diversification, 374-396.
- Florence, O.N. y T.O. Harrison. 2012. Impact of stocking density on the polyculture of *Clarias gariepinus* and *Oreochromis niloticus*. Journal of Agricultural Science and Technology, 2, 1018-1023
- Flores-Nava A., Villanueva-García B.V., Vidal-Martínez V., Olvera-Novoa M.A., Alonso-Alemán M., Arreguín-Sánchez F., Poot-López G.R., Alonzo-Marrufo E., Maldonado-Repetto A. 2016. Diagnóstico de los sectores de la pesca y la acuicultura en el estado de Yucatán. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Gobierno del Estado de Yucatán/Secretaría de Desarrollo Rural. Proyecto UTF/MEX/117. Mérida, Yucatán. 122 pp.

- Frimpong, E.A., Ansah, Y.B., Amisah, S., Adjei-Boateng, D., Agbo, N. W. y Egna, H. 2014. Effects of two environmental best management practices on pond water and effluent quality and growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Sustainability, 6,2, 652-675.
- Garcia-Garcia, J., Rouco, A. y Garcia-Garcia, B. 2005. Economies of scale for ongrowing gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on offshore cages in the Mediterranean Sea. Anales de Veterinaria de Murcia, 21, 69-76.
- Gasca-Leyva E., León C., Hernández J.M., y Vergara, J.M. 2001. Análisis bioeconómico del cultivo de dorada en Canarias y en el Mediterráneo. Economía Agraria y Recursos Naturales-Agricultural and Resource Economics, 1,1, 55-76.
- Gasca-Leyva, E., León, C.J., Hernández, J.M. Vergara, J.M. 2002. Bioeconomic analysis of production location of seabream (*Sparus aurata*) cultivation. Aquaculture, 213,1-4, 219-232.
- Gilardoni, D. 2011. Manual Básico de Piscicultura en Estanques. Montevideo: Dirección Nacional de Recursos Acuáticos
- Gispert, C. 2008. Océano Ilustrado de Ciencias y Tecnologías Económicas. Bogao, Verónica (Coord.): Primera Edición. España, Murcia: Milanesat. 735. ISBN: 84-494-2866-1.
- Gómez-Miranda M.E. y Rodríguez-Ariza L. 2004. Evidencia empírica entorno al estudio del factor tamaño como condicionante empresarial". Revista de Contabilidad, 7,13, 167-197.
- González-Romero M.A., Hernández-Llamas A., Ruiz-Velazco J.M., Plascencia-Cuevas T.N. y Nieto-Navarro J.T. 2014. Stochastic bio-economic optimization of pond size for intensive commercial production of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture, 433. 496-503.
- Guttormsen, A.G. 2002. Input Factor Substitutability in Salmon Aquaculture. Marine Resource Economics 17,91–102.
- Jarero, D.A., M. Rejón, E. Valencia, L. Araujo. 2013. Análisis de inversión para la producción de tilapia en el municipio de Dzilam Bravo, Yucatán, México. Memoria. XXVI Congreso Internacional en Administración de Empresas Agropecuarias. Hermosillo, Sonora. México. 29-30
- Jolly, C. y Clonts, H. 1993. Economics of Aquaculture. Taylor & Francis. 319.
- Kim, P. B., Klanian, M. G. y Seijo, J. C. 2020. Effect of size heterogeneity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the optimal harvest time: A bioeconomics approach. Latin American Journal of Aquatic Research, 48,1, 65-73.
- Kotler, Philip. Dirección de Marketing. Décima edición. Edición Milenio, 2001.
- Krugman, P. 2007. Introducción a la Economía, Tercera Edición, Barcelona, 2007, 488. IBSN. 9788492126327
- Liti, D., Cherop, L., Munguti, J. y Chhorn, L., 2005. Growth and economic performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed on two formulated diets

- and two locally available feeds in fertilized ponds. *Aquaculture Research*, 36, 746-752.
- Llorente, I. y Luna, L. 2016. Bioeconomic modelling in aquaculture: an overview of the literature. *Aquaculture International*. 24,4, 931-948.
- Logan S.H., Johnston W.E. y Doroshov S.I. 1995. Economics of join production of sturgeon (*Acipenser transmontanus* Richardson) and roe for caviar. *Aquaculture*, 130, 299-316.
- Luchini, L. 2006. Tilapia: su cultivo y sistemas de producción. Dirección de Acuicultura. SAGPyA. Buenos Aires.
- Luna, L. 2002. Economic analysis of finfish mariculture operations in Spain. *Aquaculture Economics and Management*, 6,1-2, 65-79.
- Martínez-Giralt, X. 2008. Microeconomía Avanzada. Depto. Economía, Universidad Autónoma de Barcelona. Publicación electrónica con licencia GNU.
- Mayorga-Castañeda, F., Corral-Ávila, R., Gutiérrez-Ahumada, H., Arriaga-Haro, V., y Pérez-Hernández, J. A. 2011. Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia (mojarra). México DF.
- McAndrew B.J. 2000. Evolution, phylogenetic relationships and biogeography. *Tilapias: Biology and exploitation* Springer Netherlands;1-32.
- Meade, J.W. 1989. *Aquaculture management*. Van Nostrand Reinhold. New York, USA. 175.
- Merinero, S., Llorens, S. M., Vidal. A. T., y Cerdá, M. J. 2016. Análisis económico de alternativas de producción de Dorada en jaulas marinas en el litoral Mediterráneo español. *Revista AquaTIC*, (23).
- Miles R.D y Chapman F. 2015. The Benefits of Fish Meal in Aquaculture Diets. University of Florida IFAS Extension,1-6.
- Mistiaen JA y Strand I (1999) Optimal feeding and harvest time for fish weight-dependent prices. *Mar Resour Econ* 13, 231-246.
- Mojica, F. J., Vivianco, M., Martínez, F. y Trujillo, R. 2010. Tilapia 2020: prospectivo del sistema producto nacional de Tilapia en México. *Sistema Producto Nacional de Tilapia*, 285.
- Morales, D. 2003. *Biología, cultivo y comercialización de la tilapia*. 1ª. ed. Edit.AGT Editor, S. A. México D.F.
- Moreira, R. L., Pinheiro-Silveira, L., Gomes-Teixeira, E., Moreira, A. G., Soares de Moura, P. y Lobo-Farias, W. R. 2012. Growth and gastrointestinal indices in Nile tilapia fed with different diets. *Acta Sci.*, 34,3, 223-229.
- Muñoz, M., Avilés, E. y Miranda, E. 2016. La Lógica Difusa para la evaluación económica y financiera de opciones cambiarias: El caso de la producción acuícola. *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies (IJISEBC)*, 3,1, 54-73.

- Needham, D. (1978). Economics of industrial structure: conduct and performance. United States: St. Martin's Press, Inc., New York.
- Ng, W.-K. y Romano, N. 2013. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Aquaculture*, 5, 220-254. doi:10.1111/raq.12014
- Noakes, D. L. y Balon, E. K. 1982. Life histories of tilapias: an evolutionary perspective. In International Conference on the Biology and Culture of Tilapias, Bellagio (Italy), 2-5 Sep 1980.
- Olvera-Novoa, M.A., Carmona, C. Gasca-Leyva, E., Trava, E., Rivas, R. y Rodríguez, M. 2005. Programa maestro del Sistema Producto Tilapia - Yucatán. CONAPESCA/CINVESTAV.
- Ortegón, E. 2005. Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas, 42. United Nations Publications.
- Palacio, J.I. 2002. Política industrial activa para microempresas en el funcionamiento de los mercados: Una perspectiva española, en A. Mungaray, J. I. Palacio y C. Ruiz Durán (coords.), Potencial de la Vinculación Universitaria para una Política Microempresarial: Una Perspectiva Española. México, M.A.Porrúa-UABC-UCLM.
- Panzar, J. C., y Willig, R. D. 1981. Economies of scope. *The American Economic Review*, 71,2, 268-272.
- Paredes-Trujillo, A., Velázquez-Abunader, I., Torres-Irineo, E., Romero, D., y Vidal-Martínez, V. M. 2016. Geographical distribution of protozoan and metazoan parasites of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in Yucatán, México. *Parasites and Vectors*, 9,1, 66.
- Perry, G. E., W.F. Maloney, O.S. Arias, P. Fajnzylber, A.D. Mason y J. Saavedra-Chanduvi. 2007. Informalidad: escape y exclusión, Washington, Banco Mundial.
- Pillay, T.V.R. 1990. *Aquaculture: Principles and Practices*. Fishing News Books, Oxford, UK. 575 pp.
- Pineda, H.F., Zuluaga, C.A. y Vertel, V.A. 2012. Evaluación de la morfometría y del hábito alimenticio de tilapia roja *Oreochromis sp.* y tilapia nilotica *Oreochromis niloticus* var. Chitralada bajo diferentes condiciones de manejo en dos granjas piscícolas del occidente antioqueño. *Rev. Politécnica.*, 8,14, 97-104.
- Polanco, E., Ruesga, S. y Polanco, J. (Varios autores). 2000. La acuicultura: biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial. Tomo II. Fundación Alfonso Martín Escudero. Ed. Mundi Prensa, Madrid.
- Ponzoni, R.W., Nguyen, N.H. y Khaw, H.L. 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 269, 187-199.
- Poot-López, G.R. 2010. Análisis bioeconómico y social del cultivo de tilapia en el estado de Yucatán. Tesis doctoral. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida, Yucatán, México

- Poot-López, G.R., Hernandez, J.M. y Gasca-Leyva, E., 2010. Input management in integrated agriculture–aquaculture systems in Yucatan: tree spinach leaves as a dietary supplement in tilapia culture. *Agric. Syst.* 103, 98–104.
- Poot-López, G. R., Hernández, J. M. y Gasca-Leyva, E. 2014. Analysis of ration size in Nile tilapia production: economics and environmental implications. *Aquaculture*, 420, 198-205.
- Prabu, E., Rajagopalsamy, C. B. T., Ahilan, B., Jeevagan, I. J. M. A. y Renuhadevi, M. 2019. Tilapia–An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology*, 1-14.
- Rahman, M. T., Nielsen, R., y Khan, M. A. 2019. Agglomeration externalities and technical efficiency: An empirical application to the pond aquaculture of Pangas, 187.
- Rebollar, R. S. y M. Jaramillo. 2012. Formulación y evaluación de proyectos de inversión, Aspectos básicos. Primera Edición. Editorial Académica Española. Madrid, España. 317.
- Reyes, R. G. A. 2012. Plan de negocios para la producción y comercialización de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus sp*) en Managua, Nicaragua. Tesis profesional de licenciatura en Agronegocios. 120.
- Rosales, R., Apaza, E. y Londoño, J. 2004. Economía de la producción de bienes agrícolas (No. 002390). Universidad de los Andes-CEDE.
- Saavedra Martínez, M.A. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Managua, Nicaragua. 19pp.
- Salvanes, K.G. 1989. The structure of the Norwegian fish farming industry: an empirical analysis of economies of scale and substitution possibilities. *Marine Resource Economics*, 6,4, 349-373.
- Salvanes, K. G. 1993. Public Regulation and Production Factor Misallocation. A Restricted Cost Function for the Norwegian Aquaculture Industry. *Marine Resource Economics* 8,50–64.
- Sanchez P. I., Ovalles T. L. V., y Perez O. G. 2019. Tilapia de cultivo; análisis de competitividad para la toma de decisiones de comercialización. *Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*. RILCO, 1.
- Shang, Y.C. 1981. *Aquaculture Economics: Basics Concepts and Methods of Analysis*. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Springborn, R.S., Chang, W.Y. y 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 Management* 23, 639-647.
- Suárez, A. 1977. “La rentabilidad y el tamaño de las empresas españolas”. *Económicas y Empresariales*, 5, 56-63.
- Tacon, A.G.J. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación. Documento de Campo No 4. FAO-ITALIA. Brasil.

- Tian, X., Leung, P. y Hochman, E. 1993. Shrimp growth functions and their economic implications. *Aquacultural Engineering*, 12,2, 81-96.
- Tian, X., Leung, P.S. y Lee, D.J., 2000. Size economies and optimal scheduling in shrimp production: results from a computer simulation model. *Aquacultural engineering*, 22,4, 289-307.
- Tribe, M. A., y Alpine, R. L. 1986. Scale economies and the 0.6 rule. *Engineering Costs and Production Economics*, 10,4, 271-278.
- Tveteràs R., y Bjerndal T. 2001. Production, Competition and Markets: The Evolution of the Salmon Aquaculture. *Modern Aquaculture in the Coastal Zone: Lessons and Opportunities*. NATO Science Series, Amsterdam, Netherlands 314, 32-52.
- Tveteràs, R. 2002. Industrial Agglomeration and Production Cost in Norwegian Salmon Aquaculture. *Marine Resource Economics* 17,1, 1–22.
- Valderrama, D. y Engle, C.R., 2002. Economic optimization of shrimp farming in Honduras. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33,4, 398-409.
- Verhulst, P.F., 1838. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Corresp. Math. Phys.*, 10, 113-126.
- Villasante, F., Lara, M., Medina, L. 2004. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala: alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México. *REDVET*. 11,3, 2010. Servicio de Publicaciones, Universidad Complutense de Madrid.
- Wang M., Lu M., 2006. Tilapia polyculture: A global review. *Aquaculture Research*, 47,8, 2363-2374.
- Watanabe, W., Losordo, M., Fitzsimmons, K. y Handley, F. 2002. Tilapia 92 production system in the Americas. Technological advances, trends, and challenges. *Fisheries Science*. 10, 465-498.
- Yu R, Leung P. 2005. Optimal harvesting strategies for a multi-cycle and multi-pond shrimp operation: A practical network model. *Math Comput Simul* 68, 339–354.
- Yuan, Y., Yuan, Y., Dai, Y., y Gong, Y. 2017. Economic profitability of tilapia farming in China. *Aquaculture international*, 25,3, 1253-1264.
- Yuan, Y., Yuan, Y., Dai, Y., Zhang, Z., Gong, Y. y Yuan, Y. 2020. Technical efficiency of different farm sizes for tilapia farming in China. *Aquaculture Research*, 51,1, 307-315.
- Zongli, Z., Yanan, Z., Feifan, L., Hui, Y., Yongming, Y. y Xinhua, Y. 2017. Economic efficiency of small-scale tilapia farms in Guangxi, China. *Aquaculture Economics and Management*, 21,2, 283-294.