

**Tiempo óptimo de cosecha de la tilapia gris
(*Oreochromis niloticus*) en Zamorano,
Honduras**

Valeria Margarita Criollo Vinueza

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2015

ZAMORANO
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

**Tiempo óptimo de cosecha de la tilapia gris
(*Oreochromis niloticus*) en Zamorano,
Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Administración de Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Valeria Margarita Criollo Vinueza

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2015

Tiempo óptimo de cosecha de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano, Honduras

Presentado por:

Valeria Margarita Criollo Vinueza

Aprobado:

Wolfgang Pejuán, Ph.D.
Asesor principal

Rommel Reconco, M.A.E., M.F.
Director
Departamento de Administración de
Agronegocios

Patricio Paz, Ph.D.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Tiempo óptimo de cosecha de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano, Honduras.

Valeria Margarita Criollo Vinueza

Resumen. La Estación de Acuicultura de Zamorano desconoce su función de utilidad, operacionalizada como margen bruto, para la producción de tilapia, por lo que se desarrolló un modelo para esta función. El modelo consta de una función de ingresos y una de costos variables, con el objetivo de determinar el tiempo óptimo de cosecha. La función de ingresos incluye el precio ajustado de \$2.42/kg de la tilapia a peso vivo en el lugar de procesamiento, la función de crecimiento de Von Bertalanffy y el modelo de sobrevivencia. La función de margen bruto contiene parámetros obtenidos mediante regresiones, utilizando datos recolectados en campo (i.e., longitud y peso del pez, número de días a la medición de variables, número de peces, costos) de un estanque con una superficie de 120 m² de espejo de agua. El exponente de relación de peso y longitud estimado para la función de crecimiento, “b”, es 2.92037. La constante estimada de crecimiento por día, “k”, es 0.008137. La constante estimada de mortalidad por día, “z”, es 0.00086. Con los parámetros incluidos en la función del margen bruto, el tiempo óptimo de cosecha estimado es de 197 días. El margen bruto es altamente sensible al cambio de la constante “k”, precio de la tilapia y costos variables totales, sin embargo, el tiempo óptimo no es sensible a cambios en los parámetros. Desviaciones con respecto al tiempo óptimo de cosecha generan pérdidas promedio de \$72/día, sin embargo, el rango de variación es de \$42 a \$99 por día.

Palabras clave: Acuicultura, constante de crecimiento, constante de mortalidad, margen bruto.

Abstract. Zamorano’s Aquaculture Station lacks a profit function, operationalized as gross margin, for the tilapia production; thus a model was developed. The model for this function consists of an income function and a cost function, with the objective of determining the optimum harvest time. The income function includes the adjusted selling price of fish at \$2.42/kg of live fish at the processing facility, the Von Bertalanffy growth function and the survival function. The gross function model contains parameters obtained by regression using data collected in the field (i.e., fish length and weight, days at time of measurement of variables, number of fish, costs) from a pond with tilapia with a water surface area of 120 m². The weight-length exponent used in the growth function, "b," is 2.92037. The growth parameter per day, "k," is 0.008137. The mortality parameter per day, "z," is 0.00086. The optimum harvest time estimated with the previous parameters is 197 days. The gross margin is highly sensitive to changes in the “k” parameter, price of tilapia and total variable costs, however, optimal harvest time is not sensitive to changes in the parameters. Deviations from the optimal harvest time causes the Aquaculture Unit at Zamorano to incur in average losses of \$72/day, however, the range varies between \$42 and \$99/day.

Keywords: Aquaculture, gross margin, growth parameter, mortality parameter.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4. CONCLUSIONES	26
5. RECOMENDACIONES	28
6. LITERATURA CITADA.....	29
7. ANEXOS	32

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Valores estimados de las constantes “b” (exponente relación peso-longitud), “q” (constante relación peso-longitud), “k” (constante de crecimiento por día) y “z” (constante de mortalidad por día) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	14
2. Costos en dólares americanos (\$) de procesamiento y traslado al Puesto de Ventas de Zamorano por pez y por kilogramo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, julio del 2015.	15
3. Costos variables iniciales de producción de tilapia por hectárea de producción, en dólares americanos (\$) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, agosto del 2015.	17
4. Costos variables de producción de tilapia por hectárea de producción por período de 30 días, expresado en dólares americanos (\$) en periodo m (30 días) el tiempo de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, agosto del 2015.	18
5. Costos de cosecha de la tilapia y traslado al área de procesamiento, en dólares americanos (\$) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, agosto del 2015.	18
6. Resumen del costo variable acumulado al tiempo óptimo de cada insumo en valor dólares americanos (\$) y porcentaje (%) en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, agosto del 2015.	20
7. Matriz de sensibilidad del tiempo a cosecha (días) y del margen bruto en dólares americanos (\$) a cambios porcentuales en el precio y las constantes “b” (exponente relación peso y longitud), “q” (constante de relación peso-longitud), “k” (constante de crecimiento) y “z” (constante de mortalidad) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	21
8. Sensibilidad del tiempo a cosecha (días) y del margen bruto en dólares americanos (\$) a cambios porcentuales en los precios de los insumos: alimento de 38% de proteína cruda (g) y alimento de 28% de proteína cruda (g), mano de obra (\$/h), alevines (unidades), energía (kW/h) y costo de oportunidad en interés (i), de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	23
9. Sensibilidad del margen bruto (\$) y pérdidas (\$) (margen dejado de ganar) debido a variaciones al tiempo óptimo de cosecha (en días) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	24

Figuras	Página
1. Función de crecimiento en peso de una tilapia promedio en función del tiempo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015.	16
2. Función de producción en peso en función del tiempo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015.	17
3. A) Función de ingresos y costos expresados en dólares de la producción de tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015. B) Función de margen bruto expresado en dólares de la producción de tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015.	19
4. Distribución normal de la longitud de una población de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano cuya probabilidad de obtener una longitud total mínima de 22 cm, sea del 95%, septiembre del 2015.	25

Anexos	Página
1. Resultados de la regresión $\ln W_t = \ln(q) + b \ln(L_t)$, para obtener el exponente de relación peso-longitud de la función de crecimiento de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	32
2. Resultados de la regresión $-\ln \left[1 - \frac{b\sqrt{W_t}}{b\sqrt{W_\infty}} \right] = -kt_0 + kt$, para obtener el parámetro “k” (constante de crecimiento) de la función de crecimiento de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	32
3. Resultados de la regresión, $\ln N_t = \ln N_0 - zt$, para obtener el parámetro “z” de la función de crecimiento de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	33
4. Costos iniciales del estudio que constan de la compra de alevines, llenado de estanque y mano de obra en siembra, de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	33
5. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	33
6. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	34
7. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	34
8. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	34
9. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	35

10. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	35
11. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	35
12. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	36
13. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	36
14. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.	36
15. Estadísticos Chi^2 y Breuch-Pagan de las pruebas de heterocedasticidad de los parámetros “k”, “b” y “z” en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.....	37
16. Familia de curvas de crecimiento con un diferente valor del parámetro “b”.	37
17. Familia de curvas de crecimiento con un diferente valor del parámetro “k”.	38
18. Familia de curvas de producción con un diferente valor del parámetro “z”.	38

1. INTRODUCCIÓN

La piscicultura en Honduras ha tenido un auge significativo en los últimos años, al grado de ubicarse en el tercer lugar de los países latinoamericanos de mayor nivel de exportación de filete de tilapia. El área cultivada de tilapia en Honduras es de 557 ha de espejo de agua. En esta superficie se producen aproximadamente 14,944 t métricas de tilapia fresca (INE 2008).

El cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) data desde los antiguos tiempos egipcios (4000 años A. C.) (FAO 2005). Al ser originario de las áreas tropicales de África y Medio Oriente, su desarrollo es eficiente a temperaturas entre los 23 y 28°C, a una densidad de 4 a 10 peces/m² (Meyer 2007).

Este estudio se enfoca en obtener el tiempo óptimo de cosecha de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, mediante la estimación de una función de utilidad. La función de utilidad consta de una función de ingresos y otra de costos, de las cuales la unidad carece. La ausencia de la función de utilidad puede generar pérdidas en la Unidad de Acuicultura.

En estudios previos, el tiempo óptimo de cosecha de la tilapia en zonas tropicales, se encuentra en un rango de 180 a 210 días (García *et al.* 2012, Gómez *et al.* 1998). El tiempo óptimo depende, entre otros, del crecimiento de la tilapia, el cual está determinado por la constante de crecimiento, “k,” y el exponente de relación peso y longitud, “b”. La constante “k” por año en la zona tropical americana se encuentra en un rango de 0.33 (0.000912 por día) y 1.57 (0.0043 por día) (García *et al.* 2012, Gómez *et al.* 1998). En estudios anteriores, el exponente “b” a nivel tropical, se encuentra en un rango de 2.46 a 3.5 (Springborn *et al.* 1992, Moreau y Prein, 1988, Beltrán *et al.* 2014).

La importancia de este estudio consistió en evitar pérdidas económicas optimizando los recursos, al cosechar la producción de tilapia en un tiempo óptimo. El tiempo óptimo se obtiene mediante una función de utilidad, cuyos componentes son precio del producto, la función de crecimiento de Von Bertalanffy (Rumi, *et al.* 2007), la función de sobrevivencia y la función de costos (Springborn *et al.* 1992, Graal y Prein 2005, King y Etim 2004). Fiallos (2014)¹ indicó que en la Unidad de Acuicultura se cosecha a un tiempo mayor a seis meses, donde el peso por pez es inferido por la observación del productor de modo a que el peso oscile entre los 190 g y 300 g. Gonzales (2015)² indicó que el Puesto de Venta

¹ Fiallos, J. 2014. Producción de tilapia. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Charla y comunicación personal.

² Gonzáles, E. 2015. Estándares de compra de tilapia. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Comunicación personal.

de Zamorano requiere como mínimo, un peso por pez de 146 gramos o una longitud mínima de 20 cm para todo el año. Se exceptúa la temporada de semana santa donde se vende hasta un mínimo de 106 g.

Este estudio infiere sus resultados a proyectos que inicien en junio y se desarrollen aproximadamente a 900 msnm, temperatura promedio de 24°C y población monosexada con tendencia de macho. Fiallos (2014) indicó que en los meses de noviembre, diciembre y enero, debido a sus temperaturas bajas, se reduce el estímulo en los peces para capturar el alimento en píldora que flota en la superficie, generando una pérdida de peso del cultivo de la tilapia. Los sistemas de siembra de tilapia con tendencia a macho presentan una mayor productividad que los sistemas en los cuales se producen tilapias de ambos sexos. Los sistemas de ambos sexos obtienen un menor índice de crecimiento por hembra, mayor gasto de energía en reproducción y heterogeneidad en la población (Gómez *et al.* 2008).

Este estudio tiene como objetivo general maximizar la utilidad en la cría de la tilapia gris en la Unidad de Acuicultura de Zamorano. Los objetivos específicos a desarrollar son:

- Evaluar el crecimiento de la tilapia en los estanques de la Unidad de Acuicultura de Zamorano.
- Evaluar la mortalidad a través del tiempo en los estanques de la Unidad de Acuicultura de Zamorano.
- Determinar la función de producción de la tilapia en función del tiempo.
- Evaluar la función de costos de producción de tilapia en función del tiempo.
- Encontrar el tiempo óptimo de cosecha de la tilapia.
- Evaluar la sensibilidad del tiempo óptimo de cosecha y el margen bruto a cambios en los parámetros de la función de producción, el precio del producto, costos de insumos y costo de oportunidad.
- Determinar las pérdidas asociadas a desviaciones al tiempo óptimo.

2. METODOLOGÍA

Para optimizar el tiempo de cosecha de la tilapia de la Unidad de Acuicultura se desarrolló un modelo de utilidad, empleando la utilidad como margen bruto (ingresos menos costos variables). La obtención del margen bruto incluyó estimar las funciones de producción y costos variables. La función de producción se constituye de una ecuación de crecimiento en peso y una ecuación de sobrevivencia de la tilapia. Las funciones de crecimiento, sobrevivencia y costos variables se obtuvieron por la inclusión de los parámetros de cada función estimadas con variables medidas en campo.

La sensibilidad del tiempo óptimo y margen bruto se analizó mediante el cambio porcentual en precio de la tilapia, en los parámetros de la función de producción, los costos de insumos y el costo de oportunidad o interés “i”. Se determinó la pérdida al cosechar en un tiempo diferente al tiempo óptimo, mediante la función del margen bruto. La toma de variables y prácticas de campo realizadas se explican al final de la sección de metodología.

Desarrollo del modelo.

Para evitar pérdidas en la producción de tilapia gris en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, se puede maximizar la función de utilidad, operacionalizada en este estudio como margen bruto. Se utilizó el modelo de margen bruto porque el costo fijo no tiene relevancia en la decisión en el corto plazo y el activo fijo de la Unidad de Acuicultura se ha depreciado. Para esto, se debe obtener la expresión del margen bruto de la tilapia en función del tiempo (Gaal y Prein 2005) y luego se maximiza a través de la herramienta “Solver” de Excel para encontrar ese tiempo óptimo.

Función del margen bruto. El margen bruto es la diferencia entre los ingresos totales de producción y los costos variables. La expresión del margen bruto (Ecuación 1) se presenta a continuación:

$$MB_t = PY_t - CV_t \quad [1]$$

Donde:

MBt: margen bruto por la producción de tilapia en función del tiempo.

P: precio constante de la tilapia entera a nivel de lugar de procesamiento.

Yt: función de producción en función del tiempo.

CVt: costo variable total en tiempo “t”.

Precio. El precio en canal en el Puesto de Ventas debe ser transformado a precio del pez a peso vivo en el lugar de procesamiento de la Unidad de Acuicultura de Zamorano (costos de sacrificio, limpieza y transporte (de puesto de Ventas a lugar de procesamiento en la

Unidad de Acuicultura) sustraídos del precio en canal en el Puesto de Ventas de Zamorano). En varios estudios, el precio es variable en función del tiempo debido a los diferentes tamaños que demanda el mercado (Mistiaen y Strand 1998). Para saber la forma, constante o variable, del precio a ingresar este estudio, se entrevistó a la persona encargada del Puesto de Ventas de Zamorano para obtener el precio por kilogramo de tilapia en canal (presentación del puesto de ventas) y la disponibilidad de compra en cuanto al tamaño en peso y longitud de la tilapia.

Función de producción. La función de producción Y_t indicada en la Ecuación 1, se compone de la función de crecimiento en peso y la función de sobrevivencia. La función de crecimiento, " W_t " representa el peso en gramos de la tilapia en tiempo " t " y la función de sobrevivencia, " N_t ," representa la población de tilapia en tiempo " t ". En algunos estudios previos, la forma de estimación del modelo de crecimiento es similar al de este estudio (i.e., lineal y basado en la ecuación de Bertalanffy y sobrevivencia) (FAO 1998) y en otros es diferente a la forma de estimación (i.e., no lineal, y basado o no en la ecuación de Bertalanffy y sobrevivencia). (Burgos, *et al.* 2010, Agudelo 2004).

El modelo de la función de producción (Ecuación 2) se presenta a continuación:

$$Y_t = W_t \times N_t \quad [2]$$

Donde:

Y_t : función de producción indicando peso total en tiempo " t ".

W_t : función de crecimiento en peso indicando el peso de un pez en tiempo " t ".

N_t : función de sobrevivencia indicando número de peces en tiempo " t ".

Función de crecimiento en peso. La función de crecimiento en peso en tiempo " t " se obtiene al fusionar la función de longitud de Von Bertalanffy y la ecuación de relación peso-longitud (FAO 1998). Esta función de Von Bertalanffy se emplea también para otras especies (i.e. caracoles, cuyes, novillos) (Rumi 2007, Agudelo 2004, Burgos 2010). A continuación se presenta la obtención de esta función.

La función de crecimiento en longitud en tiempo " t " de Von Bertalanffy (Ecuación 3) se presenta a continuación:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{(-k(t-t_0))}] \quad [3]$$

Donde:

L_t : Longitud del pez

L_∞ o L_{max} : longitud del pez más largo en el experimento.

k : constante de crecimiento de longitud (curvatura).

t : tiempo después de siembra.

t_0 : tiempo al inicio de crecimiento.

La ecuación de relación entre peso y longitud a tiempo " t ", se define mediante un exponente " b " y una constante " q ". A continuación se encuentra la Ecuación 4, la cual representa la relación entre ambas variables:

$$W_t = q (L_t)^b \quad [4]$$

Donde:

W_t : peso del pez

q : constante de relación peso-longitud.

L_t : longitud del pez.

b : exponente de relación peso-longitud.

La fusión de las Ecuaciones 3 y 4 (indicadas anteriormente) da como resultado la función de crecimiento en peso en tiempo “ t ” (Ecuación 5) y se presenta a continuación:

$$W_t = W_\infty [1 - e^{(-k(t-t_0))}]^b \quad [5]$$

Donde:

W_∞ , W_{max} o peso asintótico: El peso del pez más pesado en el experimento.

k : constante de crecimiento de peso (curvatura).

Función de sobrevivencia El número de peces en un tiempo determinado se obtiene de la fórmula de sobrevivencia (Ecuación 6) presentada a continuación:

$$N_t = N_0 (e^{-zt}) \quad [6]$$

Donde:

N_0 : número inicial de tilapias introducidas al estanque (siembra) en tiempo cero, “ t_0 ”.

e : número de Euler o constante de Napier.

z : constante de mortalidad.

t : tiempo después de siembra

La función de costos variables. La función de costos variables se obtuvo mediante tres componentes importantes que son los costos iniciales, costos diarios (en tiempo “ t ”) y costos de cosecha. El primer componente de la ecuación, el costo inicial, consta de la compra de alevines y llenado de estanque con el agua de la laguna de la Unidad de Acuicultura de Zamorano. El segundo componente, el costo diario que varía en el tiempo, engloba los insumos y mano de obra de las actividades diarias de alimentación, recambio de agua, mantenimiento de alrededores y control de temperatura y oxígeno en el estanque. El tercer componente es el costo de cosecha por pez.

Los costos de mano de obra por alimentación, mantenimiento, control de temperatura y oxígeno, sacrificio, cosecha y transporte fueron estimados mediante el promedio 3 repeticiones de la toma de tiempo con cronómetro de cada actividad. Estos promedios se multiplican por el costo de mano de obra en un tiempo determinado. A continuación se indica la función de costos variables acumulados de producción en tiempo “ t ” o (Ecuación 7):

$$CV_t = C_i (1 + i)^t + \sum_{m=1}^{M-1} \left[C_m \left(\frac{(1 + i)^{30}}{i} - \frac{1}{i} \right) (1 + i)^{(t - (30(M-1)))} \right] + C_M \left[\frac{(1 + i)^t}{i} - \frac{1}{i} \right] + C_f \quad [7]$$

Donde:

CV_t : Costos variables acumulados en tiempo “t”.

C_i : Costos iniciales.

M : Número de último periodo “m” de 30 días de producción a cosecha.

m : Número de periodos de 30 días de producción.

C_f : Costos de cosecha.

i : interés o costo de oportunidad diario.

El dinero tiene un costo a través del tiempo, por lo que es necesario tomar en cuenta el interés o costo de oportunidad del proyecto de piscicultura. Para comparar estos valores es necesario llevarlos al mismo tiempo, al tiempo de cosecha, mediante el cálculo del valor futuro de los costos.

La diferencia entre ingresos y costos variables es el retorno a los gastos administrativos y a la infraestructura (incluye la depreciación). Los costos totales presentan un comportamiento similar al de los costos variables. La pendiente de los costos totales y costos variables son iguales a cada nivel de producción, mientras que los costos fijos se mantienen constantes a través de cualquier nivel de producción y se representan con una línea horizontal (pendiente de cero) (Rossi 2013). Por esta razón, al variar el costo fijo, el tiempo óptimo de cosecha de la tilapia no va a cambiar.

Obtención de los parámetros

Los parámetros de relación peso-longitud (“q” y “b”), de crecimiento (“b” y “k”) y de mortalidad “z”, se obtuvieron mediante regresiones con variables tomadas en campo, a través de muestreos y censos en la Unidad de Acuicultura de Zamorano. Los muestreos se realizaron para obtener la longitud (cm) y peso (g) de las tilapias utilizando una regla y una balanza. La constante de mortalidad “z”, se obtuvo mediante una regresión utilizando datos de censos (conteos de población).

Obtención de los parámetros “q” y “b”. Para la obtención de la constante “q” y exponente “b” se corrió la regresión de la Ecuación 8, que es indicada a continuación:

$$\ln W_t = \ln (q) + b \ln(L_t) \quad [8]$$

La Ecuación 8, se deriva de la aplicación del logaritmo natural a ambos lados de la Ecuación 4, despejando el exponente “b”. La variable dependiente de la Ecuación 8 es el logaritmo natural del peso en gramos en tiempo “t”. La variable independiente es el logaritmo natural de la longitud en centímetros en tiempo “t”. Para comprobar que no hubiera heteroscedasticidad se realizó la prueba de White.

No se desarrolló una prueba de autocorrelación, debido a que el tipo de muestreo es aleatorio y la movilidad del pez hace que no sea el mismo pez muestreado y no haya correlación a través del tiempo y espacio.

Obtención del parámetro “Wmax”. El Wmax utilizado fue el peso del pez más grande de la población estudiada. El valor del peso se expresó en gramos (g) y se obtuvo con una balanza electrónica. Se utilizó este valor debido a que este representa el valor más alto de la población de peces específica a las condiciones de Zamorano y los resultados obtenidos en las regresiones se acercarán a la realidad. Si se toma el “Wmax” mediante el pez más grande registrado históricamente, habría poca relación entre ese peso y el que podría llegar a alcanzar la población en general en un tiempo de crecimiento comercial, debido a que ese es un pez atípico.

Por otro lado, “Wmax” también se puede obtener mediante una regresión. La variable dependiente es la razón del cambio promedio en peso y el cambio en tiempo entre dos mediciones consecutivas. La variable independiente es el promedio del peso de dos tiempos de medición consecutivos. La desventaja de este método, observado en otros estudios, es que el “Wmax” obtenido fue menor que varios datos muestreados y eso genera problemas para correr la regresión de crecimiento (FAO 1998).

Obtención del parámetro “k” o constante de crecimiento. Una parte fundamental de la ecuación de Von Bertalanffy y el modelo de crecimiento en peso de la tilapia, es la constante de crecimiento, la cual se obtiene de la regresión indicada en la Ecuación 9:

$$-\text{Ln} \left[1 - \frac{b\sqrt{W_t}}{b\sqrt{W_\infty}} \right] = -kt_0 + kt \quad [9]$$

La Ecuación 9 se deriva de la aplicación de logaritmo natural a la Ecuación 5. La variable independiente es el tiempo (en días) después de la siembra de los peces en el estanque uno de la Unidad de Acuicultura de Zamorano y el crecimiento partirá desde un peso (g) de siembra. El “t₀” representa los días de vida del pez previos a su siembra, ya sea en estadio de huevo o alevín. El parámetro β₁ calculado será el parámetro “k” y el “t₀” se puede estimar del β₀ con la “k” estimada. Para probar si la regresión presenta o no heteroscedasticidad se realizó la prueba de White. No se desarrolló una prueba de autocorrelación, debido a que el tipo de muestreo aleatorio no permitiría evaluar y comparar la misma base de datos.

Obtención del parámetro “z”. Para la obtención de la constante “z” o índice de mortalidad se aplicó logaritmos a ambos lados de la Ecuación 6, obteniendo la Ecuación 10 que es presentada a continuación:

$$\text{Ln } N_t = \text{Ln } N_0 - zt \quad [10]$$

La variable dependiente es el logaritmo natural de la población en tiempo “t” y la variable independiente es el tiempo, en días, después de la siembra de los peces en el estanque. El parámetro β₁ obtenido representa el valor negativo de “z”. Para probar si la regresión presenta o no heteroscedasticidad se realizó una prueba de Breuch-Pagan debido a los pocos

grados de libertad, producto de los pocos censos de población realizados. El reducido número de censos, fue debido al estrés de la tilapia causado por la manipulación. La consecuencia de este problema, es la saprolegniasis (hongo), debido a la pérdida de mucosa de la dermis de la tilapia.

Obtención del precio. Se dispone del precio en canal de pescado en el Puesto de Ventas de Zamorano, para la obtención del precio ajustado de la tilapia a peso vivo en el área de procesamiento de la Unidad de Acuicultura, se tomaron en consideración el porcentaje de canal (85% canal, 0.15% vísceras) y las actividades del procesamiento (\$0.00056 por gramo o \$0.11 por pescado). A continuación se presenta la Ecuación 11 o Ecuación del precio ajustado por gramo de tilapia a peso vivo:

$$P_{pva} = (0.85 \times P_{cpv}) - C_{pyt} \quad [11]$$

Donde:

P_{pva} : Precio por gramo de la tilapia a peso vivo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano.

P_{cpv} : Precio por gramo en canal en el Puesto de Ventas de Zamorano.

C_{pyt} : Costos por gramo de tilapia por procesamiento y transporte al Puesto de Ventas de Zamorano.

Obtención del tiempo óptimo y margen bruto.

El margen bruto y la optimización del tiempo óptimo, se obtuvieron mediante la herramienta Solver de Excel, maximizando la Ecuación 12, la cual es indicada a continuación:

$$MB_t = P \times W_\infty [1 - e(-kt + kt_o)]^b \times [N_o \times e^{-zt}] - CV_t \quad [12]$$

Al obtener todos los parámetros de las Ecuaciones 8, 9 y 10 y sustituyendo estas en cada uno de sus componentes en la Ecuación 1, se obtuvo la expresión del margen bruto. Mediante la función del margen bruto se puede estimar el día óptimo de cosecha utilizando Solver, donde se coloca la expresión de la derecha de la Ecuación 12, con los parámetros estimados en la celda a maximizar o celda objetivo, y se utiliza “t” como el parámetro a variar en la celda cambiante.

Análisis de sensibilidad de parámetros, precio de tilapia y costos de insumos.

Mediante la herramienta Solver, se determinó el cambio en tiempo óptimo y margen bruto debido al cambio en el precio del producto, los parámetros de la función de producción, costos de insumos y costo de oportunidad. La sensibilidad del tiempo óptimo y el margen bruto se evaluó específicamente mediante un cambio decreciente o incremental del 10, 20, 30 y 40% en precio de la tilapia, alguna constante de la función de producción, o uno de los costos, manteniendo los demás valores constantes. El procedimiento para obtener de manera eficiente la sensibilidad por cambio porcentual de cada uno de los precios, constantes o costos se programó mediante Macros en VBA.

Cálculo de pérdidas.

La estimación de pérdidas (margen dejado de ganar) de la Unidad de Acuicultura se realizó mediante la comparación del margen bruto entre el tiempo óptimo de cosecha y un tiempo diferente a este, con variaciones de 20, 40, 60 y 80 días.

Muestreos de población.

Es importante monitorear periódicamente el crecimiento y estado de salud de los 800 peces sembrados en el estanque uno de la Unidad de Acuicultura. Se realizaron muestreos y censos en diferentes momentos, para medir distintas variables. Se realizó un muestreo sistemático de las variables peso (g) y la longitud (cm) para estimar las constantes “q”, “b” y “k”. Los periodos entre muestreos fueron de aproximadamente 40 días, con un número de muestra de 50 peces. El tipo de muestreo utilizado fue el sistemático para evitar el sesgo, debido a que las personas en general tienden a capturar peces extremos (e.g., al pez más gordo o más largo). Mediante tres censos se obtuvo el número de peces o población final, para estimar el índice de mortalidad. El censo se realizó cada 140 días aproximadamente. El último censo se efectuó en la cosecha de peces.

El número de muestra de 50 peces se obtuvo utilizando la fórmula de tamaño de muestra de población finita, utilizando una desviación estándar promedio de datos de peso en distintos estadios de crecimiento. Los tamaños de muestra por edad del pez son diferentes debido a las diferentes desviaciones estándar, porque se presenta una mayor desuniformidad de población a mayor edad del pez.

Muestreo para longitud y peso. Para obtener las variables de peso y longitud se realizaron muestreos en el estanque. El procedimiento del muestreo que se realizó es el siguiente:

- Se añadió agua a cuatro tinas de 1 m² cada una, a una altura de 30 cm en donde se colocaron los peces.
 - En la tina uno se colocaron todos los peces que se atraparon del estanque uno antes de empezar la selección sistemática de los peces.
 - En la tina dos se colocaron los peces seleccionados según el procedimiento de muestreo sistemático (descrito abajo).
 - En la tina tres se colocaron los peces que no formaron parte de la muestra.
 - En la tina cuatro se añadió permanganato de potasio disuelto a 20 ppm para recuperar la mucosa de los peces manipulados.
- Aproximadamente cinco personas se sumergieron con el chinchorro (red de cabuya de 1 × 1 × 1m) al estanque de 120 m², para acorralar peces en un área delimitada de 1.5 m de ancho y 10 m de largo. Las dimensiones del estanque son de 10 m de ancho y 12 m de largo.
- Se capturaron los peces con un hapa al ras de la pared del estanque. No se atrapó el 100% de los peces en el chinchorro debido al error humano y la habilidad de escape de las tilapias.
- Se extrajeron a los peces de forma cuidadosa del estanque a la tina uno.

- De forma ordenada se procedió a zonificar la tina uno en 9 partes iguales a percepción del ojo humano obteniendo una matriz de 3×3 . Se enumeró la matriz desde la parte superior izquierda hasta la parte inferior derecha, como una “S” invertida.
- Se pasaron las redes de mano de 0.9 m^2 de área y a 0.2 m de profundidad capturando los peces que se encuentren desde la sección 1 a la sección 9.
- Se dividió el número de peces atrapados, los cuales fueron contados a medida que fueron atrapados. El número obtenido se dividió entre el tamaño de muestra (50 peces) y se obtuvo el valor del intervalo de salto del muestreo sistemático.
- Los peces no seleccionados para la muestra se devolvieron al estanque sumergiéndoles por 20 segundos en permanganato de potasio, para que recuperen la vigorosidad y la mucosa.
- A los peces que pertenecían a la tina dos, se les midió la longitud en centímetros y su peso en gramos (FAO 2005), como se mencionó en la metodología de toma de variables en campo.
- Para medir la longitud se atrapó el pez y de forma ventral se midió con la regla en centímetros desde la punta de su hocico hasta la punta de su cola (longitud total).
- Para pesarlos, se colocó cada pez en un recipiente con agua. Para esto, se taró la balanza y no se tomó en cuenta el peso del recipiente y el agua.
- Debido al movimiento de los peces, se esperó un tiempo hasta que balanza se estabilizara y no fluctuara el peso en gramos.

Muestreo de índice de mortalidad. A través del tiempo, el número inicial de población de tilapias disminuye. La mortalidad puede ser ocasionada por varios factores como la falta de oxígeno disuelto debido al mal recambio de agua, el estrés y depredadores (Ruiz, *et al.* 2007). Para realizar un conteo de población final se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se drenaron los estanques para tener mejor visibilidad de la población.
- Se atraparon todos los peces con redes de mano y atarrayas.
- Se transportaron los peces de forma cuidadosa hacia cuatro tinas de 1 m^2 con 0.3 m^3 de agua, las cuales han sido mencionadas anteriormente.
- Se procedió a contar la población total.
- Se llenó el estanque, esperando aproximadamente 12 horas y se trasladaron los peces desde la tina en la que haya estado (i.e., dos y tres) a la tina cuatro que contiene permanganato de potasio.
- La tilapia es trasladada de la tina cuatro al estanque 1.
- El último censo (censo tres) difiere del anterior procedimiento porque los peces no son devueltos al estanque 1 y por ende, no se aplicó permanganato de potasio.

Prácticas en campo.

Las prácticas en campo desarrolladas son tomadas de la experiencia de la Unidad de Acuicultura. Las prácticas de campo realizadas desde junio 2014 hasta marzo del 2015 incluyen el sexado, siembra de alevines, control de depredadores, uniformización de población, alimentación y cosecha.

Sexado. El sexado con testosterona brinda una probabilidad de 0.98 de obtener una población solamente de machos. Esto es beneficioso debido a su alto índice de ganancia corporal en peso y se reduce el gasto de energía en reproducción. Para el sexado, se aplicaron 60 mg de la hormona 17 α Metil Testosterona por cada kg de alimento de 45% de proteína cruda que fue suministrada dos veces al día a los alevines hasta sus 6 días después de la eclosión ubicadas en pilas de eclosión. La edad debe ser inferior a 6 días, debido a que su sexo aún no está definido. Erazo (2015)³ indicó que las mujeres no deben realizar estas actividades, debido al alto riesgo de alteraciones hormonales o alergias.

Siembra de alevines. Se compraron 800 alevines con tendencia a macho. Los alevines fueron trasladados del área de compras de la Unidad de Acuicultura hacia el estanque uno, el cual contenía agua de la laguna de la Unidad de Acuicultura, a 1 m de profundidad. En la Unidad de Acuicultura se producen alevines y se venden, por esto se toma en cuenta el precio del alevín como parte del costo inicial. La siembra se efectuó el día 6 de junio del 2014, a los 30 días después de haber eclosionado.

Control de depredadores. Para que no se eleve la mortalidad en el estanque uno de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, se tomaron medidas de control de depredadores aéreos (i.e. garzas, zopilotes). Para controlar la mortalidad por esos depredadores se realizó el siguiente procedimiento:

- Se plantó un poste (2.5 m) en el centro del estanque y otras 22 estacas (1 m) de madera alrededor del estanque, cuya separación sea de 2 m entre estaca y estaca.
- Se colocó una malla de 196 m² (14 m \times 14 m) para proteger el estanque de depredadores sostenida por las estructuras mencionadas anteriormente.

Uniformización de población. Para evitar la reproducción masiva de las tilapias, se tomaron medidas de control con depredadores acuáticos de la tilapia (i.e., guapotes). Para controlar la uniformidad de la población se colocaron guapotes cuando la tilapia alcanzó 100 g de peso corporal, aproximadamente a los tres meses de ser sembrados. La densidad de siembra es de 10 guapotes por las 800 tilapias sembradas en los 120 m². Este pez depreda a las crías de la tilapia en el caso de que alguna hembra se haya reproducido evitando que la población sea heterogénea.

Alimentación. Las dietas para peces deben tener un balance alimenticio para el desarrollo de los peces (Torres *et al.* 2012). Normalmente se alimentan con píldoras flotantes. Las píldoras flotantes eran la referencia para saber si los peces aún tenían hambre o no, y controlar la cantidad de alimento que se les suministró. Los alimentos acuícolas suministrados en el estanque uno de este estudio contenían 38 y 28% de proteína cruda. Para alimentar del mes uno al tres se utilizó el alimento al 38% de proteína cruda, y de tres

³ Erazo, A. 2015. Crecimiento de la tilapia. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Charla y comunicación personal. Correo personal, aerazo@zamorano.edu.

meses en adelante se suministró el alimento de 28% de proteína cruda. Para la alimentación diaria, se siguió el siguiente protocolo:

- Se calculó la cantidad de alimento en relación al peso corporal. A continuación se presenta la Ecuación 13 o de alimentación del pez por biomasa:

$$\text{Ración diaria} = N_t \times W_t \times (\% \text{ peso vivo}) \quad [13]$$

Dónde:

% peso vivo: porcentaje de alimento en relación al peso vivo (aproximadamente 0.3% en los 3 primeros meses y 0.2% en los otros meses) y se ajusta mediante observaciones continuas del consumo de alimento de alimento.

- Al obtener la cantidad de ración diaria, esta cantidad se pesó y se lanzó el alimento al estanque.
- Si se detectaba la ausencia de hambre no se lanzaba más alimento y se pesaban las mermas.
- Se alimentó dos veces al día en un horario de alimentación de las 9:00 am y 2:00 pm.

Cosecha y Transferencia de Peces. Esta práctica indica el fin del trabajo en campo de este estudio, porque se obtuvieron los peces para la venta al Puesto de Ventas de Zamorano. Al cosechar la producción de tilapias, se toman los datos del tercer censo. La cosecha se efectuó el 10 de marzo. El procedimiento de cosecha y transferencia desde los estanques hacia el área de procesamiento de la Unidad de Acuicultura de Zamorano fue el siguiente:

- Se drenó el estanque para tener mejor visibilidad de la población.
- Se atraparon todos los peces con redes de mano (0.3 × 0.3 × 0.2 m) y atarrayas (1 × 1 × 1m).
- Los peces atrapados fueron llevados en baldes de 0.3 m³ de capacidad, hacia el área de procesamiento de la Unidad de Acuicultura de Zamorano.
- Se obtuvo el peso vivo de la tilapia en gramos, mediante una balanza de mano sostenida en un trípode.
- Se evisceró y quitó las escamas con cuchillos al pescado.
- Se lavó y dejó reposar al pescado en agua con cloro a 20 ppm.
- Se almacenó en hielo y se trasladó el producto al Puesto de Ventas de Zamorano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros “q” y “b”⁴.

Estos parámetros determinan la relación entre la longitud y peso de la tilapia. La constante “q” estimada es de 0.02422 y el exponente “b” es de 2.9203. El valor de la constante “q” no fue tomada en cuenta en la función de crecimiento, siguiendo el modelo de Von Bertalanffy. El valor del exponente “b” es similar al de estudios previos que se encuentran en un rango de 2.5 a 3.5. El cambio de valores depende de la zona en donde se produzca y las condiciones meteorológicas (Moreau y Prein 1988). El valor de “b” en México es de 2.649 (Gomez *et al.* 2008). En Tailandia, el exponente “b” es de aproximadamente 3 (Chang *et al.* 1992). El valor del exponente “b” es significativo ($n=400$, $ee^5=0.1956$, $R^2=0.9775$) y no presenta heteroscedasticidad (Anexo 15).

Parámetro “k”.

Este parámetro determina la ganancia en peso por día de la tilapia. La constante “k” del estudio es de 0.008137 por día, aproximadamente 2.96 por año. Este valor es diferente al de estudios previos, debido al cambio de condiciones ambientales por región y temporada de producción. La comparación se desarrolla con unidades similares de tiempo (i.e. días, semanas, meses, años). En Sinaloa la constante “k” es de 0.007 por día (2.55 por año) (Beltrán *et al.* 2014). La constante “k” en Hidalgo, México es de 0.33 por año (0.000912 por día) (García *et al.* 2012), y en Piura, Perú es 1.57 por año (0.0043 por día) (Gómez *et al.* 1998). El valor del parámetro “k” es significativo ($n=399$, $ee=0.389$, $R^2=0.7820$). Este valor es significativo y no presenta heteroscedasticidad (Anexo 15). El tiempo inicial “t₀” calculado es de 38.6 días.

Parámetro “z”.

Este parámetro determina el número poblacional en tiempo “t” de la tilapia. La constante “z” del estudio es de 0.00086. La mala calidad de agua, debido a la falta de recambios periódicos genera una disminución de oxígeno. El tiempo entre recambios de agua no debe exceder las 6 semanas. Este mal manejo en campo tiene como consecuencia provocar estrés en los peces y por consiguiente la muerte. En esas condiciones, las defensas de las tilapias bajan y no tienen la capacidad de producir los linfocitos o células inmunológicas para combatir patógenos. La sobrevivencia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano es de 74%

⁴ Las salidas de las regresiones utilizadas para obtener los valores del exponente “b” (relación peso y longitud), “q” (constante de relación peso y longitud), “k” (constante de crecimiento) y “z” (constante de mortalidad) se muestran en los Anexos 1, 2 y 3.

⁵ ee: Error estándar.

anual. Se observó la concordancia de datos entre estudios en México y Nigeria al presentar valores similares de “z”, donde la sobrevivencia es de 76% por año para ambos estudios realizados previamente (King y Etim 2004, Gómez *et al.* 1998). El valor del parámetro “z” es significativo ($n=3$, $ee= 0.0037$, $R^2=0.9995$) y no presenta heteroscedasticidad (Anexo 15). A continuación se presenta el resumen de los parámetros “q”, “b”, “k” y “z” (Cuadro 1) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano:

Cuadro 1. Valores estimados de las constantes “b” (exponente relación peso-longitud), “q” (constante relación peso-longitud), “k” (constante de crecimiento por día) y “z” (constante de mortalidad por día) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Constante	Valor
Exponente relación peso y longitud	2.920371
Constante de relación peso y longitud	0.024222
Constante de crecimiento	0.008138
Constante de mortalidad	0.000860

Precio.

Gonzales (2015)⁴ indicó que el precio de la tilapia en canal en el Puesto de Ventas de Zamorano es de \$3.50/kg (\$0.0035/g) y no se aceptan peces en canal menores a 20 cm de longitud en épocas diferentes a semana santa. En semana santa el puesto de ventas es más flexible debido a la gran demanda de este producto, sin embargo no se aceptan peces menores a 17 cm. Esto conlleva a que el precio para peces menores a 20 cm en épocas distintas a semana santa sea de cero, y en semana santa cuando los peces sean menores a 17 cm.

Ese precio no varía en Zamorano, pero en otros estudios sí. Un pescado al presentar un mayor peso y longitud que los otros, va a obtener una mayor aceptación por un mercado meta de alto poder adquisitivo (Mistiaen y Strand 1998). Los cambios en la balanza comercial generan un cambio en el precio y la demanda (Krugman y Franco 1988). Este estudio utilizó el precio de la tilapia a peso vivo en el lugar de procesamiento en la Unidad de Acuicultura de \$2.42/kg (\$0.00242/g) en la función de margen bruto. Para obtener este precio, al precio en canal en el Puesto de Ventas de \$3.50/kg se ajustó por el peso en canal (exclusión de vísceras y escamas), los costos de transporte al Puesto de Ventas de Zamorano y el procesamiento. El peso en vísceras abarca aproximadamente un 15% del pez a peso vivo. A continuación se presenta un cuadro resumen de los costos de procesamiento por pez y por kilogramo (Cuadro 2) en la Unidad de Acuicultura de Zamorano:

Cuadro 2. Costos en dólares americanos (\$) de procesamiento y traslado al Puesto de Ventas de Zamorano por pez y por kilogramo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, julio del 2015.

Actividades	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Total
Descamado	h ^º	0.0390	1.09	0.04242
Aturdimiento	h	0.0020	1.09	0.00212
Eviscerado	h	0.0420	1.09	0.04545
Lavado	h	0.0140	1.09	0.01515
Almacenado	h	0.0020	1.09	0.00242
Tiempo de transporte	h	0.0003	1.09	0.00035
Gasolina	L [£]	0.0019	0.95	0.00182
Agua	m ³	0.0040	0.01	0.00003
Cloro ppm	g	0.0024	0.20	0.00048
			Total por pez	0.11025
			Total por kilogramo	0.56700

^º Hora.

[£] Litro.

La actividad de procesamiento engloba actividades de sacrificio, eviscerado, lavado, transporte y otros insumos como cloro y gasolina.

El precio de la tilapia a peso vivo en el Área de Procesamiento de la Unidad de Acuicultura se obtuvo mediante la Ecuación 11, los símbolos han sido reemplazados por valores para obtener la Ecuación 14, presentada a continuación:

$$P_{pva} = (0.85 \times \$3.5\text{kg}) - \$0.567\text{kg} \quad [14]$$

Función de producción.

Se obtuvo la función de crecimiento de la tilapia en función del tiempo para la Unidad de Acuicultura de Zamorano, reemplazando los valores de los parámetros en la Ecuación 5. A continuación se presenta esta función de crecimiento en peso en función del tiempo “t” para la Unidad de Acuicultura de Zamorano (Ecuación 15):

$$W_t = 343 \left[1 - e^{(-0.00814(t - (-38.6)))} \right]^{2.92} \quad [15]$$

El modelo de crecimiento en peso “Wt” es expresado en g/pez. El máximo peso o “W_∞”, fue de 343 g y este peso pertenece al pez más grande del estanque. Fiallos indicó que el crecimiento en una temporada cálida estimula el rápido crecimiento de la tilapia (2014) y esto sucede en varias especies de peces, no solo en tilapia (Pérez 2010 y dos Santos *et al.* 2013). El crecimiento en gramos obtenidos en este estudio, indica que a 180 días después de siembra de la tilapia obtendrá un peso de 198 g. Un estudio previo en una temporada diferente de producción que abarca los meses de marzo a agosto, indica que en Zamorano, la tilapia alcanza 300 g por 180 días de producción (Meyer 2007).

A continuación se presenta el crecimiento de la tilapia en función del tiempo (Figura 1) en la Unidad de Acuicultura de Zamorano:

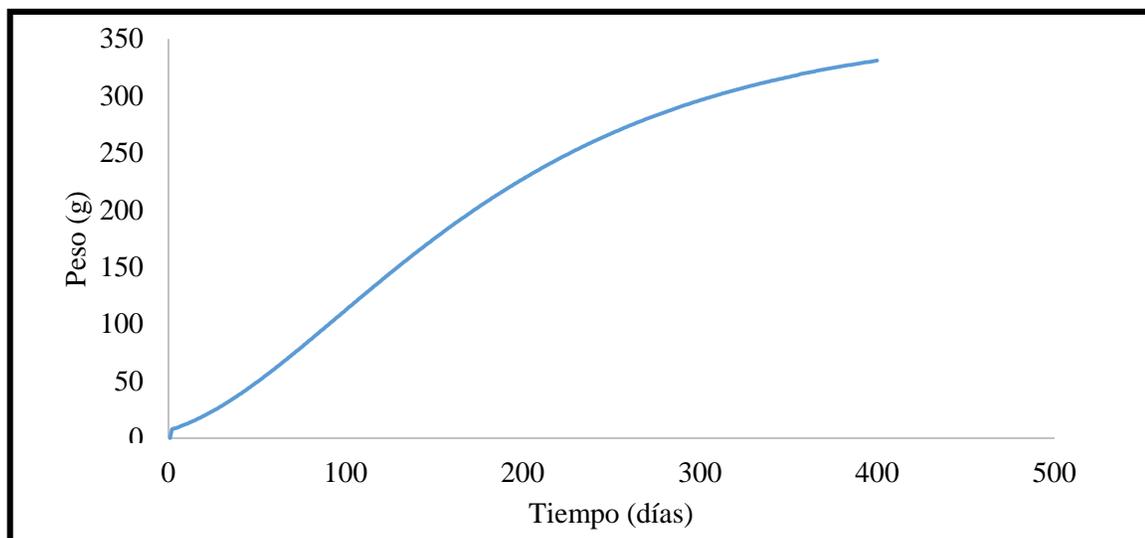


Figura 1. Función de crecimiento en peso de una tilapia promedio en función del tiempo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015.

Se determinó la función de sobrevivencia de tilapias mediante la Ecuación 6, obteniendo el número de peces en tiempo “t” de la Unidad de Acuicultura de Zamorano.

A continuación se indica la función sobrevivencia a tiempo “t” (Ecuación 16) sustituyendo la “z” y la densidad por hectárea inicial:

$$N_t = 66,667 (e^{-0.00086t}) \quad [16]$$

Mediante la función de sobrevivencia y la función de crecimiento se determinó la función de producción (Ecuación 2) para la Unidad de Acuicultura de Zamorano. La función de producción con sus parámetros estimados de la Unidad de Acuicultura de Zamorano (Ecuación 17) se presenta a continuación:

$$Y_t = 343 [1 - e^{(-0.00814(t - (-38.6))}]^{2.92} \times 66,667 (e^{-0.00086t}) \quad [17]$$

A continuación se presenta la producción de la tilapia en función del tiempo (Figura 2) en la Unidad de Acuicultura de Zamorano:

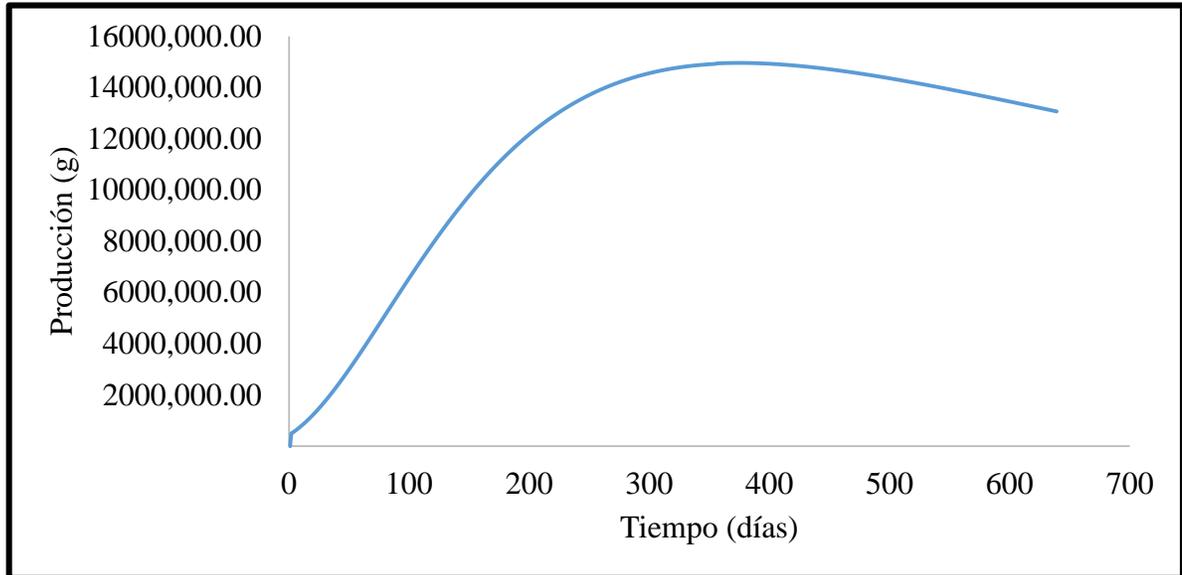


Figura 2. Función de producción en función del tiempo en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015.

Función de costos variables.

La función de costos variables cambia a través del tiempo y de forma significativa cada 30 días. El dinero tiene un valor a través del tiempo, por lo que, se ha determinado un costo de oportunidad por año de 8%.

El siguiente cuadro (Cuadro 3) indica el resumen de los costos iniciales por hectárea de la Unidad de Acuicultura de Zamorano expresado en dólares:

Cuadro 3. Costos variables iniciales de producción de tilapia por hectárea de producción, en dólares americanos (\$) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, agosto del 2015.

Actividades	Unidad	Costo/unidad	Cantidad	Total
Llenado inicial de estanque	kWh ^o	1.20	250	300
Compra de alevines	alevín	0.04	66,667	2,666
Mano de obra en siembra	h/ha	1.09	10	11
Total				2,978

^o Kilovatio hora.

Los costos iniciales son importantes, debido a que, abarcan el 33% de los costos variables totales ajustados a tiempo de cosecha. El costo de los alevines en la Unidad de Acuicultura de Zamorano difieren por especie (i.e. *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis sp.*).

El cuadro resumen de los costos variables diarios de producción de tilapia por hectárea durante el estudio en la Unidad de Acuicultura de Zamorano expresado en dólares se observan en el Cuadro 4⁶:

Cuadro 4. Costos variables de producción de tilapia por hectárea de producción por período de 30 días, expresado en dólares americanos (\$) en periodo m (30 días) el tiempo de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, agosto del 2015.

Periodo	Costos diarios por periodo sin tomar en cuenta i⁶
m [§] 1	36
m 2	45
m 3	55
m 4	62
m 5	83
m 6	112
m 7	114.
m 8	146
m 9	128
m 10	155

[§] Periodo de 30 días.

A continuación se incluye el cuadro de los costos de cosecha y traslado desde los estanques al área de procesamiento de la Unidad de Acuicultura de Zamorano (Cuadro 5):

Cuadro 5. Costos de cosecha de la tilapia y traslado al área de procesamiento, en dólares americanos (\$) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, agosto del 2015.

Actividad	Unidad	Cantidad	Costo/unidad	Total
Cosecha	h ^º /pez	333.33	1.09	363.64
Tiempo de transporte	h/pez	0.20	1.09	0.22
Total				363.85

^º Hora.

Tiempo óptimo de cosecha de la tilapia.

El tiempo óptimo obtenido con Solver fue de 197 días y el margen bruto de \$ 11,963. Un maximizador de utilidad no cosechará su producción antes de los 197 días, debido a que el Puesto de Ventas de Zamorano no recibirá la tilapia y no obtuviera ingresos. Sin embargo, el tiempo óptimo obtenido para semana santa fue de 173 días y el margen bruto de \$ 12,244. Estos valores se determinaron mediante la maximización de la función de margen bruto (Ecuación 11) con los valores de los parámetros sustituidos (Ecuación 18). La función de margen bruto de la Unidad de Acuicultura de Zamorano se indica a continuación:

⁶ Los costos por periodos de 30 días durante el estudio detallados se encuentran desde el Anexo 5 al 14.

$$\begin{aligned}
 MB_t = & 0.00242 \times 343 \left[1 - e^{(-0.00814 (t - (-38.6)))} \right]^{2.92} \times 66,667 * e^{-0.00086t} \\
 - & \left[3,176(1 + 0.08)^t + \sum_{m=1}^{M-1} \left[C_m \left(\frac{(1+0.08)^{30}}{0.08} - \frac{1}{0.08} \right) (1 + 0.08)^{(t-(30(M-1)))} \right] + \right. \\
 & \left. 142 \left[\frac{(1+0.08)^t}{0.08} - \frac{1}{0.08} \right] + 364 \right] \quad [18]
 \end{aligned}$$

La Ecuación 18 se puede apreciar mejor a través de gráficas. A continuación se presentan las funciones de ingresos, costos y margen bruto de la producción de tilapia en función del tiempo (Figura 3) en la Unidad de Acuicultura de Zamorano:

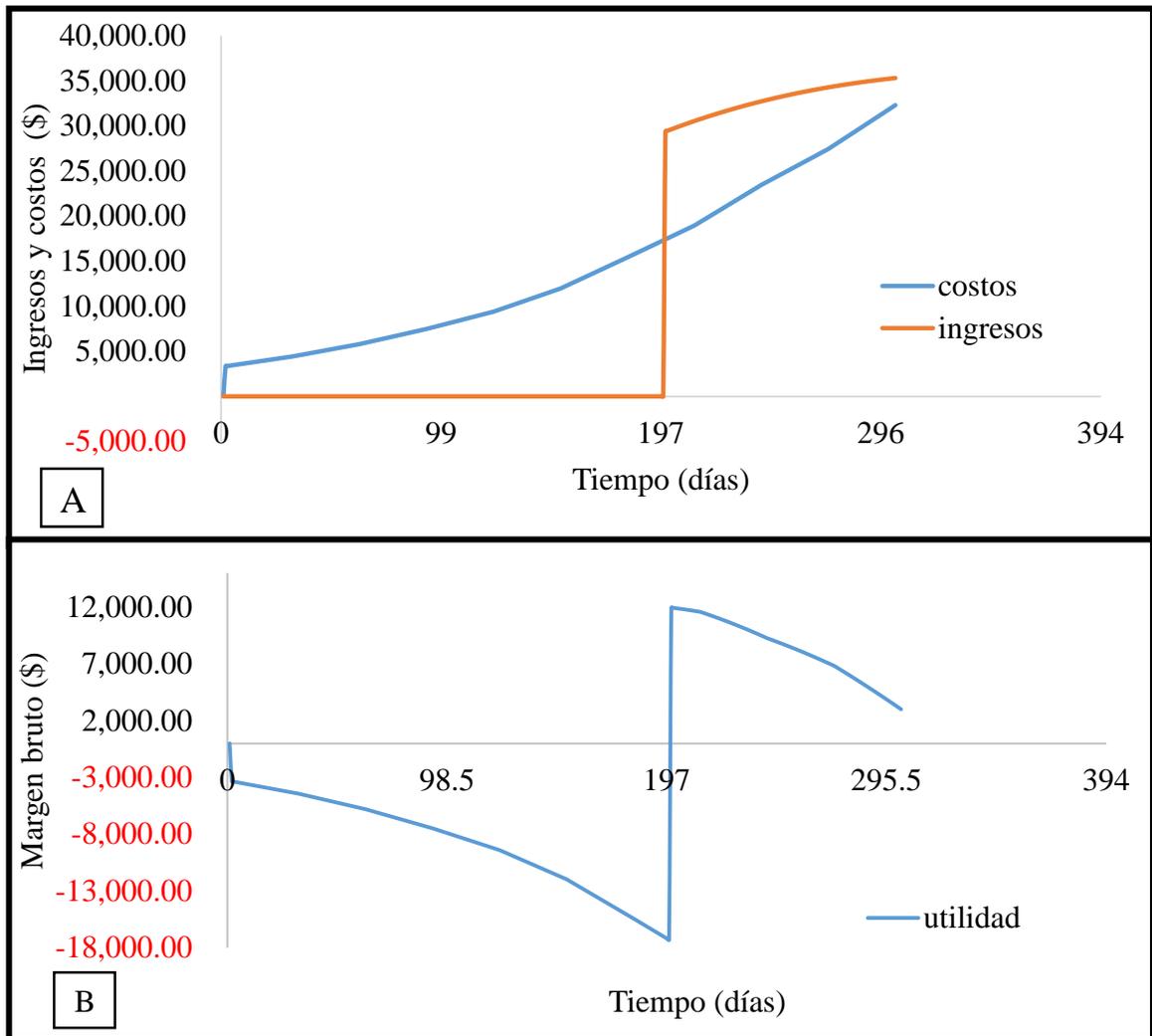


Figura 3. A) Función de ingresos y costos de la producción de tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015. B) Función de margen bruto de la producción de tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, de junio del 2014 a marzo del 2015.

El comportamiento de los costos varía a través del tiempo. La unidad de la ecuación se expresa en dólares por hectárea (\$/ha). El resumen del costo variable al tiempo óptimo, tomando en cuenta el costo de oportunidad “i, y la importancia de cada uno de los insumos en el costo total se detalla en el Cuadro 6, mostrado a continuación:

Cuadro 6. Resumen del costo variable acumulado al tiempo óptimo de cada insumo en valor dólares americanos (\$) y porcentaje (%) en la Unidad de Acuicultura, agosto del 2015.

Insumos	Costos	Porcentaje
Alimento 38%	2,554	15
Alimento 28%	6,705	39
Energía por recambio de agua	1,655	9
Mano de obra	3,224	18
Costo inicial	2,919	17
Costo final	364	2
Costos totales	17,431	100

Los costos de mayor relevancia en el estudio, son los costos de alimento de 38 y 28%. Estos costos abarcan un 54%. En estudios previos, la mano de obra, costo inicial (compra y siembra de alevines) y el costo final (mano de obra de cosecha), han sido excluidos, de esta manera el costo por alimento abarca el 90% de los costos variables totales (Meyer 2007).

El producto físico marginal es la razón entre el costo marginal y el precio. Al aumentar el precio, la pendiente será menor (más plana), por lo que el tiempo óptimo será mayor. Las ganancias aumentarían debido a que la proporción de costos marginales será menor en relación a los ingresos.

Sensibilidad del margen bruto y tiempo óptimo.

Utilizando Solver se realizó el análisis de sensibilidad del tiempo óptimo a cosecha y margen bruto a cambios en parámetros, precios y costos, los cuales variaron en 10, 20, 30 y 40 unidades porcentuales.

Sensibilidad a variación de parámetros y del precio de la tilapia. El análisis de sensibilidad muestra los movimientos del tiempo óptimo y del margen bruto a distintos valores de los parámetros, precio y costos, con características a notar en los cambios. El tiempo óptimo y el margen bruto varían de forma distinta según el parámetro de cambio (Cuadro 7). Es de notar que la sensibilidad a una unidad porcentual adicional es diferente a una unidad porcentual decreciente.

La sensibilidad del margen bruto y tiempo óptimo de la Unidad de Zamorano debido a cambios en el precio de la tilapia y las constantes “b,” “k,” “z,” se muestra a continuación en la matriz de sensibilidad (Cuadro 7):

Cuadro 7. Matriz de sensibilidad del tiempo a cosecha (días) y del margen bruto en dólares americanos (\$) a cambios porcentuales en el precio y las constantes “b” (exponente relación peso y longitud), “q” (constante de relación peso-longitud), “k” (constante de crecimiento) y “z” (constante de mortalidad) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Cambio porcentual		60	70	80	90	100	110	120	130	140
Precio	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	202	210
	Margen bruto	205	3,145	6,084	9,024	11,963	14,903	17,842	20,797	23,819
Exponente "b"	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	198
	Margen bruto	17,966	16,359	14,825	13,361	11,963	10,629	9,355	8,139	6,979
Constante "k"	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	-2,042	1,878	5,569	8,944	11,963	14,620	16,929	18,916	20,611
Constante "z"	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	14,024	13,495	12,976	12,465	11,963	11,470	10,984	10,507	10,038

Sensibilidad a precio. El precio es un valor que puede cambiar, ya sea por la percepción del cliente en cuanto a la calidad del producto, la época del año y las políticas impuestas por el Gobierno de Honduras. Debido a esto fue necesario evaluar la sensibilidad del margen bruto y del tiempo óptimo a cosecha debido al cambio en el precio de la tilapia. El margen bruto disminuye en \$11,758 por una reducción del 40% en el precio, lo cual es equivalente a una reducción promedio del 2% en margen bruto por cada 1% de reducción promedio en el precio. El tiempo óptimo no disminuye por la reducción del precio, debido al precio de cero al tener un tamaño menor de 20 cm. Por otro lado, el margen bruto aumenta en \$11,856 por un aumento del 40% en el precio, lo cual es equivalente a un aumento promedio del 2% en margen bruto por cada 1% de aumento promedio en el precio. El tiempo óptimo aumenta en 13 días por un aumento del 40% en el precio, lo cual es equivalente a un aumento promedio de 0.06 % en el tiempo por cada 1% de aumento promedio en el precio. El margen bruto y el tiempo son altamente sensibles a la variación en precio. El incremento en el precio causa un aumento en el tiempo óptimo y en el margen bruto debido a dos motivos: 1) la razón costo marginal e ingreso marginal (precio) se reduce al aumentar el precio, y debido a la concavidad de la función de producción y la necesidad de igualar la razón anterior con el producto físico marginal para maximizar el margen bruto, solamente podría suceder esto al aumentar el tiempo. Por otro lado los costos tendrían una menor proporción que los ingresos y aumentaría el margen bruto.

Sensibilidad a exponente “b”. El exponente “b” es un valor que no se espera que varíe significativamente, según estudios previos, sin embargo por completud se presenta el análisis de sensibilidad con una variación significativa. El margen bruto aumenta en \$6,002 por una reducción de 40% en el exponente “b”, lo cual es equivalente a un aumento promedio de 1% en margen bruto por cada 1% de reducción promedio en el exponente “b”. El tiempo óptimo disminuye en 23 días por una reducción de 40% en el exponente “b”, lo cual es equivalente a una reducción promedio de 1% en el tiempo por cada 1% de reducción promedio en el exponente “b”. Por otro lado, el margen bruto disminuye en \$4,984 por el aumento de 40% en el exponente “b”, lo cual es equivalente a una reducción promedio de 1% en margen bruto por cada 1% de aumento promedio en el exponente “b”. El tiempo óptimo no aumenta por el aumento en el exponente “b”, debido a la misma razón de no poder comercializar peces muy pequeños. El margen bruto es altamente sensible a la variación en el exponente “b”, mientras el tiempo es medianamente sensible. Al incrementar el exponente “b”, la función de relación peso y longitud se contrae (Anexo 16), causando el aumento en tiempo y el incremento de costos, reduciendo el margen bruto. Al reducir el exponente “b”, la función se expande, causando una disminución en tiempo y costos, aumentando el margen bruto.

Sensibilidad a constante “k”. La constante “k” se varió debido a que es un parámetro que puede cambiar por la época del año y las prácticas de manejo en campo. El margen bruto disminuye en \$14,005 por una reducción de 40% en la constante “k”, lo cual es equivalente a una reducción promedio de 3% en margen bruto por cada 1% de reducción promedio en la constante “k”. El tiempo óptimo no disminuye por una reducción de la constante “k”, debido a la restricción del precio antes mencionada. Por otro lado, el margen bruto aumenta en \$8,648 por un aumento de 40% en el precio, lo cual es equivalente a un aumento promedio de 2% en margen bruto por cada 1% de aumento promedio en la constante “k”. El tiempo óptimo no disminuye por el incremento de la constante “k”, debido a la misma razón de la restricción del precio. El margen bruto es altamente sensible a la variación en la constante “k”, mientras el tiempo es medianamente sensible. Al incrementar el valor de “k”, la función de crecimiento (Anexo 17) se expande a la izquierda, donde el tiempo óptimo y los costos disminuyen, aumentando el margen bruto. Al disminuir el valor de la constante “k”, el tiempo y el margen bruto disminuyen.

Sensibilidad a constante “z”. La constante “z” es un valor que puede variar por una mala práctica de manejo en campo o alguna condición climatológica desfavorable e inesperada. Debido a esto, se evaluó la sensibilidad al cambio en la constante “z”. El margen bruto aumenta en \$2,061 por una reducción de 40% en la constante “z”, lo cual es equivalente a un incremento promedio de 0.4% en margen bruto por cada 1% de reducción promedio en la constante “z”. El tiempo óptimo no aumenta por una reducción de la constante “z”, debido a la restricción del precio”. Por otro lado, el margen bruto disminuye en \$1,926 por el aumento de 40% en la constante “z”, lo cual es equivalente a la reducción promedio de 0.4% en margen bruto por cada 1% de aumento promedio en la constante “z”. El tiempo óptimo no se reduce por el aumento de la constante “z”. El margen bruto y el tiempo son levemente sensibles a la variación en la constante “z”. Al incrementar la constante “z”, la función de producción (Anexo 18) se contrae, debido a que la cantidad de peces decrece,

se necesita cosechar antes y la utilidad disminuye debido a esa muerte a través del tiempo y esto no beneficia al margen bruto. Al disminuir el valor de la constante “z”, el tiempo óptimo aumenta por un mayor número de peces y por ende, el margen bruto también.

Análisis de sensibilidad del margen bruto y tiempo óptimo en relación al cambio en los costos.

El comportamiento de la sensibilidad por un punto porcentual incremental y decreciente es igual para todos los costos, excepto para el alimento de 28% de proteína cruda debido a que su consumo incrementa significativamente cada 30 días. El tiempo óptimo y el margen bruto son levemente sensibles al cambio porcentual de los costos por unidad de alimento de 38% de proteína cruda, de mano de obra, de alevines, de energía eléctrica y de costo de oportunidad. El cambio en costo por unidad de alimento de 28% de proteína cruda es la excepción, el cual genera una mayor sensibilidad, sin embargo una leve sensibilidad para el margen bruto y tiempo óptimo de cosecha. Esta diferencia se debe al cambio significativo en cantidad suministrada por día a través del tiempo y mayor precio de este alimento. El cambio en margen bruto y tiempo óptimo al variar los costos del alimento de 28 y 38% de proteína cruda, energía, mano de obra y alevines se muestran en el Cuadro 8:

Cuadro 8. Sensibilidad del tiempo a cosecha (días) y del margen bruto en dólares (\$) a cambios porcentuales en los costos de: alimento de 38% de proteína cruda (g) y alimento de 28% de proteína cruda (g), mano de obra en dólares por hora (\$/h), alevines (unidades), energía en kilovatios hora (kWh) y costo de oportunidad (i), de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

	Cambio porcentual	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Alimento 38%	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	12,985	12,729	12,474	12,219	11,963	11,708	11,452	11,197	10,942
Alimento 28%	Tiempo	209	200	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	14,714	13,981	13,306	12,635	11,963	11,292	10,620	9,949	9,277
Mano de obra	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	13,452	13,080	12,708	12,335	11,963	11,591	11,219	10,847	10,474
Alevines	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	13,077	12,799	12,520	12,242	11,963	11,685	11,406	11,128	10,850
Energía bomba	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	12,625	12,460	12,294	12,129	11,963	11,798	11,632	11,467	11,301
Costo de oportunidad	Tiempo	197	197	197	197	197	197	197	197	197
	Margen bruto	12,110	12,073	12,037	12,000	11,963	11,926	11,889	11,852	11,815

La sensibilidad máxima del margen y el tiempo óptimo al cambio en un insumo, se debe al cambio en el costo de alimento de 28% de proteína cruda. El margen bruto aumenta en \$2,751 por una reducción de 40% en los costos de alimento de 28% de proteína cruda, lo cual es equivalente a un incremento promedio de 0.6% en margen bruto por cada 1% de reducción promedio en los costos de alimento de 28% de proteína cruda. El tiempo óptimo incrementa en 12 días por una reducción de 40% en los costos de alimento de 28% de proteína cruda, lo cual es equivalente a un aumento promedio de 0.05% en el tiempo por cada 1% de reducción promedio en los costos de alimento de 28% de proteína cruda. Por otro lado, el margen bruto disminuye en \$2,686 por el aumento de 40% en los costos de 28% de proteína cruda, lo cual es equivalente a la reducción promedio de 0.6% en margen bruto por cada 1% de aumento promedio en los costos de 28% de proteína cruda. El tiempo óptimo no se reduce por el incremento en los costos de alimento de 28% de proteína cruda, debido a la restricción en el precio.

La sensibilidad del margen bruto y el tiempo óptimo es leve al cambio en los costos individuales de los insumos. Sin embargo, por una subida general de 10% en todos los costos causa que el margen sea altamente sensible. El margen bruto disminuye en \$1,784 al aumento general de los costos en un 10% y el tiempo óptimo no decrece, equivalente a una disminución de 23% en margen bruto por un aumento de 1% en los costos en general y una disminución de 1.5% en el tiempo óptimo por un aumento de 1% en los costos en general.

Si los costos incrementan, el tiempo óptimo va a decrecer, debido a que se va a preferir no incurrir en más costos y detener la producción antes de que estos sean mayores que el beneficio que dé. Si los costos disminuyen, el margen bruto será mayor. Esto también se puede ver por la relación del costo marginal sobre ingreso marginal, el producto físico marginal y la concavidad de la función de producción.

Cálculo de pérdidas de la unidad.

Se determinaron las pérdidas asociadas a desviaciones al tiempo óptimo mediante la ecuación del margen bruto (Ecuación 18). Se muestran las pérdidas por desviaciones al tiempo óptimo de 20, 40, 60 y 80 días en el siguiente cuadro (Cuadro 9):

Cuadro 9. Sensibilidad del margen bruto (\$) y pérdidas (\$) (margen dejado de ganar) debido a variaciones al tiempo óptimo de cosecha (en días) de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Desviación al tiempo óptimo		-60	-40	-20	20	40	60	80
Tiempo a cosecha	días	137	157	177	217	237	257	277
Margen bruto	\$/ha	0	0	0	11,117	9,536	7,967	5,991
Pérdidas	\$/ha	-11,963	-11,963	-11,963	-847	-2,428	-3,997	-5,973

Las pérdidas dependen del tiempo de diferencia entre el número de días óptimo a cosecha después de siembra y otro día particular. La pérdida promedio es de \$72 por día. El promedio de pérdidas es de \$103 por un día de variación. Sin embargo, el rango de variación es de 42 a \$99 por día.

Aceptación del Puesto de Ventas de Zamorano.

En semana santa, la demanda de pescado fresco es alta, debido a la cultura y a la tradición que esta fecha conlleva. El peso y la longitud influyen en menor grado en la decisión de compra del consumidor del puesto de ventas de Zamorano en esa época. Sin embargo, en días que no pertenezcan a semana santa el estándar de calidad mínimo para la tilapia gris que se exigen en el Puesto de Venta de Zamorano es presentar una longitud total mínima de 20 cm o que supere la media libra de peso.

El peso equivalente de una tilapia con una longitud de 20 cm, estimado mediante la ecuación de relación peso y longitud (Ecuación 5), es de 146 g. Asumiendo normalidad en la distribución de la longitud de la tilapia con una desviación estándar de 1.4 cm de longitud y con el 95% de la población con más de 22 cm, la media de longitud sería de 22.5 cm. El tiempo en el cual se podría obtener una longitud total de tilapia de 22.5 cm (216 g) es a un tiempo de 197 días después de siembra (estimado mediante la ecuación de crecimiento en peso).

A continuación se presenta la figura de la distribución normal de la longitud de una población de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano cuya probabilidad de obtener una longitud total mínima de 22 cm, sea del 95% (Figura 4):

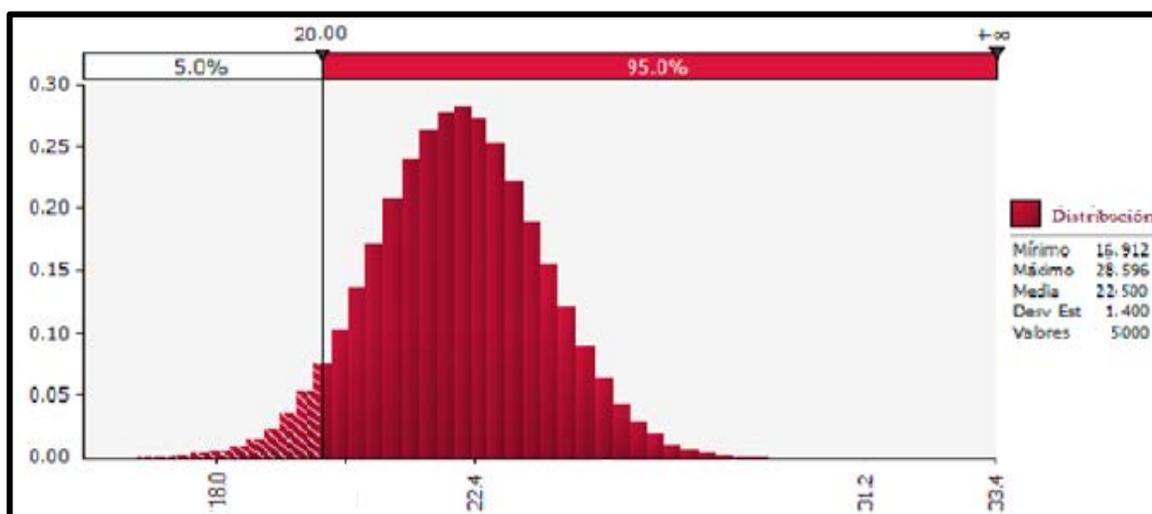


Figura 4. Distribución normal de la longitud de una población de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano cuya probabilidad de obtener una longitud total mínima de 22 cm, sea del 95%, septiembre del 2015.

4. CONCLUSIONES

- Los parámetros de crecimiento de la tilapia dependen de la temporada y las condiciones climatológicas de la región en donde se va a producir. Los parámetros de crecimiento de este estudio difieren de otros realizados en otras condiciones climatológicas. La constante de crecimiento, “k” (en días), para la temporada de junio a marzo, en la Unidad de Acuacultura de Zamorano es de 0.008137, aproximadamente 2.67 en años. El exponente “b” de la tilapia de la Unidad de Acuacultura de Zamorano es de 2.92.
- La sobrevivencia en la Unidad de Acuacultura de Zamorano es típica de las zonas tropicales de América donde se cumplen las buenas prácticas de campo. La constante “z” en la Unidad de Acuacultura de Zamorano es de 0.00086, esto representa, una sobrevivencia por año de 74%.
- La función de producción para la Unidad de Acuacultura de Zamorano es:
$$Y_t = 343 \left[1 - e^{(-0.00814(t - (-38.6)))} \right]^{2.92} \times 66,667 (e^{-0.00086t}).$$
- Los costos variables diarios de la Unidad de Acuacultura de Zamorano aumentan significativamente en cada periodo de 30 días. Los costos variables más significativos son los de alimento y mano de obra. Los costos por alimento abarcan un 54% de los costos variables acumulados de producción de tilapia.
- El tiempo óptimo de cosecha de la tilapia obtenido en este estudio, es diferente al de otros a través de la zona tropical debido a los diferentes parámetros obtenidos en las funciones de ingresos y costos. El tiempo óptimo de cosecha de la tilapia en la Unidad de Acuacultura de Zamorano para vender en épocas distintas de semana santa es de 197 días después de siembra, mediante la cual se alcanza un margen bruto de \$11,963/ha. Sin embargo, este tiempo es de 173 días en semana santa, discrepando del resultado anterior debido a la diferente restricción del tamaño mínimo exigido en el puesto de ventas en cada época. El tiempo óptimo de cosecha cambia 201 días si no se toma en cuenta el costo de la mano de obra, como lo es en la Unidad de Acuacultura donde los estudiantes realizan las labores.
- La Unidad de Acuacultura debe de observar cuidadosamente los cambios en el precio y al cambio general en los costos, como también cuidado en las prácticas de campo relacionadas con la alimentación, crecimiento y mortalidad de los peces; este último más por muerte masiva y no por mortalidad de un rango normal. El margen bruto es levemente sensible al cambio de los costos individuales y parámetro “z”, presenta

una sensibilidad media al cambio en la constante “b” y son altamente sensible a los cambios en la constante “k”, al precio y a al cambio en los costos variables totales. Sin embargo, el tiempo no es sensible por cambio en precio, constantes ni costos.

- La pérdida en margen bruto por día de variación al tiempo óptimo es diferente a través del tiempo. El promedio de pérdidas es de \$72 por un día de variación, sin embargo, el rango de variación es de \$42 a \$99 por día.

5. RECOMENDACIONES

- Se les recomienda cosechar a un tiempo de 197 días, a los productores de tilapia de regiones que tengan similares condiciones climáticas y estructura de costos a la de Zamorano, Honduras. Sin embargo se recomienda cosechar a los 173 días después de siembra cuando la producción se coseche en de semana santa. En otra temporada se recomienda.
- Se recomienda realizar un buen manejo de las prácticas de campo, debido a que una mala práctica incrementaría la mortalidad y el desarrollo de los peces.
- Es recomendable realizar estudios del tiempo óptimo de cosecha de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano con diferentes formas funcionales para la función de crecimiento y en la temporada de marzo a agosto.
- Se recomienda realizar una investigación de mercado en el Puesto de Ventas de Zamorano, identificando el nivel de aceptación de los clientes por la tilapia de la Unidad de Acuicultura al tamaño promedio alcanzado a los 173 días para épocas distintas a semana santa con el fin de corroborar o refutar el tamaño mínimo aceptable.
- Se recomienda realizar una investigación de mercado en el Puesto de Ventas de Zamorano, identificando la disposición de pago por la tilapia de la Unidad de Acuicultura a diferentes tamaños de la tilapia.

6. LITERATURA CITADA

Agudelo, D. 2004. Curvas de crecimiento de crías de vacuno levantadas en la Corporación. Antioquía, Colombia. Universitaria Lasallista. Vol. 1, p. 2-45.

Beltrán, D., Sánchez, J., Lozano, J. 2014. Edad y crecimiento de la tilapia. Sinaloa, México. Ciencia Pesquera, p. 37-46.

Burgos, W. S. 2010. Efecto del tamaño de la camada y número de parto en el crecimiento de los cuyes (*Cuyia porcelus* Rodentis: cavidae). Antioquía, Colombia. Universitaria Lasallista. Vol. 7, p. 47-55.

Chang, W., Springborn, R., & Engle, C. 1992. Optimum harvest time in aquaculture of economic principles to Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* growth model. Michigan, Estado Unidos de América. Aquaculture and Fisheries Management, p. 639-647.

dos Santos, B. A. (2013). Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. Sao Paulo, Brasil. Acta Scientiarum. Vol. 35.p. 235-242.

Food and Agricultural Organization FAO. (1998). Introduction to tropical fish stock assessment. Roma, Italia. Vol. 2.

Instituto Nacional de Estadística de Honduras INE. (Tegucigalpa, Honduras de Octubre de 2008). *Ganadería y Otras Especies Animales*. Obtenido de (Encuesta Agrícola Nacional), ENE: <http://www.ine.gob.hn/Documentos/EAN%202007-2008/GANADERIA.pdf>

García, A. Tume, J., & Juárez, V. 2012. Determination of growth parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a Magazine. Obtenido de Ciencia y Desarrollo. Piura, Perú. 15 de junio del 2015. Disponible en http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista_15-02_Esp_05.pdf

Gómez, J. 1998. Age and growth of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae). Revista de Biología Tropical, Hidalgo, México, p. 929-936.

Gomez, J., Peña, B., Salgado, I. 2008. Age and growth of the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Perciformes:childae) from tropical shallow lake. Mexico. 12 de junio del 2015 Disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.378.5877&rep=rep1&type=pdf>

Gómez-Ponce, G., Padilla, C., López, M., & Núñez, G. 2011. Edad y crecimiento del híbrido de tilapia *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis aureus*. Revista de Biología Tropical, p. 761-770.

Graal, G., & Prein, M. 2005. Fitting growth with the von Bertalanffy growth function: a comparison of three approaches of multivariate analysis of fish growth in aquaculture experiments. Holanda. Aquaculture Research, p. 100-109.

Grammer, G., Slack, W, Peterson, S., Dugo, M. 2012. Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) establishment in temperate. Mississippi, Estados Unidos. Aquatic Invasions, p. 367-37.

Instituto Nacional de Estadística de Honduras INE. 2008. Encuesta agrícola nacional y datos estadísticos de ganadería y otras especies animales. Tegucigalpa, Honduras. 15 de noviembre del 2014, Disponible en <http://www.ine.gob.hn/Documentos/EAN%202007-2008/GANADERIA.pdf>

King, R., & Etim, L. 2004. Reproduction, growth, mortality and yield of *Tilapia mariae* Boulenger 1899 (Cichlidae) in a Nigerian rainforest wetland stream. Nigeria. Applied Ichthyology, p. 502-510.

Krugman, P. Franco. O. 1988. Desindustrialización, reindustrialización y tipo de cambio real. El Colegio de México. Vol. 3, p. 149-167.

Meyer. D, Triminio. S. 2007. Práctcas de Manejo de la tilapia. Manual de Acuicultura . Tegucigalpa, Honduras.

Mistiaen, J. 1998. Optimal Feeding and Harvest Time for Fish with Weight-Dependent Prices. Maryland, Estados Unidos de América. Marine Resource Economics. Vol. 13, p. 231-246.

Moreau, Y., & Prein, M. 1988. A comparison of Overall Growth and Performance of *Tilapia* in Open Waters and Aquaculture. Filipinas. Revista The Second International Symposium on *Tilapia* in Aquaculture, p. 469-479.

Peña, E., Tapia, R., Velázquez, J., Orbe, A. Ruiz, J. 2010. Growth, mortality and reproduction of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae). Aguamilpa, México. Revista de Biología Tropical, p. 1577-1586.

Pérez, E. 2010. Una modificación de crecimiento de von Bertalanffy para incluir el efecto de la temperatura en el crecimiento del abalón rojo *Haliotis rufescens* para su us en acuicultura. Viña del Mar, Chile, Revista de Biología Marina y Oceanografía. Vol. 45, p. 303-310.

Rakocy, J. Food and Agriculture Organization FAO. 2005. Programa de información de especies acuáticas. Roma, Italia, 3 de marzo del 2015. disponible en http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/es

Rossi, E. 2013. Análisis Marginal y Levantamiento de Supuestos. Oporto, Portugal, : Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Ruiz, J. L. 2007. Potencial Productivo de una Laguna artificial en el desarrollo del cultivo de tilapia. Málaga, España, Veterinaria Organización. Vol. 3, p. 1-12.

Rumi, A. G. 2007. Growth rate fitting using the von Bertalanffy model: analysis of natural populations of *Depanotrema*. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Revista de Biología Tropical. Vol. 55, p. 559-567.

Torres, D. 2012. Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Meta, Colombia, Orinoquia. Vol. 16, p. 63-68.

7. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la regresión $\ln W_t = \ln(q) + b \ln(L_t)$, para obtener el exponente de relación peso-longitud de la función de crecimiento de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Recurso	SS ^ð	df ^o	MS [¥]	Observaciones	= 400	
Modelo	662.569	1	662.570	F	= 0.000	
Residual	15.222	398	0.038	R-cuadrado	= 0.977543	
Total	677.791	399		R ² Ajustado	= 0.944486	
	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[95% Intervalo de confianza]	
Intercepto	3.7205	0.0619	7.7E-202	-60.135	-3.84212	-3.59886
Ln L(t) ^²	2.9204	0.0222	131.622	0.000	0.04487	0.05480

^o Grados de libertad.

[¥] Media cuadrática.

^ð Suma cuadrática.

^² Logaritmo natural.

Anexo 2. Resultados de la regresión $-\ln \left[1 - \frac{b\sqrt{W_t}}{b\sqrt{W_\infty}} \right] = -kto+kt$, para obtener el parámetro “k” (constante de crecimiento) de la función de crecimiento de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Recurso	SS ^ð	df ^o	MS [¥]	Observaciones	= 400	
Modelo	787.524	1	787.524	F	= 8.8E-242	
Residual	52.607	399	0.132	R-cuadrado	= 0.9374	
Total	840.126	400		R ² Ajustado	= 0.9349	
	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[95% Intervalo de confianza]	
Intercepto	0	N/A [£]	N/A	N/A	N/A	N/A
(t)	0.008138	0.00012	77.2896	3.5E-242	- 0.009066	0.009539

^o Grados de libertad.

[¥] Media cuadrática.

^ð Suma cuadrática.

[£] No aplica.

Anexo 3. Resultados de la regresión, $\ln N_t = \ln N_0 - zt$, para obtener el parámetro “z” de la función de crecimiento de tilapia de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Recurso	SS ^ð	df ^o	MS [¥]	Observaciones	= 3	
Modelo	0.029049	1	786.974	F	= 0.013929	
Residual	1.39E-05	1	0.1896	R-cuadrado	= 0.999521	
Total	0.029063	2		R ² Ajustado	= 0.999043	
	Coefi- ciente	Error estándar	t	P> t	[95% Intervalo de confianza]	
Intercepto	11.10911	0.003344	3321.9	0.000192	11.06662	11.1516
Tiempo	-0.00086	1.88E-05	-45.7	0.013929	-0.0011	-0.00062

^o Grados de libertad.

[¥] Media cuadrática.

^ð Suma cuadrática.

Anexo 4. Costos iniciales del estudio que constan de la compra de alevines, llenado de estanque y mano de obra en siembra, de la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	Costo/unidad(\$)	Cantidad	Total
Total llenado inicial	ha	453.00	1.00	453.00
Total alevines	unidad	0.04	66,667	2,646.97
Total Costo de siembra	h ^o	1.09	36.11	39.39
Total de costos iniciales				3,139.36

^o Hora.

Anexo 5. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^o /día	1.09	2.21	2.42
alimentación				
Alimento	g/día	0.0009	21,825.40	20.54
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				35.64

^o Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 6. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuacultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^º /día	1.09	2.85	3.10
alimentación				
Alimento	g/día	0.0009	28,050.60	26.40
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				44.60

^º Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 7. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuacultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^º /día	1.09	3.75	4.10
alimentación				
Alimento	g/día	0.0009	37,729.89	35.51
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				54.70

^º Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 8. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuacultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^º /día	1.09	7.56	8.25
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	74,561.40	38.82
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de T° y O ₂	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				62.17

^º Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 9. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^φ /día	1.09	10.96	11.96
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	108,040.23	56.25
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				83.30

^φ Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 10. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^φ /día	1.09	15.64	17.06
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	154,166.67	80.26
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				112.42

^φ Hora.

[§] Kilowatt hora.

Anexo 11. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^φ /día	1.09	15.93	17.38
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	157,062.84	81.77
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				114.25

^φ Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 12. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^φ /día	1.09	20.99	22.90
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	206,913.58	107.72
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				145.72

^φ Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 13. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^φ /día	1.09	18.07	19.72
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	178,143.94	92.75
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				127.56

^φ Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 14. Costos variables diarios por hectárea del mes uno, por actividad productiva de la tilapia en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

Actividades	Unidad	\$/Unidad	Cantidad	Total
Mano de obra	h ^φ /día	1.09	22.56	24.61
alimentación				
Alimento	g/día	0.0005	222,345.68	115.76
Recambio	kWh [§] /día	0.15	44.46	6.67
Mantenimiento	h/ha	1.09	4.37	4.76
Costos adicionales	h/día	1.09	3.11	3.40
Toma de temperatura y oxígeno	h/día	1.09	0.25	0.27
Total				155.46

^φ Hora.

[§] Kilowatt hora

Anexo 15. Estadísticos Chi² y Breuch-Pagan de las pruebas de heterocedasticidad de los parámetros “k”, “b” y “z” en la Unidad de Acuicultura de Zamorano, Honduras, julio del 2015.

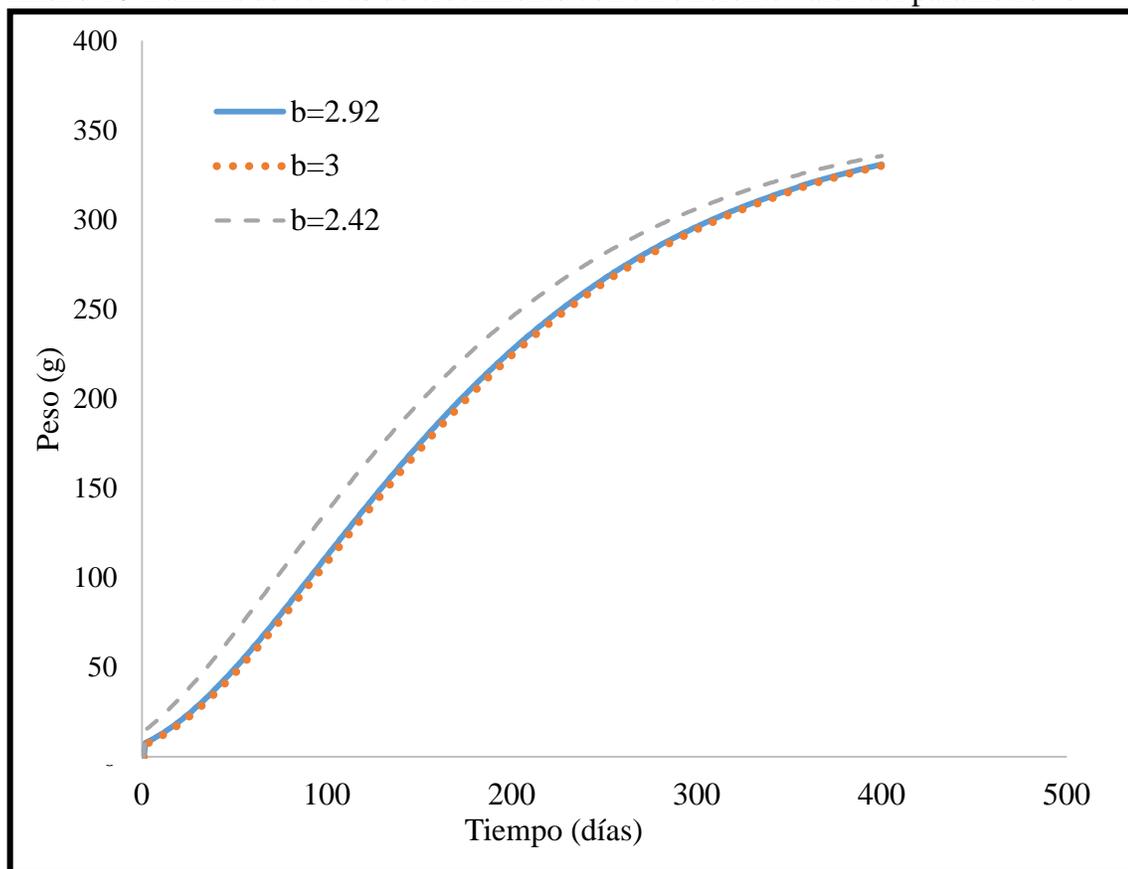
Prueba	Estadísticos	“k”	“b”	z”
Breuch-Pagan	F	N/A [£]	N/A	0.9056
White	Chi ²	54.59	6.62	N/A
	Observaciones	399.00	400.00	3.0000
	df [°]	2	2	
	P value	3.5E-242	0	N/A

[£] No aplica.

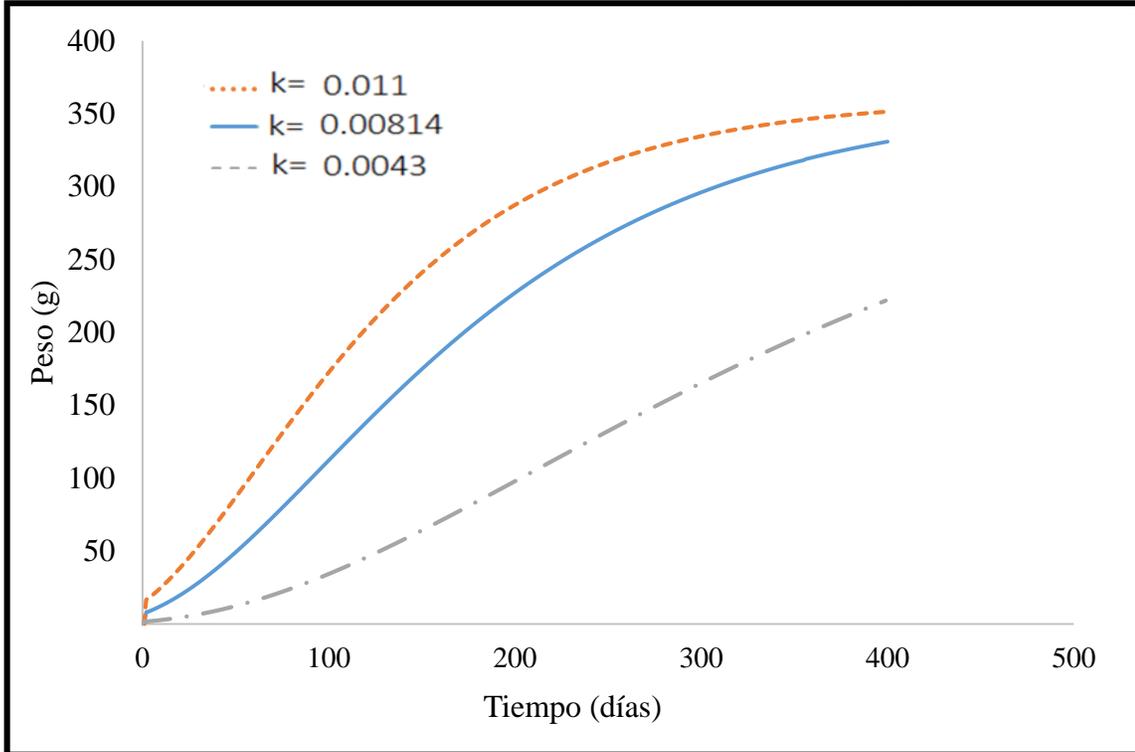
[°] Grados de libertad.

Mediante pruebas de White se determinó que las regresiones no presentan heterocedasticidad para las constantes “q”, “b” y “k”. Mediante la prueba de Chi² Breuch-Pagan se determinó la ausencia de heterocedasticidad de la constante “z”.

Anexo 16. Familia de curvas de crecimiento con un diferente valor del parámetro “b”.



Anexo 17. Familia de curvas de crecimiento con un diferente valor del parámetro “k”.



Anexo 18. Familia de curvas de producción con un diferente valor del parámetro “z”.

