

CURVAS DE CRECIMIENTO Y EFICIENCIA EN LA ALIMENTACIÓN DE TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mikyss*) EN EL COSTO DE PRODUCCION

IMPORTANCE OF THE CURVES OF GROWTH AND EFFICIENCY IN THE FOOD OF TROUT ARCOIRIS (*Oncorhynchus Mikyss*) IN THE COST OF PRODUCTION

CRISTOBAL RUFINO YAPUCHURA SAICO

Universidad Nacional del Altiplano.
E-mail: cyapuchura@hotmail.com

SABINO EDGAR MAMANI CHOQUE

Universidad Nacional del Altiplano.
E-mail: semamani@unap.edu.pe

DINA PARI QUISPE

Universidad Nacional del Altiplano.
E-mail: dpariquispe@gmail.com

EMILIO FLORES MAMANI

Universidad Nacional del Altiplano.
E-mail: eflo207@hotmail.com

Recibido el: 04/01/2018

Aceptado el: 18/04/2018

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consiste en evaluar la eficiencia de las marcas de alimento disponibles en el mercado, identificación de puntos de interés a partir de curvas de crecimiento, estructura de costos y rentabilidad. La información se generó en el lago Titicaca (lugar Callejón) a 12 km de la ciudad de Puno donde se instalaron jaulas para evaluar cinco marcas de alimento comercial, y otras para evaluar el crecimiento y costos de producción. Como resultado del experimento se encontró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) para la ganancia de peso vivo, ubicándose en primer lugar el T2, seguido por T3 y en tercer lugar el resto de tratamientos; aunque las mejores tasas de conversión alimenticia favorecieron a los tratamientos T2 y T3, la eficiencia económica definió el siguiente orden T3, T2, T4, T1 y T5. Las curvas de crecimiento estimados mediante un modelo Logistic que caracterizan eficazmente el crecimiento de truchas y se usaron para identificar el periodo de adaptación al ambiente y el punto de inflexión en tres grupos de crecimiento. El costo de producción mostró que los alimentos representan el 78% del costo total y una rentabilidad del 19%. Concluyéndose que T3 es la más eficiente que permite una rentabilidad de 19.17%.

Palabras clave: alimentación, crecimiento, costos, eficiencia, logistic, truchas

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the efficiency of food brands available in the market, identification of points of interest based on growth curves and cost structure and profitability. The information was generated in Lake Titicaca (place Callejón) 12 km from the city of Puno where cages were installed to evaluate five brands of commercial feed, and others to evaluate the growth and production costs. As a result of the experiment, highly significant differences were found ($p < 0.01$) for the live weight gain, placing first the T2, followed by T3 and in the third place the rest of treatments; Although the best feed conversion rates favored treatments T2 and T3, economic efficiency defined the following order T3, T2, T4, T1 and T5. The growth curves estimated by a Logistic model effectively characterize the growth of trout and were used to identify the period of adaptation to the environment and the point of inflection in three growth groups. The cost of production showed that food represents 78% of the total cost and a profitability of 19%. Concluding that T3 is the most efficient that allows a yield of 19.17%.

Keywords: feed, growth, costs, efficiency, logistic, trout

I. INTRODUCCIÓN

En la región de Puno, la agricultura es una de las actividades más importantes. Sin embargo, la acuicultura creció considerablemente en los años recientes debido a una demanda creciente de trucha fresca y disponibilidad de recursos hídricos, siendo los más importantes el lago Titicaca (Chura & Mollocondo, 2009) y la laguna de lagunillas; donde operan 664 productores de un total de 799 que cuentan con concesión vigente (PRODUCE, 2014). El 52% de concesiones para actividades acuícolas, se ubican en el lago Titicaca que concentran al 48% de productores. En el 2015, la producción de trucha fresca en la región de Puno fue de 33.26 t, el 65% de los cuales correspondió al lago Titicaca y el 24% a la laguna de lagunillas. La mayor parte de esta producción consume el mercado regional, siendo las más importantes Juliaca (23%), Puno (13%), Chucuito (11%), y Yunguyo (5%); fuera de la región se comercializa solo el 27%, siendo el mercado del Cusco el más importante, (19%), seguido de Arequipa (3%) y Tacna (3%) (PRODUCE, 2014).

El sistema de producción predominante es artesanal debido a limitaciones de carácter económico. El problema más importante está relacionado con la alimentación porque representa el mayor costo operativo. El uso eficiente se puede traducir en una importante disminución en los costos de producción (Morales, 2004). Otro aspecto importante es caracterizar el crecimiento de las truchas para identificar puntos de interés como el periodo de adaptación al ambiente y el punto de inflexión (Xinuo, et al. 2003) que contribuirían a planificar y mejorar la performance de un sistema de producción en particular, tomando en cuenta que el crecimiento desigual de los peces genera tres grupos diferenciados por sus tasas de crecimiento a los que se les denomina “Cabeza”, “Núcleo” y “Cola”. En este contexto, el uso eficiente de alimentos reduciría los de costos de producción y tendría un impacto importante en la rentabilidad, principalmente en los sistemas de producción de escala avanzada y de mayor escala (Carpio y Tito, 2017) que orientan su producción a los mercados más importantes de la región.

En esta investigación, se asume que bajo las condiciones físico-químicas del lago Titicaca, las diferentes marcas de alimento balanceado tienen diferente rendimiento que se puede evaluar a través del factor de conversión alimenticia (FCA), (Uysal, I. & Alpbaz, A., 2002), pero dado que éstos tienen precios de mercado diferente, la eficiencia biológica no es necesariamente igual a la eficiencia económica. En lo referente al crecimiento de truchas, se trata de un proceso biológico relacionado

con el peso y edad que puede ser representado adecuadamente por el modelo Logístico (Aguilar, 2010; Colin, 1999) a partir del cual se pueden definir puntos de interés y requerimientos de alimentos. Finalmente, la truchicultura requiere dietas nutricionalmente completas y de alto costo que desempeñan un papel dominante en la producción (Cowey, 1992; Hasan, 2001) cuyo costo representa más del 70% en un sistema de crianza tradicional (Gawa, et al., 2017; Okumus, I. & Mazlum, M., 2002).

Por ello, los objetivos de esta investigación son evaluar la eficiencia biológica y económica de cinco marcas de alimento disponibles en el mercado, en truchas juveniles bajo las condiciones físico-químicas del lago Titicaca. Por otro lado, se estima curvas de crecimiento para caracterizar tres grupos diferenciados por la tasa de crecimiento, identificando el periodo de adaptación al ambiente y el punto de inflexión donde la tasa de crecimiento es la más alta, finalmente se determina la estructura de costos y el nivel de rentabilidad.

II. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el lago Titicaca, en un criadero ubicado en el sector denominado Callejón situado a 12 km de la ciudad de Puno (15°52'15.37"S y 69°55'57.30"). Se utilizaron cinco jaulas de 5x5 m para evaluar la eficiencia alimentaria de cinco marcas de alimento, mientras que para evaluar costos de producción y curvas de crecimiento se utilizaron siete jaulas.

Para el experimento de evaluación de eficiencia alimentaria, se seleccionaron 1750 truchas juveniles con un peso promedio de 180 g que fueron distribuidos aleatoriamente en cinco jaulas de 5x5 m, cada una con 350 peces. Los alimentos fueron adquiridos en bolsas cerradas para evitar adulteración del producto, contaminación u otro problema relacionado con almacenamiento y conservación; las marcas de alimento fueron asignados aleatoriamente como tratamiento T1 (Tomasino), T2 (Ewos), T3 (Nicovita), T4 (Naltech) y T5 (Purina). El registro de pesos se hizo semanalmente, seleccionando aleatoriamente quince individuos por tratamiento; el pesado se hizo extrayendo un grupo considerable de individuos y depositados en una tina de 50 l; al disminuir la actividad en el agua, se capturó un individuo y se sostuvo fuera del agua hasta que sea posible registrar el peso usando una bolsa y una balanza de precisión tipo reloj con jalador.

La cantidad de alimento suministrado por día se calculó semanalmente en base a la tabla de alimentación propuesto por la FAO (2014) al que se agregó un

25% para reducir las diferencias con las tablas de los alimentos comerciales, así se suministró la misma cantidad de alimento en relación a la biomasa; el periodo del experimento fue de siete semanas. Al finalizar el experimento, se cosechó 35 truchas de cada tratamiento que fueron transportadas en baldes etiquetados a tierra firme para ser pesados en una balanza de precisión, la talla se registró mediante un ictiómetro; 24 horas antes de la cosecha se suspendió la alimentación de las truchas. El periodo experimental fue de siete semanas durante la fase de mayor crecimiento de las truchas en el que se evaluó el rendimiento y eficiencia de cinco marcas de alimento (T1, T2, T3, T4 y T5).

La eficiencia biológica se evaluó como la ganancia de peso vivo, expresados como

$$FCA = \frac{\text{(Cantidad de alimento suministrado (kg) en un periodo t)}}{\text{(Ganancia de peso o incremento de biomasa (kg) en el periodo t)}}$$

Mientras que la eficiencia económica

$$\frac{\text{(Valor bruto de la ganancia de peso vivo (S/) en el periodo t)}}{\text{(Costo del alimento suministrado (S/) en el periodo t)}}$$

Se evaluó como el beneficio económico generado por la ganancia de peso, dado que cada tratamiento genera diferente FCA y el precio de cada marca de alimento es diferente. Las diferencias de peso, longitud y factor de condición corporal se analizaron mediante un análisis de varianza (ANVA) de un solo factor a través del software estadístico SAS usando el procedimiento PROC GLM y la prueba de comparaciones Duncan a un nivel de significancia del 5%.

interés dentro de la curva como el punto de inflexión que define el punto donde la tasa de crecimiento es la más alta; la fase de adaptación al ambiente que culmina en el intercepto en el eje X de la ecuación tangente a la curva en el punto de inflexión (Aguilar, 2010; León-Velarde & Quiroz G., 1994; Trinidad, 2014).

Siguiendo el proceso de optimización de funciones matemáticas (Weber, 1999), los puntos de interés se definen como: a) *El punto de inflexión*: $\frac{d^2y}{dx^2} = \beta_1 e^{-\beta_2 X} - 1 = 0$

luego $x = \frac{\ln \beta_1}{\beta_2}$; evaluando en la función original se obtiene $y \Big|_{\frac{\ln \beta_1}{\beta_2}} = \frac{\beta_0}{2}$, en consecuencia el punto de inflexión es: $\left(\frac{\ln \beta_1}{\beta_2}, \frac{\beta_0}{2}\right)$, b) *Fin de la fase de adaptación al ambiente*.

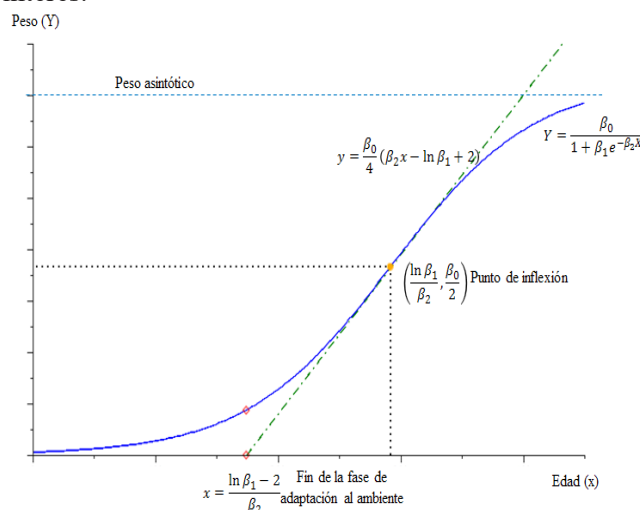
La pendiente en el punto de inflexión es igual a la primera derivada de la función, evaluado en el valor crítico. $\frac{dy}{dx} \Big|_{\frac{\ln \beta_1}{\beta_2}} = \frac{\beta_0 \beta_2}{4}$, reemplazando en la ecuación de la

recta, dado la pendiente y el punto de inflexión, la ecuación tangente en el punto de inflexión es: $y = \frac{\beta_0}{4} (\beta_2 x - \ln \beta_1 + 2)$. El punto de culminación de la

fase de adaptación al ambiente se encuentra igualando a cero la ecuación anterior, cuyo resultado es $x = \frac{\ln \beta_1 - 2}{\beta_2}$

Estos puntos de interés se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Curva de crecimiento sigmoideo y puntos de interés.



Fuente: Adaptado de Aguilar (2010).

La estimación del modelo se realizó mediante el procedimiento NLIN del software estadístico SAS que ajusta los modelos mediante diferentes métodos, en esta investigación se usó el método Marquardt (Pérez, 2001; SAS Institute Inc., 2015).

70 Para estimar curvas de crecimiento y costos de producción se sembró 20,000 alevinos con un peso promedio de 1 gr, registrando información de peso con una periodicidad quincenal, paralelamente se registró el consumo de alimentos y otros aspectos del manejo para determinar la estructura de costos y rentabilidad. Se usaron siete jaulas por un periodo de 289 días. El modelo matemático utilizado para estimar el crecimiento de truchas fue el modelo Logístico que tiene la siguiente forma:

$$Y = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 X}}$$

Donde Y es el peso (gr) a una determinada edad, es el peso adulto o peso a asintótico, es un parámetro de ajuste del modelo y, es la tasa de maduración, e es la base de los logaritmos naturales y X es la edad en días; este fue uno de los primeros modelos no lineales para describir y caracteriza el crecimiento animal con trayectoria sigmoidea que permite describir puntos de

El ciclo productivo para la evaluación de costos y rentabilidad se inició en enero de 2016 con la siembra de alevines. Los costos incluyen el sistema de anclaje, jaulas, mallas, y materiales piscícolas, provenientes de cuadros de depreciaciones con los detalles pertinentes en cada caso, además se incluyen el costo de los alevines, alimentos, y mano de obra.

III. RESULTADOS

Eficiencia alimentaria. Las tasas de crecimiento durante el periodo experimental, calculados mediante una regresión semilogarítmica (Gujarati & Porter, 2009), fueron: 9.45% (T2), 7.5% (T3), 6.25% (T4), 5.43% (T6) y 4.51% (T1). El análisis de varianza para el peso corporal mostró una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre los tratamientos, mientras que la prueba de Duncan ubicó al tratamiento T2 en primer lugar, T3 en segundo lugar y T4, T5 y T1 en tercer lugar sin diferencia estadística. El peso promedio

final alcanzado con T2 fue de $387.46^a \pm 61.58$ gr, T3 con $298.43^b \pm 49.78$ gr, T4 con $267.00^c \pm 48.86$ gr, T5 con $254.14^c \pm 38.17$ gr y T1 con $244.86^c \pm 39.21$ gr.

Para la longitud final, el análisis de varianza también mostró diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre los tratamientos; mediante la prueba de Duncan se encontró que la mayor longitud correspondió a T2 con $29.42^a \pm 1.29$ cm en primer lugar, T3 con $28.81^b \pm 1.20$ cm en segundo lugar y, T4 con $27.86^c \pm 1.34$ cm, T1 con $27.85^c \pm 1.11$ cm y T5 con $27.29^c \pm 0.98$ cm en tercer lugar, sin diferencia estadística.

La Tabla 1 resume las variables necesarias y el cálculo del FCA, los resultados de la última columna se interpretan como la cantidad de alimento (kg) necesario para convertir a 1.0 kg de trucha fresca; se observa en primer lugar al T2, seguidos por T3, T4, T5 y T1; las diferencias observadas se atribuyen a las características de las marcas de alimento.

Tabla 1. Ganancia de peso, alimento suministrado y tasa de conversión alimenticia.

Tratamiento	Peso final (gr)	Ganancia de peso promedio por individuo en el periodo (gr)	Ganancia de biomasa en el periodo (gr)	Alimento suministrado en el periodo (gr)	Tasa de conversión alimenticia (TCA)
T1	244.86	64.86	22506	42952	1.91
T2	347.86	167.86	58751	50924	0.87
T3	298.43	118.43	41451	46932	1.13
T4	267.00	87.00	29580	43294	1.46
T5	254.14	74.14	25949	43334	1.67

Fuente: elaborado por los investigadores en base a los datos obtenidos (2017).

La evaluación económica (Tabla 2) muestra que el T3 es el más eficiente ya que cada sol invertido en el alimento generó S/0.64 como beneficio económico; en

segundo lugar, se encuentra el T2 con un beneficio de S/0.36, luego siguen los tratamientos T4, T1 y T5 con beneficios menores.

Tabla 2. Evaluación económica

Tratamiento	Precio por tipo de alimento (soles por kg)	Costo total del alimento suministrado (S/)	Valor bruto de la ganancia de peso (S/)	Eficiencia económica
T1	4.20	180.40	225.06	1.25
T2	8.50	432.86	587.51	1.36
T3	5.40	253.44	414.51	1.64
T4	5.20	225.13	295.80	1.31
T5	5.21	225.77	259.49	1.15

Fuente: elaborado por los investigadores en base a los datos obtenidos (2017).

Curva de crecimiento. La estimación de los parámetros para cada grupo requirió seis iteraciones en todos los casos, observándose disminuciones considerables en la suma de cuadros de los residuales en las dos primeras iteraciones. Otra medida del criterio de convergencia que utiliza el procedimiento NLIN es la medida de compensación relativa R de Bates y Watts (1981) que

indica convergencia cuando esta medida es menor a 10^{-5} ; dicho valor fue inferior a 10^{-6} para los tres modelos estimados. Los errores estándar e intervalos de confianza muestran que los modelos estimados pueden ser utilizados con seguridad para hacer inferencias (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros estimados, errores estándar y límites de confianza por grupo de crecimiento.

Propiedades	Grupos de crecimiento		
	Cabeza	Núcleo	Cola
Parámetros			
β_0	1490.0	1149.9	794.6
Error estándar	164.9	105.0	71.5
Límite de conf. 95%	1165.8-1814.3	943.5-1356.4	654.0-935.2
β_1	141.6	138.1	112.8
Error estándar	9.40	8.39	7.05
Límite de conf. 95%	123.1-160.1	121.6-154.6	98.9-126.6
β_2	0.0168	0.0171	0.0167
Error estándar	0.000692	0.000638	0.000658
Límite de conf. 95%	0.0155-0.0182	0.0159-0.0184	0.0154-0.0180
R	5.165E-7	9.419E-7	1.298E-6

Fuente: elaborado por los investigadores en base a los datos obtenidos (2017).

La Tabla 4 muestra los puntos de interés calculados a partir de los modelos estimados, estos valores son los que caracterizan el crecimiento de cada grupo.

Tabla 4. Puntos de interés de la curva de crecimiento, por grupos.

	Grupos de crecimiento		
	Cabeza	Núcleo	Cola
Ecuación*	y=6.26x-1100.0	y=4.92x-841.7	y=3.32x-541.4
Punto de inflexión (día, gr)	(294.8;745.0)	(288.2;575.0)	(283.0;397.3)
Fin de fase Lag (días)	175.8	171.2	163.2
Peso al final de la fase Lag (gr)	177.6	137.1	94.7

* Tangente en el punto de inflexión

Fuente: elaborado por los investigadores en base a los datos obtenidos (2017).

Costos de producción. En la Tabla 5, se observa que la estructura de costos tiene un alto componente de costos variables, siendo el de mayor importancia los alimentos (78% del costo total), lo cual significa que el costo de producción es sensible a variaciones del precio de los alimentos, por lo que deben ser administrados eficientemente manteniendo la tasa de conversión alimenticia dentro de valores técnicamente recomendados (Gawa, et al. 2017). La mano de obra, representa aproximadamente el 10% del costo total y el costo de los alevinos representa el 7% del costo total.

Los costos fijos representan solo el 6% del costo total, lo que indica que en las condiciones actuales esta

tecnología utiliza el factor capital en baja proporción, siendo los más importantes las depreciaciones de los materiales piscícolas y las jaulas flotantes; además se ha incluido un rubro “otros” que resume la depreciación de los depósitos para alimentos y los gastos de administración en general.

En base al costo total y la producción total de trucha fresca, el costo unitario fue de S/8.39 por kg, mientras que el ingreso total fue calculado como el valor de venta de la producción total a precios del productor (S/10.00 por kg) en la ciudad de Puno. En consecuencia, el beneficio neto alcanzado fue de S/10,875.65 que representa una rentabilidad del 19.17%.

Tabla 5. Estructura de costos y rentabilidad.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (S./)	Total (S./)	%
COSTOS VARIABLES				53406.63	94.2
1. Adquisición de Alevinos	Alevinos	20000	0.20	4000.00	7.1
2. Alimento Balanceado					77.7
Preinicio (kg.)	Kg	15.0	10.80	162.00	
Inicio I (kg.)	Kg	199.8	6.80	1358.38	
Inicio II (kg.)	Kg	439.5	6.80	2988.56	
Crecimiento I (kg)	Kg	791.9	5.40	4276.13	

Crecimiento II (kg.)	Kg	1211.9	5.40	6544.44	
Engorde (kg)	Kg	3982.6	5.08	20231.83	
Alimento con pigmento (kg)	Kg	1468.2	5.80	8515.28	
3. Mano de obra					
Alimentación y cambio de mallas	Jornal	133.3	40.00	5330.00	9.4

COSTOS FIJOS				3317.73	5.8
4. Depreciaciones					
Sistema de anclaje	Mes	7	13.27	92.87	
Jaulas 5x5x1	Unidad	7	19.42	1087.33	
Jaula de 4x4x1	Unidad	1	8.56	68.44	
Bolsa-Malla 1/4"	Unidad	2	2.61	36.49	
Bolsa-Malla 1/2"	Unidad	2	1.86	25.99	
Bolsa-Malla 3/4"	Unidad	2	1.76	24.59	
Bolsa-Malla 1"	Unidad	4	1.41	39.38	
Bolsa-Malla 1 1/2"	Unidad	6	1.41	59.06	
Materiales para labores piscícolas	Mes	7	89.69	627.86	
Otros	-	-	-	1255.72	

COSTO TOTAL				56724.35
Resultados económicos				
Costo Unitario (S/. por Kg)				8.39
Ingreso Total (S/.)	Kg	6760	10.00	67600.00
Beneficio Neto (S/.)				10875.65
Rentabilidad (%)				19.17
Tasa de conversión alimenticia				1.19
Punto de Equilibrio				1580.16

Fuente: elaborado por los investigadores en base a los datos obtenidos (2017).

IV. DISCUSIÓN

Eficiencia biológica y económica. Los FCAs, además de mostrar diferencias estadísticas significativas, muestran valores en un rango amplio, entendido como diferencias sustanciales en la composición de cada marca de alimento. En el caso del T1, la poca eficiencia fue evidente porque se observó cúmulos de excretas de color blanquecino en el fondo de la malla; en el caso del T5, el crecimiento fue más homogéneo pero poca ganancia de peso vivo, contrario al T2 con mayor variabilidad, pero con las mayores ganancias de peso; el crecimiento de los peces depende de factores ambientales como las características del agua, la temperatura (Cárdenas, 2013), tipo de alimento, disponibilidad y ración de alimentos (Morales, 2004; Valverde, 2006), al evaluar diferentes marcas de alimentos bajo las mismas condiciones se muestra la eficiencia biológica que genera cada una de ellas.

En un sistema de producción de truchas en Faro - Pomata (Cárdenas (2013) también reporta diferencias estadísticas significativas en el FCA para tres dietas utilizadas: 1.1 para la dieta A, 1.34 para la dieta B y 1.19 para la dieta C; comparado con los resultados de

esta investigación se encuentran dentro de un rango menor. Según Cho (1992), los cálculos de alimento deben ser razonables para las diferentes condiciones de acuicultura porque una pobre eficiencia alimentaria genera desventajas económicas, siendo aceptable un FCA próximo a 1 (Austreng, Storebakken, & Asgard, 1986; FONDEPES, 2014)

En términos económicos, un alimento es eficiente si genera el mayor FCA, al menor costo posible, es el caso de la marca T3. Dado que existen grandes diferencias en el FCA, entre dietas y costo de los alimentos, el uso eficiente de los alimentos implica un impacto sustancial en el costo de producción (FONDEPES, 2014), por tanto, en la rentabilidad. Para la truchicultura intensiva con fines comerciales, el alimento representa el mayor costo operativo (Cárdenas, 2013; Cho, 1992; Morales, 2004), por lo que el uso de tablas de alimentación que proveen las empresas fabricantes pueden sobreestimar la cantidad de alimento (Negret, 1993). Los resultados de esta investigación pueden cambiar si varían los precios de los alimentos, por lo que es difícil definir un sistema óptimo y permanente para los truchicultores.

Curvas de crecimiento. Se buscó predecir el potencial de crecimiento bajo determinadas condiciones de cultivo y cría para estimar las necesidades de alimentación (Cho, 1992). La Tabla 3, muestra que el peso potencial a la madurez del grupo cabeza (1490 gr) es superior al grupo núcleo en 340 gr y superior al grupo cola en 695 gr, estas diferencias se deben a las tasas de crecimiento de cada grupo, que demuestra el crecimiento biológico diferenciado en los peces (Valverde, 2006). La estructura de conformación de los grupos de crecimiento depende de las condiciones de manejo (García & Zevillanos, 2004), para lograr el mayor incremento de peso, en el menor tiempo posible y la mayor rentabilidad (Mancini, 2002).

El modelo matemático estimado caracteriza adecuadamente el crecimiento de las truchas, aunque se observa cierta sobrestimación hasta los 45 días de crecimiento, posteriormente el error es bajo. El nivel de ajuste de los modelos fue de $R^2=97.87$, $R^2=98.22$, $R^2=98.01\%$, respectivamente.

Los puntos de interés derivados de las curvas de crecimiento muestran diferencias claras. Primero, la ecuación de la recta tangente a la curva de crecimiento en el punto de inflexión, tiene pendientes bien diferenciados, éstos representan el cambio del peso ocasionado por el transcurso del tiempo (); es relevante en el punto de inflexión y su intercepto con el eje X define la fase de adaptación de los peces al ambiente. Segundo, el periodo de adaptación al ambiente ocurre en promedio a los 170 días, pero esta fase culmina primero para el grupo cola (163 días), seguido por núcleo (171 días) y finalmente cabeza (176 días), observándose una diferencia de 13 días entre los grupos cabeza y cola. En este periodo, la tasa de crecimiento de peso y el consumo de alimentos es baja, consecuentemente el gasto en alimentos también.

Tercero, la fase de aceleración de la tasa de crecimiento, desde el final de la fase de adaptación al ambiente hasta el punto de inflexión, ocurre en promedio a los 288 días con una diferencia máxima de 13 días entre grupos, donde las diferencias de peso alcanzados por cada grupo muestran mayores diferencias, así la diferencia de peso entre los grupos cabeza y núcleo fue de 170 gr, mientras que entre los grupos cabeza y cola fue de 348 gr.

En general, una curva de crecimiento caracteriza el crecimiento (Orlindo, 2005; Ortega, 2000) de cierto grupo de peces bajo determinadas condiciones ambientales (Agudelo, Cerón, & Restrepo, 2007) y de manejo (Dominguez-Viveros et al., 2013) cuyos resultados sirven para planificar y mejorar la

performance de un sistema de producción en particular y de otros similares, evitando generalizaciones. Para el grupo de crecimiento cabeza, los puntos de interés son: a) la fase de adaptación al ambiente tiene una duración de 176 días en el que alcanzan un peso promedio de 178 gr, b) el punto de inflexión ocurre a los 295 días con un peso promedio de 745 gr, c) la tasa de crecimiento en el punto de inflexión fue de 6.26 gr por día, igual a la pendiente de la ecuación tangente a la curva de crecimiento en el punto de inflexión, d) el peso potencial estimado a la madurez es de 1490 gr, e) las tasas de crecimiento posteriores al punto de inflexión son menores, los que se verifican evaluando en la primera derivada de la curva de crecimiento.

Proyección del consumo de alimentos. Los métodos para predecir el manejo productivo de explotaciones acuícolas permiten caracterizar el crecimiento de los peces ya que este es un fenómeno complejo y de gran variabilidad biológica (Aguilar, 2010). Las curvas de crecimiento describen procesos funcionales de un sistema tecnológico para estimar el consumo de alimentos a lo largo del periodo de crecimiento. Según la FAO (2014), los alimentos deben contener cinco componentes básicos: proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales, mientras que la cantidad de alimento que se debe suministrar a cada grupo de truchas depende de la clase de alimento, la calidad del agua, temperatura, estado y tamaño de los peces. El cálculo final se hace en base a una tabla de alimentación que considera el peso y la temperatura del agua. Se hicieron tres estimaciones: uno a partir de la tabla propuesta por la FAO (2014), otra con un incremento de 25% sobre la estimación anterior, y una tercera a partir de una tabla correspondiente a un alimento comercial.

La estimación hecha con la tabla de alimentación de la FAO genera una TCA menor a 1, pero estos valores no se registran en la región de Puno, por lo que se hizo una segunda estimación incrementando un 25% sobre la primera estimación; los resultados mostraron una TCA media de 1.2, valor considerado aceptable para las condiciones de manejo actuales. La tercera estimación generó una TCA media ligeramente superior, lo que implica que la tabla de alimentación utilizada, no genera una sobre estimación.

Sin embargo, la principal utilidad de estos resultados es calcular la cantidad de alimento necesario para cierta cantidad de truchas. Basado en la segunda estimación, para 360 días de crecimiento y grupo de crecimiento cabeza, la cantidad necesaria de alimento hasta la culminación de la fase lag sería de 226 gr (12%), hasta el punto en el que una trucha alcanza 225 gr se requiere

278 gr (15%), hasta el momento en que se alcance un peso comercial de 330 gr se requiere 394 gr (21%), hasta un peso de 500 gr se requiere 605 gr (32%), hasta el punto de inflexión se requiere 988 gr (52%), y hasta los 360 días el requerimiento estimado es de 1907 gr.

Costos de producción y rentabilidad. Aunque el precio de los alimentos se mantiene con pequeñas variaciones en el tiempo, constituye un factor de alto riesgo económico porque representa cerca del 80% del costo total, por lo que las variaciones en el precio de los alimentos tendrían un impacto considerable sobre el beneficio neto y la rentabilidad (Sleiman, 2015). Un análisis de sensibilidad mostró que para un incremento del 10% en el precio de los alimentos, el beneficio neto se reduciría drásticamente en 41%; mientras que un incremento del 25% haría que esta actividad económica deje de ser rentable.

CONCLUSIONES

La evidencia empírica muestra que las cinco marcas de alimento generan TCA diferente atribuibles a su composición; solo dos marcas de alimento se aproximan al valor recomendado teóricamente, el T2 como el mejor, pero debido a su alto costo es menos eficiente económicamente que el T3.

Los modelos estimados caracterizan adecuadamente el crecimiento de las truchas, aunque con sobrestimación hasta los 45 días de crecimiento, posteriormente las diferencias entre los valores observados y estimados son pequeños por lo que explican eficazmente el crecimiento de las truchas bajo las condiciones ambientales y de manejo. Los puntos de interés caracterizan el crecimiento de cada grupo y posibilitan planificar y mejorar la performance de un sistema de producción.

El costo operativo más importante es el alimento, las variaciones de precio afectarían sustancialmente el costo de producción por lo que deben administrarse manteniendo una TCA dentro de valores recomendados técnicamente. Bajo las condiciones evaluadas, el costo unitario de producción fue de S/8.39 por kg, con una rentabilidad de 19.17%.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTO.

Esta investigación fue ejecutada gracias a los fondos de la Universidad Nacional del Altiplano provenientes del canon minero.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Agudelo, D., Cerón, M., & Restrepo, M. (2007). Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/>
- Aguilar, F. (2010). *Modelos matemáticos no lineales como herramienta para evaluar el crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* Var. *Chitralada*) alimentadas con dietas peletizadas o extruidas*. (Magister), Universidad Nacional de Bogotá, Bogotá D.C.
- Austreng, E., Storebakken, T., & Asgard, T. (1986). Growth rate estimates for cultured atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture*. https://www.researchgate.net/profile/Trond_Storebakken/publication/
- Bates, D. M., & Watts, D. G. (1981). Relative Curvature Measures of Nonlinearity (with Discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 42:1–25.
- Cárdenas, E. (2013). *Determinación del factor de conversión alimentaria para tres dietas alimentarias de truchas (*Oncorhynchus Mykiss*) y su relación con los parámetros de temperatura y pH en la zona de producción de Faro-Pomata, provincia de Juli región de Puno*. (Master en Ciencias), Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa - Perú.
- Carpio, E.E. y Tito, E. (2017). Escalas productivas y nivel de riesgo del productor de trucha, Puno-Perú. *Comuni@cción: revista de investigación en Comunicación y desarrollo*, Volumen 8, N° 2, pp. 81-93.
- Cho, Y. C. (1992). *Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements*. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Chura, R., & Mollocondo, H. (2009). Desarrollo de la acuicultura en el lago Titicaca (Perú). *Aquatic*, 31.
- Colin, P. (1999). *A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation*. *Annals of Botany*, 83: 713-723.

- Cowey, C. (1992). Nutrition: *Estimating requirements of rainbow trout*. Aquaculture, 100. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- Dominguez-Viveros, J., Rodriguez-Almeida, A., Nuñez-Dominguez, R., Ramizarez-Valverde, R., Ortega-Gutierrez, A., & Ruiz-Florez, A. (2013). Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos tropicarne. *Agrociencias*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a3.pdf>
- Gawa, S. et al., (2017). *Economic analysis of trout feed production in Jammu and Kashmir, India*. Journal of Applied and Natural Science 9 (4): 2385 - 2390. <https://www.researchgate.net/>
- FAO. (2014). *Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoiris*. Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FONDEPES. (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. <http://www.fondepes.gob.pe/>
- Garcia, B., & Zevillanos, R. (2004). *Manual de crianza de truchas en jaulas flotantes*. Puno - Perú: Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente - CIRNMA.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2009). *Econometría* (5ta. Edición ed.). Colombia: McGraw Hill.
- 76 Hasan, M. (2001). Nutrition and feeding for sustainable aquaculture development in the third millenium. Retrieved from <http://www.fao.org/documents/en/> website:
- León-Velarde, C., & Quiroz G., R. (1994). *Análisis de Sistemas Agropecuarios: Uso de métodos bio-matemáticos*. Puno-Perú: CONDESAN (CIP-CIID-CIRNMA).
- Mancini, M. (2002). Introducción a la biología de los peces. *Sitio argentino de producción animal*. Retrieved from www.produccion-animal.com.ar website:
- Morales, G. (2004). *Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en jaulas bajo diferentes regimenes de alimentacion*. (Ingeniero Agrónomo), Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Negret, E. (1993). El estado actual de la acuicultura en Colombia y perfiles de nutrición y alimentación. *La nutricion y alimentacion en la acuicultura de America Latina y el Caribe*. Retrieved from Depósito de documentos de la FAO website: <http://www.fao.org/documents/en/>
- Okumus, I. & Mazlum, M., (2002). *Evaluation of Commercial Trout Feeds: Feed Consumption, growth, feed, conversion, carcass composition and bio-economic analysis*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2: 101-107.
- Orlindo, L. (2005). Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural systems*. www.elsevier.com/locate/agsy
- Ortega, D. (2000). *Perfeccionamiento de la enseñanza de la Matemática en la carrera de Agronomía*. (Maestro en Ciencias), Cuba.
- Pérez, C. (2001). *El sistema estadístico SAS, The SAS System for Windows*. España: Prentice Hall.
- SAS Institute Inc. (2015). *SAS Stat(R) 14.1 User's Guide*. United States of America.
- Sleiman, M. (2015). *Evaluación de la eficiencia alimentaria para el criadero de truchas arco iris (Oncorhynchus mykiss) de Puelén, La Pampa*. (Ingeniero), Universidad Nacional de la Pampa, Argentina.
- Trinidad, A. (2014). *Modelos de crecimiento en biología, su significado biológico y selección del modelo por su ajuste*. (Maestro en ciencias), Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Uysal, I. & Alpbaz, A. (2002). *Food intake and feed conversion ratios in abant trout (Salmo trutta abanticus T., 1954) and rainbow trout (Oncorhynchus mykiss W., 1792) in pond culture*. Turk J Biol, 26. <https://www.researchgate.net/publication/>
- Valverde, W. (2006). *Guia técnica: Producción de truchas arco iris en jaulas flotantes*. Lima - Perú: Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero - FONDEPES.
- Weber, J. E. (1999). *Matemáticas para administración y economía* (M. M. A. Chu P., Trans. 4ta. ed.). Mexico: Oxford University Press.

Xinyou, Y., Jan, G., Egbert A., Jan, V., Huub, J.
(2003). *A flexible sigmoid function of determinate growth*. *Annals of Botany* 91: 361-371. www.aob.oupjournals.org.