



Determinación del factor de conversión alimentaria y crecimiento de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) bajo diferentes densidades y niveles de alimentación en estanques artificiales en Llaullini, La Paz

Determination of the food conversion factor and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under different densities and feeding levels in artificial ponds in Llaullini, La Paz

Rosario Rocio Colque García

RESUMEN :

El estudio se realizó, en Llaullini, La Paz, con el objetivo de evaluar el efecto de tres densidades de carga combinado con diferentes cantidades de alimento y los parámetros físico – químicos del agua, sobre el crecimiento y conversión alimenticia de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arco iris). Para ello se emplearon 600 truchas hembra en etapa de engorde – acabado con 150 días de edad, con $140 \pm 18,8$ g de peso, $21,5 \pm 0,97$ cm de longitud estándar, $3,50 \pm 0,10$ cm de longitud de cabeza, $4,33 \pm 0,10$ cm de altura corporal; los que fueron distribuidos en un DCA con 3 tratamientos, 3 repeticiones y cada unidad experimental con densidades de carga de: $0,61 \text{ kg/m}^3$ combinado con -15% de alimento; $1,43 \text{ kg/m}^3$ combinado con 100% de alimento y $2,05 \text{ kg/m}^3$ combinado con +15% de alimento, generando los tratamientos: T1, T2 y T3. Los resultados muestran que el T1 presentó velocidad de crecimiento en peso, conversión alimenticia, crecimiento en longitud, menor longitud de cabeza, mayor altura corporal y sobrevivencia: 1,67 g/día, 0,42, 0,12 cm/día, 0,16 cm, 0,59 cm y 92,2%, respectivamente, consumiendo 15,4 kg de alimento balanceado; entretanto, los peces en densidades mayores (T2 y T3) mostraron un mayor rendimiento con valores de 14,85 y 19,62 kg/m², respectivamente, consumiendo 42,4 kg (T2) y 67,2 kg (T3) de alimento. Cuando la temperatura del agua está por debajo de 10°C, los peces presentan mayor crecimiento. Finalmente, densidades menores con -15% de alimento reportan mayor crecimiento, mientras que densidades altas muestran mayor rendimiento económico.

PALABRAS CLAVE :

Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), crecimiento, factor de conversión alimenticia, densidades de carga, niveles de alimentación y parámetros físico-químicos.

ABSTRACT :

The study was carried out, in Llaullini, La Paz, with the objective of evaluating the effect of three loading densities combined with different amounts of food and the physical - chemical parameters of water, on the growth and nutritional conversion of *Oncorhynchus mykiss* (arc trout iris). For this, 600 female trout were used in the fattening stage - finished with 150 days of age, with $140 \pm 18,8$ g of weight, $21,5 \pm 0,97$ cm of standard length, $3,50 \pm 0,10$ cm of head length, $4,33 \pm 0,10$ cm body height; those that were distributed in a DCA with 3 treatments, 3 repetitions and each experimental unit with load densities of: $0,61 \text{ kg / m}^3$ combined with -15% of food; $1,43 \text{ kg/m}^3$ combined with 100% food and $2,05 \text{ kg/m}^3$ combined with + 15% food, generating treatments: T1, T2 and T3. The results show that T1 presented growth rate in weight, nutritional conversion, growth in length, shorter head length, greater body height and survival: 1,67 g/day, 0,42, 0,12 cm/day, 0,16 cm, 0,59 cm and 92,2%, respectively, consuming 15,4 kg of balanced feed; Meanwhile, fish in higher densities (T2 and T3) showed a higher yield with values of 14,85 and 19,62 kg/m², respectively, consuming 42,4 kg (T2) and 67,2 kg (T3) of feed . When the water temperature is below 10°C, the fish show greater growth. Finally, lower densities with -15% of food report higher growth, while high densities show higher economic performance.

KEYWORDS :

Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), growth, food conversion factor, load densities, feeding levels and physical-chemical parameters

AUTORES :

Rosario Rocio Colque García: Carrera de Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. rosario.colque1288@gmail.com

Recibido: 08/12/2019. **Aprobado :** 17/02/2020.

INTRODUCCIÓN

La pesca y la acuicultura son fuente de alimento, nutrición, ingresos económicos y medios de vida. Estimaciones de la FAO (2018) indican que la producción de salmónidos alcanzó

812 939 Tn. En Bolivia se estima que la producción de trucha es de 80 Tn/año (IDP-PACU, 2019).

En Bolivia la acuicultura solo refleja un alto potencial, desarrollándose la cría extensiva y

semi-intensiva de peces en jaulas y estanques artificiales, siendo en la cuenca del Altiplano, la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) las principales especies (FAO, 2014).

En Acuicultura, el cultivo de peces con propósitos comerciales enfrenta serios problemas relacionados al establecimiento al azar de diferentes densidades y niveles de alimentación en estanques artificiales y jaulas, lo cual tiene un efecto en el crecimiento y el factor de conversión alimenticia de los peces (Merino, 2010).

En Bolivia, existen pocos estudios sobre el efecto de diferentes densidades y niveles de alimentación en estanques artificiales y jaulas, sobre el crecimiento y la conversión alimenticia. El crecimiento y la conversión alimenticia dependen de varios factores, como: la densidad de carga, la cantidad de alimento y la temperatura del agua, que al final influyen sobre la producción (Cárdenas, 2013).

Llaullini, es conocida como punto para el desarrollo de investigaciones que permitan establecer las bases para el manejo técnico de animales en crecimiento. En este lugar, se realiza la cría de la trucha, cuyos factores relacionados con el manejo y ambientales para una producción optima, es aún desconocido (Subalcaldia-Zongo, 2017).

Así, el presente trabajo pretende determinar la conversión alimenticia de la trucha en etapa de engorde-acabado, y evaluar su crecimiento según parámetros físico-químicos del agua, densidad de carga, y cantidad de alimento suministrado (Subalcaldia-Zongo, 2017).

MARCO TEORICO

Crecimiento de la trucha arco iris

Para la comprensión del crecimiento de los peces, se realizó fórmulas matemáticas, que toman en cuenta el peso y la longitud del pez. En truchicultura, la Ganancia de Peso (*GP*) y la Ganancia de Longitud (*GL*) definen el crecimiento de los peces (Villenas, 2010).

Dos fórmulas básicas del *GP* y *GL* de la trucha arco iris han sido definidas como:

$$GP = Pf - Pi \quad (1)$$

$$GL = Lf - Li \quad (2)$$

Dónde:

- *Pf* es el peso promedio final de los peces,
- *Pi* es el peso promedio inicial de los peces,
- *Lf* es la longitud promedio final de los peces,
- *Li* es la longitud promedio inicial de los peces.

Las fórmulas (1) y (2) necesitan cuatro parámetros que pueden ser obtenidos en terreno: (1) peso inicial (*Pi*), (2) peso final (*Pf*), (3) longitud inicial (*Li*) y (4) longitud final (*Lf*) (Villenas, 2010). De estas fórmulas se puede inferir que más elevado el *Pf* o el *Lf* de un pez, más elevado es su ganancia en peso y/o longitud (Villenas, 2010).

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la *GP* y la *GL* son cifras que varían con las épocas del año, debido a que sus parámetros son dependientes de los parámetros físicos-químicos del agua. También de la cantidad de alimento suministrado y la densidad de carga, lo cual hace que las truchas no presenten la misma *GP* y *GL* que se refleja en su peso y longitud (Villenas, 2010).

Además, la *GP* y *GL* pueden combinarse en una fórmula para conocer la condición y estado de los peces:

$$FC = \frac{P*1000}{L} \quad (3)$$

Donde P es el peso y L es la longitud de la trucha. A continuación, se describe el valor del factor de condición de acuerdo con los valores calculados (Tabla 1) (Villenas, 2010):

Tabla 1. Factor de condición de acuerdo con los valores calculados.

Valor de FC	Condición	Estado del pez
Menor a 1	Baja calidad	Largos y flacos
Igual a 1	Calidad óptima	Proporcionados
Mayor a 1	Buena calidad	Bien alimentados

Existen también otras mediciones que nos ayudan a entender el crecimiento de la trucha arco iris, como, por ejemplo: la altura corporal (cm), la longitud de la cabeza (cm) y la relación peso – longitud que nos ayuda a conocer si los peces se están alimentando adecuadamente (Villenas, 2010).

Factor de conversión alimenticia (FCA)

La GP y la cantidad de alimento suministrado (AS) pueden combinarse en otras fórmulas, como el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) que nos permite conocer la cantidad de alimento necesario para convertir un kilogramo de carne (FONDEPES, 2014). Esta fórmula ha sido definida como:

$$FCA = \frac{GP}{AS} \quad (4)$$

Dado que una condición importante para la producción de trucha arco iris en etapa de engorde-acabado es la cantidad de alimento, para su cálculo se utilizó el método basado en la Tabla de alimentación de Leitritz (Anexos) (Villenas, 2010).

Porcentaje de sobrevivencia (S)

Se determinó la sobrevivencia a partir de la siguiente fórmula (FONDEPES, 2004):

$$S = \frac{NPf}{NPi} * 100 \quad (5)$$

Dónde:

- S es la sobrevivencia expresada en %,
- NPf es el número de peces final,
- NPi es el número de peces inicial.

Rendimiento de la producción

El rendimiento de la producción para cada tratamiento se calculó en kilogramos por metro cuadrado.

Análisis económico

El análisis económico del ensayo se realizó empleando la relación Beneficio/Costo, con el propósito de identificar los tratamientos que puedan otorgar beneficios por cada unidad monetaria invertido (Antezana, 2010).

$$B/C = \frac{\text{Ingresos percibidos}}{\text{Egresos totales}} \quad (6)$$

- B/C = Relación Beneficio / Costo

MATERIALES Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Llaullini (Latitud 16°11'S, Longitud 68°8'W, Altitud 3634 m.s.n.m), ubicada en el Distrito Rural Zongo del Municipio de Nuestra Señora de La Paz, en la provincia Murillo a 77 km al noroeste de la ciudad de La Paz (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la comunidad de Llaullini - La Paz. Fuente: Subalcaldía – Zongo.

Materiales

Se emplearon 600 truchas hembra en etapa de engorde - acabado con un peso inicial/trucha promedio de $140 \pm 18,8$ g, longitud estándar de $21,50 \pm 0,97$ cm, longitud de cabeza de $3,50 \pm 0,80$ cm y altura corporal de $4,33 \pm 0,10$ cm. Y los estanques rectangulares de $4,76 \times 2,44 \times 1,8$ m. Además de materiales para la medición: redes de pesca, termómetro, balanza, bañadores, alimento balanceado, cronometro, ictiometro y clavo de olor molido.

Medición del caudal y recambio del agua

El caudal del agua de ingreso a los estanques fue de 2,52 l/s, y el caudal de salida fue de 1,55 l/s. Y el recambio del agua, que es el tiempo que tarda en renovarse toda el agua de un estanque, presentó 12/día (NTP, 2014).

Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar el efecto de la densidad de carga con diferentes niveles de alimentación se

utilizó un diseño estadístico completamente al azar (DCA) (Ochoa, 2009):

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera.

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} = Error experimental.

La información se procesó mediante el análisis de varianza (ANVA) y cuando se evidenció diferencias significativas (5% de probabilidad), se realizó la prueba Duncan. Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico InfoStat/L, (2004).

El factor de estudio se basa en diferentes densidades de carga combinado con diferentes cantidades de alimento. Los cuales representan tres tratamientos con tres repeticiones, haciendo un total de 9 unidades experimentales:

T1: 30 peces ($0,61 \text{ kg/m}^3$) y -15% del alimento total calculado

T2: 70 peces ($1,43 \text{ kg/m}^3$) y 100% del alimento total calculado

T3: 100 peces ($2,05 \text{ kg/m}^3$) y +15% del alimento total calculado

El crecimiento de los peces fue evaluado cada 15 días. De cada estanque y de cada tratamiento, se capturó el 15% del total de las truchas con una red de mano, y para la medición corporal, los peces fueron tranquilizados en una solución acuosa de clavo de olor (García, 2010).

Variables de respuesta

- Ganancia de peso (g)
- Ganancia de longitud estándar (cm)

- Ganancia de longitud de cabeza (cm)
- Factor de conversión alimenticia

Además, se realizó el cálculo de los siguientes parámetros de crecimiento y productivos:

- Ganancia de la altura corporal (cm)
- Relación peso – longitud
- Factor de condición (FC)
- Efecto de los parámetros físico – químicos del agua
- Consumo de alimento (Kg)
- Rendimiento productivo (Kg/m²)
- Porcentaje de sobrevivencia (%)
- Análisis económico

Formulación del alimento

La formulación del alimento se estableció en base a la siguiente formula:

$$CR = \frac{PTP * VI}{100}$$

Para el cálculo se debe tener en cuenta el peso total de los peces (PTP) y el valor de Leitritz (VI) obtenido mediante la tabla de alimentación de Leitritz, (1980).

Las truchas fueron alimentadas dos veces al día, distribuyendo el alimento en diferentes puntos del estanque para evitar la competencia.

Medición de los parámetros físico – químicos del agua

A) Oxígeno

Una forma de determinar el nivel de oxígeno de las aguas del río es a través de la presencia o ausencia de los macroinvertebrados bentónicos (Ephemeropteros, Plecópteros y Trichopteros) los cuales son considerados como bioindicadores, así

como también estos organismos son el alimento natural de las truchas. Es por ello por lo que en el río Zongo se colectaron muestras de macroinvertebrados bentónicos en tres sitios a lo largo del río (Aguirre, 2011).

En cada sitio se muestreó según el método denominado “Kick Sampling”, en un área de 1,5 m², y con una red de mano de 250 µm de malla de apertura. Este método permite recolectar macroinvertebrados. El material colectado fue depositado en frascos de 500 ml, y conservado con etanol al 70% (Gutiérrez-Fonseca *et. al.*, 2016). Posteriormente fueron identificados hasta el nivel taxonómico posible, usando claves de Rocabado & Goitia (2011).

B) pH

Se realizaron mediciones del pH, por medio de equipos electrónicos portátiles.

C) Temperatura del agua

Los valores diarios de temperatura del agua de los estanques (°C) fueron medidos diariamente, en horas 6:00 am, 12:00 pm y 18:00 pm. El sensor era puesto dentro del estanque, donde se registró los valores correspondientes, calculándose valores promedio en un día de trabajo (Cazorla, 2011). Estos valores calculados fueron utilizados para: estudiar las relaciones con la ganancia de peso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ganancia de peso (GP) y ganancia de longitud estándar (GLE)

Los resultados del análisis de varianza nos indican que estas variables dependen de la densidad de carga y de la cantidad de alimento suministrado (p 0,0009). Siendo el coeficiente de variación de 5,58 %, lo cual indica que los

resultados estadísticos obtenidos son confiables. Y según la Prueba Duncan se determinó que el T1 presentó las mayores ganancias de peso y longitud estándar promedio de 25 g y 1,76 cm, seguido del T2 con 22 g y 1,65 cm y el T3 con 17,67 g y 1,35 cm (Anexo 2) (Fig. 2 y Fig. 3).

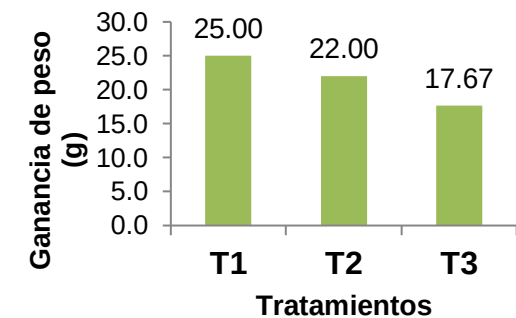


Figura 2. Ganancia de peso.

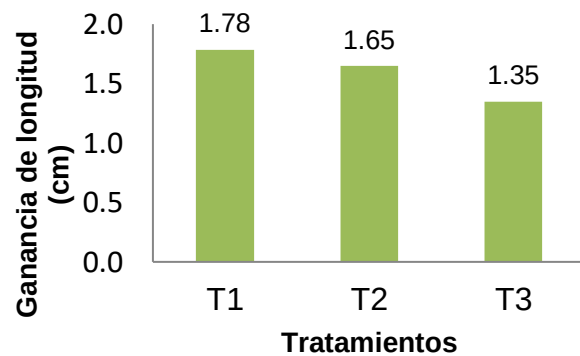


Figura 3. Ganancia de longitud estándar.

El crecimiento suele estar inversamente relacionado con la densidad de carga de peces en cultivo (Sánchez *et al.*, 2010). Cuando la densidad de carga es alta los peces durante la alimentación forman estructuras jerárquicas dominantes y algunos peces se posicionan en estratos superiores consumiendo una cantidad exagerada de alimento y crecen más rápido, mientras que otros al sentirse intimidados por el grupo o individuo dominante poco buscan el

alimento, lo cual implica una reducción en su crecimiento.

Jobling (1994), menciona al respecto, que esto representa un aumento adicional a la demanda energética, es decir, que el metabolismo de rutina y mantenimiento se vuelve prioridad antes que el crecimiento. Asimismo, cuando se presenta bajas densidades de carga, los peces no presentan estructuras jerárquicas, por lo cual todos los peces tienen acceso al alimento y el crecimiento se vuelve prioridad antes que el metabolismo de rutina y mantenimiento (Lindeman, 2010).

Asimismo, Jobling (1994) indica que proporcionar alimento por encima de la cantidad necesaria en altas densidades de carga favorece al desarrollo y crecimiento de los individuos dominantes. Por otro lado, cuando se proporciona bajas cantidades de alimento en reducidas densidades de carga se favorece a la ganancia de peso de las truchas siempre y cuando las aguas del río a través de la corriente arrastren macroinvertebrados (ephemeropteros, plecópteros, tricopteros) a los estanques, pues estos organismos se constituyen en un alimento natural continuo durante el día para las truchas, aparte del alimento balanceado. Obteniéndose de esta manera un crecimiento casi uniforme de los peces cultivados (Camargo JA, *et. al.*, 2011).

Relación peso – longitud estándar

Los resultados obtenidos nos indican que las truchas tuvieron un crecimiento alométrico negativo por los valores obtenidos de b que son menores a 3 (T1 b = 0,051; T2 b = 0,052 y T3 b= 0,066). (ver figura 4).

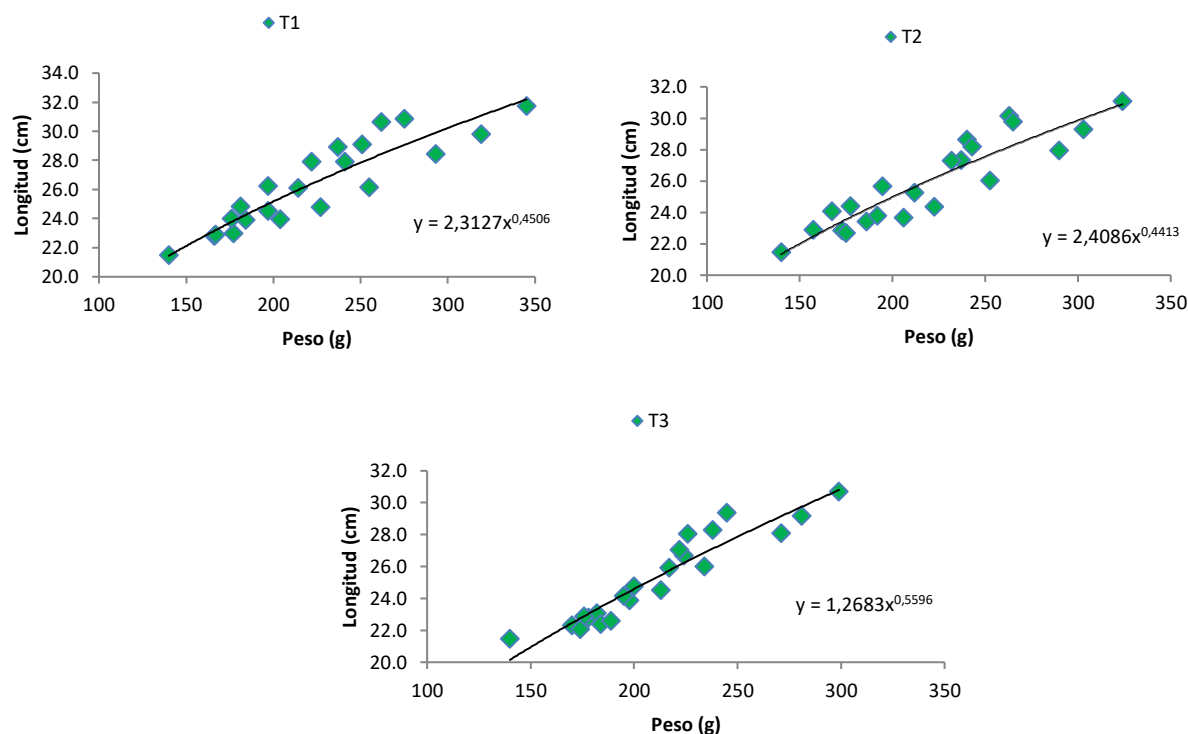


Figura 4. Relación peso – longitud de los peces.

Con respecto a la relación longitud-peso Santiago *et al.* (1997), encontraron un crecimiento alométrico positivo (>3) en *Salmo trutta*. Sin embargo, los resultados obtenidos en los tratamientos difieren con lo reportado anteriormente, por lo que las truchas presentaron un crecimiento alométrico negativo. Sin embargo, es importante destacar que los peces estudiados por Pérez-Mora (2015) fueron peces silvestres, por lo tanto, el crecimiento alométrico positivo debe ser el que describe a la especie en condiciones naturales, y el alométrico negativo es producto de las condiciones de cultivo.

Factor de condición (FC)

De forma general los valores obtenidos del factor de condición en los tratamientos indican el bienestar de los peces, siendo el T1 quien presentó una mejor condición con un FC de

8,50, seguido del T2 con 8,49 y T3 con 8,39 (Fig. 5).

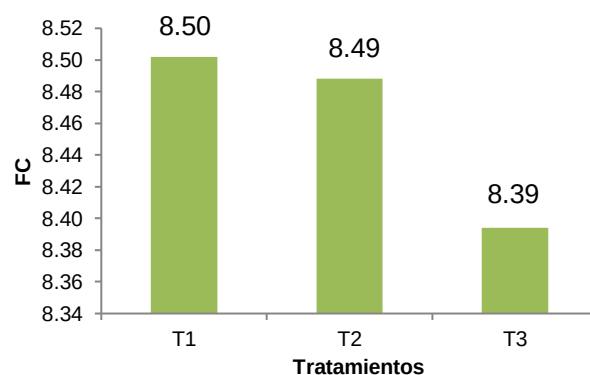


Figura 5. Factor de condición de la trucha.

Los valores de FC del T1 fueron superiores a lo encontrado por Imre *et al.*, (2010), quienes obtuvieron un $FC = 1,5$ con una baja densidad de carga de 50 peces/ m^3 en trucha arco iris y Wood (2012) quien logró $FC = 2,44$ y $2,55$ con altas densidades de carga de 90 peces/ m^3 y

150 peces/m³ respectivamente, lo cual se atribuye a que cuando los peces alcanzan su crecimiento máximo, y el espacio donde se encuentran se hace más pequeño, puede llegar a sobrepasar la capacidad permitida de 25 kg/m³ provocando stress en los peces lo cual se refleja en bajos FC.

Ganancia de longitud de cabeza (GLC)

Los resultados del análisis de varianza nos indican que esta variable depende de la densidad de carga y de la cantidad de alimento suministrado (p 0,0002). Siendo el coeficiente de variación de 12,24 %, lo cual indica que los resultados estadísticos obtenidos son confiables. Y según la Prueba Duncan se determinó que el T3 presento la mayor ganancia de longitud de cabeza promedio de 0,47 cm, seguido del T2 con 0,33 cm y el T1 con 0,16 cm (Anexo 2) (Fig. 6).

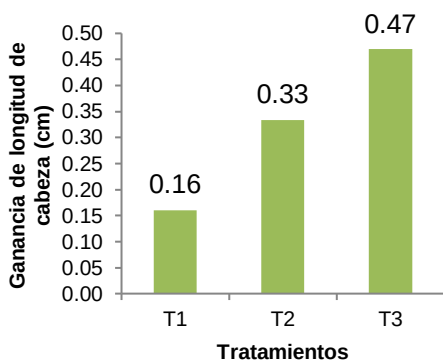


Figura 6. Ganancia de la longitud de la cabeza.

El aumento de tamaño del cerebro está involucrado tanto en la función motora como en la cognición espacial, es decir que es posible que esta región sea estimulada en un ambiente donde se requiera maniobrabilidad, por ejemplo, un ambiente con una alta densidad de carga (Burns JG, 2009). Estudios comparativos interespecíficos muestran que el cerebro es más grande en aquellos peces que muestran un comportamiento de natación más activo, con

mayor maniobrabilidad y agilidad (Yopak *et al.*, 2017).

Ganancia de la altura corporal (AC)

En la figura 7 podemos observar que la mayor altura corporal fue en el T1, con un valor de 0,59 cm, seguido del T2 con 0,48 cm, y el T3 con 0,38 cm.

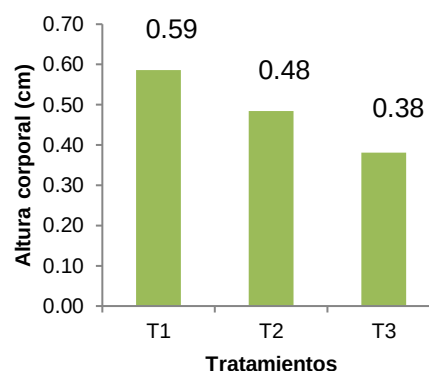


Figura 7. Ganancia de la altura corporal.

Al respecto, Braun (2010) menciona que los peces que se encuentran en condiciones adecuadas para su crecimiento (menor densidad de carga, buena alimentación, sin estrés) no se producen cambios en el metabolismo por lo que no hay alteración en el crecimiento, permitiendo la acumulación de biomasa en el cuerpo del animal. En cambio, cuando las condiciones no son adecuadas y existen factores que provocan el estrés en los peces, el metabolismo de rutina y mantenimiento se vuelve prioridad antes que el crecimiento y la acumulación de biomasa corporal (Moradyan *et al.*, 2012).

Efecto de los parámetros fisicoquímicos del agua

Oxígeno

De un total de 7262 macroinvertebrados evaluados y distribuidos en 19 taxa, la mayor

densidad estuvo representada por insectos con 6480 individuos comprendidos en 5 taxa, cuya densidad estuvo dominada por Baetidae, Leptophlebiidae (Ephemeroptera), Gripopterygidae (Plecóptera), Simuliidae, Chironomidae (Díptera). Los grupos restantes

correspondieron a otras taxa (no insectos). La mayor densidad de macroinvertebrados estuvo concentrada en el mes de octubre (68%), y decreció en diciembre (32%) debido a las variaciones de la precipitación.

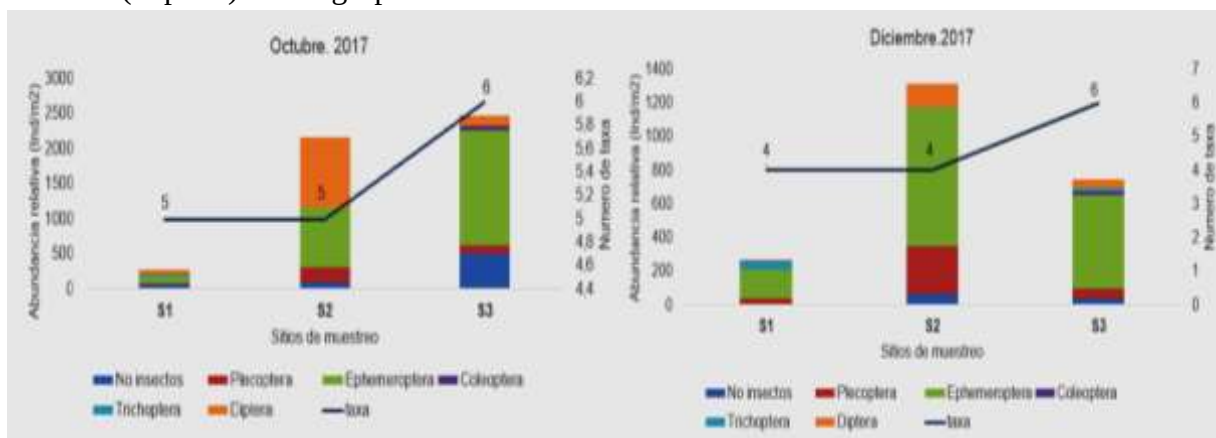


Figura 8. Distribuciones de la abundancia relativa y número de taxa de macroinvertebrados evaluados en octubre y diciembre 2017 en los sitios de muestreo.

De acuerdo con la mayor densidad de macroinvertebrados capturados podemos determinar que las aguas del río presentan buenos niveles de oxigenación, asimismo su abundancia explica la presencia de alimento natural para las truchas en los estanques, principalmente durante la época de lluvias (diciembre y enero). Estudios similares realizados en ríos de la región de la Cordillera Real, certifican con la presencia de las poblaciones de Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera la calidad de las aguas del río, pues el crecimiento de estos organismos requiere de aguas bien oxigenadas y limpias; por otro lado, se explica que los altos valores de los parámetros hidráulicos (descarga y velocidad del agua) durante la época húmeda, están relacionados con la baja densidad de macroinvertebrados, especialmente en los sitios ubicados ríos abajo (en los sitios 3, lo cual implica que estos organismos al ser arrastrados se encuentran en mayor proporción en los estanques como alimento

natural para las truchas) (Hatami, R. *et al.*, 2011, Camargo JA, *et al.*, 2011).

En cambio, durante la época seca, se observaron bajos valores en los parámetros hidráulicos relacionado con altas densidades (en especial las poblaciones de Ephemeroptera, Oligochaeta, Plecóptera) e incremento del número de taxa, sobre todo para los sitios inferiores. (Ab Hamid *et al.*, 2014, Benitez-Mora A *et al.*, 2014)

pH

El pH obtenido en el presente estudio fue de 6,8 parecido a lo reportado por Braun (2010) quien obtuvo un rango de 6,5-6,9.

Temperatura del agua

La variación de los valores de la temperatura del agua, se encontraron dentro del rango adecuado para la piscicultura: 8°C – 12°C, de acuerdo con Boyd (1990). (ver figura 9)

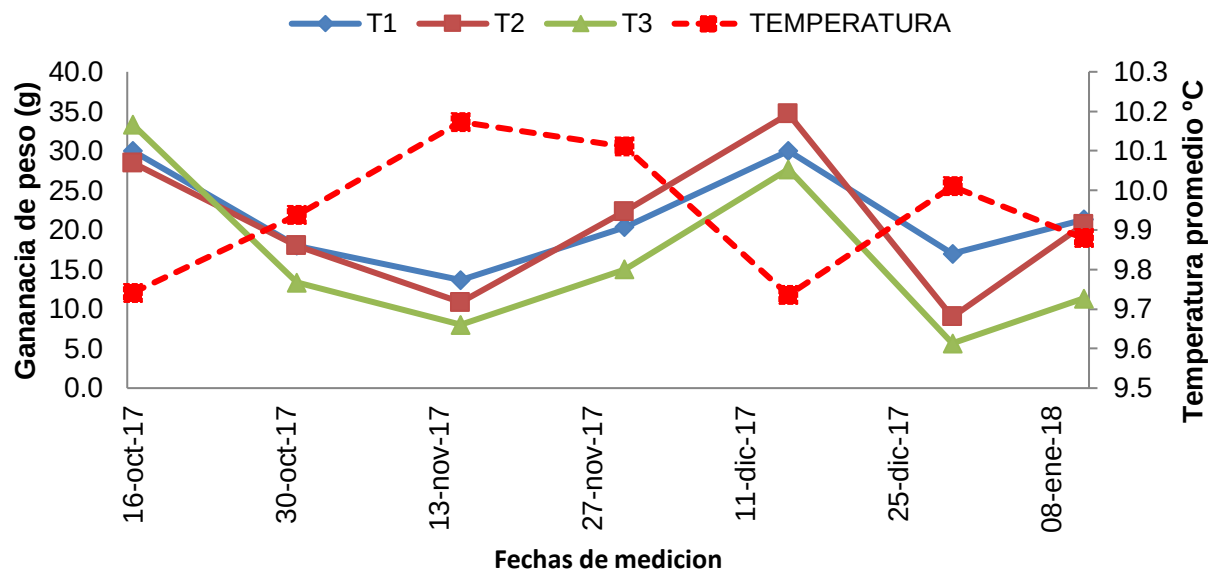


Figura 9. Relación entre la variación mensual de la ganancia de peso y la temperatura del agua.

Cazorla (2011) menciona que la temperatura del agua determina el nivel de ganancia de peso de los peces. Es decir, cuando la temperatura del agua alcanza un valor por debajo de 10°C, aumenta la ganancia de peso, lo cual es muy favorable para la producción. En cambio, cuando la temperatura del agua alcanza valores altos por encima de los 11°C, ocasiona el incremento del gasto energético, entonces disminuyen las ganancias de peso en los peces.

Los resultados demostraron una mejor conversión alimentaria en la eficiencia del crecimiento a 8°C en comparación con 11°C (aumento de peso y catabolismo similar, a pesar de que la ingesta de alimento fue mayor a 11°C). Además, la ganancia de longitud fue mayor a 8°C. Resultados similares para otro salmónido fueron encontrados por Malzahn et al. (2003) quienes destacaron el fenómeno de hiperplasia que conduce a los peces a un incremento en el crecimiento en longitud en aguas más frías. Por ello Flores y Yapuchura (2016) recomiendan hacer el monitoreo de la temperatura con el

propósito de predecir el crecimiento y la tasa alimenticia de los peces.

Consumo de alimento

En la figura 10 podemos observar que el mayor consumo de alimento fue en el T3, con un total de 67,2 kg, seguido del T2 con un total de 42,4 kg, finalmente el T1 con un total de 15 kg.

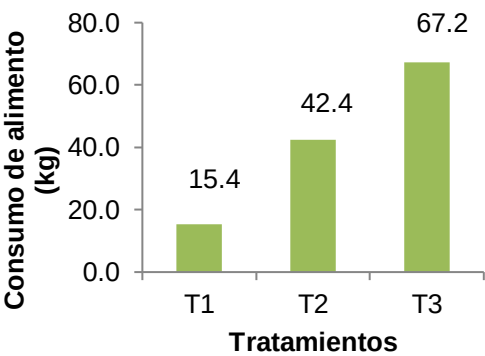


Figura 10. Cantidad de alimento utilizado para cada tratamiento.

Sillerico, (2010), en el municipio de Copacabana realizó una encuesta para determinar el tipo y la cantidad de alimento suministrado con

más frecuencia a las truchas, y obtuvo los siguientes resultados: el 37% de los encuestados señalaron haber proporcionado ispi (*Orestias ispi*) como alimento para las truchas, el 30% manifestó suministrar alimento balanceado y el 17% hace una combinación entre estos dos insumos (ispi y balanceado).

La alimentación basada en una especie íctica nativa muy valiosa en el Lago Titicaca como es el ispi tiene origen en que el alimento balanceado, para truchas tiene costos muy altos, por lo que el comunario busca un insumo que pueda reemplazar y que no pueda significar una erogación económica importante, y esta forma de manejo de crianza de trucha ha empezado incentivar una pesca indiscriminada de esta especie que además puede tener consecuencias negativas en la fauna íctica del lago.

Factor de conversión alimenticia (FCA)

Los resultados del análisis de varianza nos indican que esta variable depende de la densidad de carga y de la cantidad de alimento suministrado ($p\ 0,0001$). Siendo el coeficiente de variación de 15,22 %, lo cual indica que los resultados estadísticos obtenidos son confiables. Y según la Prueba Duncan se determinó que el T1 presento el mayor FCA promedio de 0,42, seguido del T2 con 0,15 y el T3 con 0,10. (Anexo 2 y Ver figura 11)

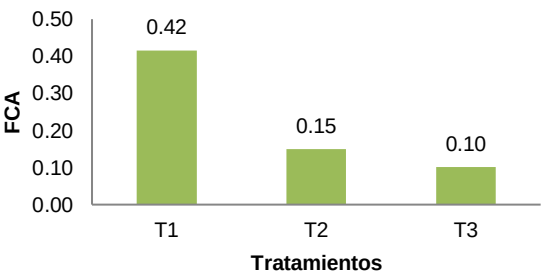


Figura 11. Factor de conversión alimenticia.

Morales, (2014), indica que los peces deberían presentar un FCA de 1,2 a 1,8. En comparación con nuestros resultados, afirmamos que no se encontraron dentro de los intervalos mencionados por la bibliografía citada. Por ejemplo, en la región del lago Titicaca el CIDAB (2003), cuenta con estudios de conversión alimenticia para la trucha arco iris, realizada en base a la proporción de alimento, temperatura promedio (12 y 14 °C) y buena calidad del agua, dando como resultado que para producir 1 kg de carne de trucha se requiere de un aproximado de 1,4 kg de alimento.

Por su parte, CIDAB (2003), argumenta que cuando se reduce la conversión alimenticia en los peces, se aumenta considerablemente las ganancias netas, esto se debe a que, al bajar la conversión, por ejemplo, de 1,3 a 1, se está reduciendo la cantidad de alimento. Pero estos valores bajos de conversión solo se pueden conseguir con una buena administración, es decir, buena calidad de alimentación, frecuencia de alimentación, disponibilidad de agua, limpieza, etc.

Porcentaje de sobrevivencia (S)

Durante el periodo de estudio, los porcentajes de sobrevivencia superaron el 90%, observándose algunas mortalidades, debido posiblemente, al estrés por el manipuleo en los muestreos (Figura 12).

Resultados similares fueron obtenidos por Montesinos (2014) quien obtuvo una sobrevivencia satisfactoria en el T1 obteniendo un promedio de 94,54 % en comparación con T2 = 92,71%, y T3 = 89,96 % durante 100 días de cultivo, con similares densidades de carga.

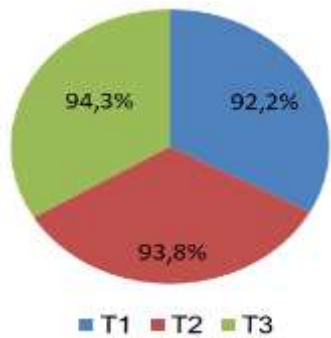


Figura 12. Porcentaje de sobrevivencia.

Los valores máximos obtenidos en los resultados del porcentaje de sobrevivencia en los estudios observados se atribuyen a que los peces sembrados han sido fortalecidos con alimento de alto contenido proteico. Además, se considera que estos valores están relacionados con la rusticidad y adaptabilidad al medio de los peces (López, J *et al.*, 2015).

Rendimiento de la producción

Los valores de rendimiento productivo (kg/m²) registrados para el estudio fueron de 6.47 kg/m² para el T1; 14,85 kg/m² para el T2 y 19,62 kg/m² para el T3 (Figura 13).

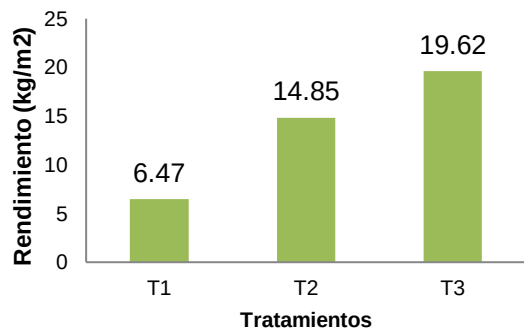


Figura 13. Rendimiento productivo de la trucha arco iris

Al respecto Wood, J, *et. al.*, (2012), indica que las diferencias en el rendimiento se deben a las densidades de carga establecidas, es decir, que el rendimiento potencial máximo es más alto en aguas con mayor capacidad de carga por unidad,

dado que el rendimiento aumenta, con un incremento en la densidad, cuando la tasa de crecimiento no es afectada por la población

Asimismo, Moradyan *et. al.*, (2012) indican que, el menor rendimiento de crecimiento de la trucha arco iris exhibido en una densidad de carga más alta podría haber sido causado por el gasto de energía debido a la intensa interacción conductual antagónica, la competencia por la comida y el espacio vital y el aumento del estrés.

Análisis económico

En la figura 14 se puede observar que el T1 presenta un beneficio/costo de 1,17 bs, llegando a ser el tratamiento con menos beneficio económico, sin embargo, se considera a este tratamiento como rentable. El T2 obtuvo un beneficio/costo de 1,68 bs, lo cual significa que este tratamiento es rentable. El T3 muestra el mayor beneficio/costo con un valor de 1,70 bs, lo cual se considera también como un tratamiento rentable.

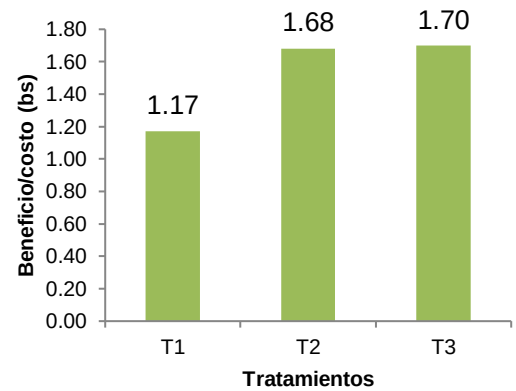


Figura 14. Análisis económico de la producción de trucha arco iris en etapa de engorde – acabado.

Sillerico, (2010), menciona que la crianza de truchas en el municipio de Copacabana – La Paz, no reporta márgenes de beneficio/costo de acuerdo con la inversión realizada. Es así como

con una siembra inicial de 1000 alevines en una jaula de 16 m², al cabo de un año alcanzan un peso de 180 g/individuo, haciendo un total de 180 kg, lo cual ofertado en el mercado, se obtiene un ingreso económico de 3060 bs, lo que solamente cubre la compra de 9,5 qq de alimento balanceado en 2850 bs.

Sin embargo, en la comunidad de San Pablo de Tiquina se encontró, que la rentabilidad económica para la relación B/C se encuentra entre 1,09 y 1,15, amplio rango que se explica por el tipo de inversión, volúmenes de producción, manejo y precios de los insumos, la cual se interpreta que durante la vida útil del proyecto se recuperara la inversión realizada y se obtendrá además un beneficio neto, indicando que la inversión es viable y rentable (Flores, 2017).

Asimismo, Flores, (2017) indica que la sostenibilidad económica de la actividad se sustenta en la existencia de disponibilidad de alimento balanceado, piscicultores con ciertos conocimientos técnicos que tienden a la piscicultura como principal actividad económica, el desarrollo inicial del mercado local y la existencia de potenciales mercados extra regionales.

CONCLUSIONES

En la localidad de Llaullini se evaluó durante tres meses el crecimiento de la trucha arco iris en etapa de engorde acabado en estanques artificiales.

El T1 presento mejores ganancias de crecimiento, pues los peces llegaron a obtener un peso de 25 g, la longitud estándar de 1,78 cm, la longitud de la cabeza de 0,16 cm, la altura corporal de 0,59 cm y un FCA de 0,42.

Consumiendo en total 15,4 kg de alimento balanceado.

El T2 presentó ganancias de crecimiento intermedio, llegando a obtener un peso de 22 g, la longitud estándar de 1,65 cm, la longitud de la cabeza de 0,33 cm, la altura corporal de 0,48 cm y un FCA de 0,15. Consumiendo 42,4 kg de alimento balanceado.

El T3 presentó ganancias de crecimiento regular pues llegaron a obtener un peso de 17,67 g, la longitud estándar de 1,35 cm, la longitud de la cabeza de 0,47 cm, la altura corporal de 0,38 cm y un FCA de 0,10. Consumiendo 67,2 kg de alimento.

La variación en el crecimiento se debe a la densidad de carga, cantidad de alimento y la temperatura del agua. En este estudio cuando la densidad de carga es baja (0,61 kg/m³) combinado con una baja cantidad de alimento (-15%) y una temperatura del agua por debajo de 10°C se obtiene un buen crecimiento y una buena conversión del alimento.

El análisis económico nos muestra que el T3 presento mejores beneficios económicos (B/C = 1,70 bs) debido al mayor rendimiento producido (19,62 kg/m²), seguido del T2 (B/C = 1,68 bs) con un rendimiento de 14,85 kg/m² y el T1 (B/C = 1,17 bs) con un rendimiento de 6,47 kg/m².

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguirre, J. (2011). Validación de los indicadores biológicos (macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay. Tesis pregrado. Universidad Politécnica Salesiana: Sede Cuenca, Ecuador. Pp 135-140.

- Antezana, F. (2010). *Apuntes de Avicultura*. Universidad Mayor de San Andrés: La Paz - Bolivia. Pp.13.
- Braun, N., Lima, L., Baldisserotto, B., Dafre, A., & Nuñez, A. (2010). Growth, biochemical and physiological responses of *Salminus brasiliensis* with different stocking densities and handling. *Aquaculture*. 301, Pp.22-30.
- Burns, J., Saravanan, A., & Rodd, F. (2009). Rearing environment affects the brain size of guppies: lab-reared guppies have smaller brains than wild-caught guppies. *Ethology*, 115: Pp.122–133.
- Camargo, J., Gonzalo, C., & Alonso, A. (2011). Assessing trout farm pollution by biological metrics and indices based on aquatic macrophytes and benthic macroinvertebrates: A case study. *Ecol Indic*, 11: Pp. 911–917.
- 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. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín: Arequipa - Peru. Pp 21-25.
- Cazorla, J. (2011). Manual de buenas prácticas en truchicultura ecológicamente sostenible. Ed. Mundi España. Pp.75.
- CIDAB. (2003). *Manual de Reproducción Artificial de Trichomycterus sp. dispar y Trichomycterus sp. rivulatus*,. Pp. 60.
- FAO. (2014). Informe del Primer Encuentro de Intercambio de Experiencias en Unidades Demostrativas para Acuicultores de Recursos Limitados en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. Chile. Pp 23-27.
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma, Italia. Pp.1-8.
- Flores, E., & Yapuchura, A. (2016). Formación de clústers de productores de trucha y la articulación con el mercado objetivo en la región de Puno – Perú. *ISSN 2219-7168. V.7, N.1.*, Pp.23-35.
- Flores, N. (2017). Evaluación económica de la producción de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas, en el municipio de San Pedro de Tiquina, del Lago Titicaca - La Paz. *Tesis de maestría: Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz-Bolivia*, Pp. 117.
- FONDEPES. (2004). *Fondo Nacional De Desarrollo Pesquero. Proyecto de apoyo al Desarrollo del sector Pesca y Acuicola del Perú- PADESPA*. Peru: Pp 115.
- FONDEPES. (2014). *(Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. Peru. Pp.21-25.
- García, A., Gutiérrez, M., Rentería, M., & Bustamante, J. (2010). Mentol, esencia de clavo y benzocaina como anestésicos en la manipulación de crías de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *J. D. (n.d.)*, 150. Pp.210-212.
- Gutiérrez-Fonseca, P., & Ramírez, A. (2016). Ecological evaluation of streams in Puerto Rico: major threats and evaluation tools. *Hidrobiológica*, 26(3), Pp.433-441.
- Imre, I., Grant, J., & Cunjak, R. (2010). Density-dependent growth of young-of-the-year

- Atlantic salmon (*Salmo salar*) revisited. *Ecology of Freshwater Fish*, 19: 1-6.
- IPD-PACU. (2019). Centro de producción piscícola Tiquina. *Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras*, La Paz-Bolivia. Pp.1.
- Jobling, M. (1994). Fish bioenergetics. Chapman & Hall. London. GB: Pp.210-215.
- Leitritz, R.E.; Lewis, C.; (1980). Trout and Salmon Culture. *California Fish*, In. Bulletin Number 164. Univ. of California, Berkeley. California. Pp 197.
- Lindeman, A. (2010). Effects of arrival synchrony and population density on territory size and growth rate in salmonids. *Tesis de maestría. Universidad de la Concordia Montreal*, Pp. 98.
- López, J., & Lora, V. (2015). Policultivo en tres densidades de siembra de *Colossoma macropomum* “Gamitana” y *Oreochromis* spp. (*O. niloticus* Var. Stirling x *O. aureus*) “Tilapia híbrida” en un sistema intensivo. *Tesis de grado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Peru.*, Pp. 67.
- Malzahn, A., Clemmesen, C., & Rosenthal, H. (2003). Temperature effects on growth and nucleic acids in laboratory-reared larval coregonid fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 259: Pp. 285–293.
- Merino, M. C. (2010). Colombia: Producción y variedad piscícola. *INFOPESCA*, 30.
- Moradyan, H., Karimi, H., Gandomkar, H., Sahraeian, S., Ertefaat, S., & Sahafi, H. (2012). The effect of stocking density on growth parameters and survival rate of Rainbow trout alevins (*Oncorhynchus mykiss*). *World J. Fish and Marine Sci.*, 4 (5): Pp. 480-485.
- Morales, G. (2014). *Crecimiento y eficiencia alimentaria de truchas “arco iris” (Oncorhynchus mykiss) en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación*. Tesis de grado. Facultad de Agronomía: Universidad de Buenos Aires. Argentina. Pp.51.
- NTP. (2014). Norma Técnica Peruana 320.004. Acuicultura. Buenas Prácticas acuícolas en la producción de truchas arco iris. 2da edición: INDECOPI. Peru. Pp.12-15.
- Ochoa, R. (2009). *Diseños Experimentales*. La Paz - Bolivia. Pp. 388.
- Pérez-Mora, E. (2015). Biología alimentaria y reproductiva de la tenguayaca *Petenia splendida* (Günther, 1862) en la Presa Nezahualcóyotl, Malpaso, Chiapas. *Tesis de grado. Escuela de Biología. UNICACH. Mexico*, Pp. 52.
- Rocabado, G., & Goitia, E. (2011). Guía para la evaluación de la calidad acuática mediante el índice BMWP/Bol. Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Bolivia, Pp. 84.
- Sanchez, P., Ambrosio, P., & Flos, R. (2010). Stocking density and sex influence individual growth of Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 300, 93-101.
- Santiago, L., Jardón, O., Jaramillo, G., Reyes, J., & Sanchez, A. (1997). *Edad, crecimiento y hábitos alimenticios de Cichlasoma salvini (Günther), Cichlasoma urophthalmus (Günther), Oreochromis niloticus (Linneo) y Petenia splendida (Günther)*. Memorias del V Congreso nacional de Ictiología: Mazatlan, Sinaloa. Pp.38.

- Sillerico, G. (2010). Propuesta de un modelo integral sustentable de producción agropecuaria intensiva para las comunidades del municipio de Copacabana. *Trabajo dirigido. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia*, Pp. 97.
- Subalcaldia-Zongo. (2017). *Produccion piscicola en estanques, distrito rural Zongo Municipio de La Paz*. La Paz-Bolivia.Pp 134.
- Villenas, J. (2010). *Criterios Técnicos y Sanitarios Para La Crianza De Truchas En Jaulas Flotantes*. Imprenta Arcoiris E.I.R.L: Puno-Perú.Pp. 29-56.
- Wood , J., Grant , J., & Belanger, M. (2012). Population density and territory size in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: implications for population regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69: Pp. 1121-1128.
- Yopak , K., Pakan , J., & Wylie , D. (2017). The cerebellum of nonmammalian vertebrates. *Striedter G (ed) Evolution of nervous systems*, 1:Pp. 373–385.

ANEXOS



Figura 15. Presencia de macroinvertebrados en el río y otros procesos.

Determinación del factor de conversión alimentaria y crecimiento de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) bajo diferentes densidades y niveles de alimentación en estanques artificiales en Llaullini, La Paz.



Figura 16. Visita de comunarios al centro piscícola Llaullini.

Tabla 2. Tabla de Leitritz.

Peso Trucha (gr.)	0,18	0,18	1,5	5,1	12	23	39	62	92	130	180
		1,50	5,1	12	23	39	62	92			250
Talla Trucha (cm)	2,5	2,5	5,0	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
T °C		5,0	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	30
2	2,6	2,2	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
3	2,8	2,3	1,8	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4
4	3,1	2,5	2,0	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
5	3,3	2,7	2,2	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
6	3,6	3,0	2,4	1,9	1,5	1,2	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6
7	3,9	3,2	2,6	2,0	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7
8	4,2	3,5	2,8	23,2	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7
9	4,5	3,8	3,1	2,4	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8
10	4,9	4,2	3,3	2,6	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8
11	5,3	4,5	3,6	2,8	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9
12	5,7	4,8	3,9	3,0	2,3	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
13	6,2	5,2	4,2	3,2	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,1	1,1
14	6,7	5,6	4,5	3,5	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,2	1,2
15	7,2	6,0	4,9	3,8	2,8	2,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,3
16	6,7	5,6	4,5	3,5	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,2	1,2
17	6,2	5,2	4,2	3,2	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,1	1,1
18	5,7	4,8	3,9	3,9	3,0	2,3	1,8	1,4	1,2	1,1	1,0

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 3. Ganancia de Peso (GP).

F.V	SC	GL	CM	F-VALOR	p – VALOR
Tratamiento	81,56	2	40,78	28,23	0,0009 **
Error	8,67	6	1,44		
Total	90,22	8			

Coeficiente de variación 5,58%.

Tabla 4. Prueba Duncan.

Tratamientos	Medias (g)	n	E.E	
T1	25,00	3	0,69	A
T2	22,00	3	0,69	B
T3	17,67	3	0,69	C

Tabla 5. Ganancia de Longitud Estándar (GLE).

F.V	SC	GL	CM	F-VALOR	p – VALOR
Tratamiento	0,30	2	0,15	9,55	0,0136 **
Error	0,09	6	0,02		
Total	0,39	8			

Coeficiente de variación 7,86 %.

Tabla 6. Prueba Duncan.

Tratamientos	Medias (cm)	n	E.E		
T1	1,78	3	0,07	A	
T2	1,65	3	0,07	A	
T3	1,35	3	0,07		B

Tabla 7. Ganancia de Longitud de Cabeza (GLC).

F.V	SC	GL	CM	F-VALOR	p – VALOR
Tratamiento	0,14	2	0,07	46,88	0,0002 ***
Error	0,01	6	1,5E-0,3		
Total	0,15	8			

Coeficiente de variación 12,24%.

Tabla 8. Prueba Duncan.

Tratamientos	Medias (cm)	n	E.E		
T3	0,47	3	0,02	A	
T2	0,33	3	0,02		B
T1	0,16	3	0,02		C

Tabla 9. Factor de conversión alimenticia (FCA).

F.V	SC	GL	CM	F-VALOR	p – VALOR
Tratamiento	0,17	2	0,09	74,19	0,0001 **
Error	0,01	6	1,2E-03		
Total	0,18	8			

Coeficiente de variación 15.22%.

Tabla 10. Prueba Duncan.

Tratamientos	Medias	n	E.E		
T1	0,42	3	0,02	A	
T2	0,15	3	0,02		B
T3	0,10	3	0,02		B