

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE PESQUERIA



**“PLANIFICACION Y MANEJO DE LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
DE TRUCHA ARCOÍRIS EN LA LAGUNA CHOCLOCOCHA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO PESQUERO**

JOSÉ CARLOS MORALES BERMÚDEZ HERNÁNDEZ

LIMA – PERÚ

2020

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art.24 –
Reglamento de propiedad intelectual)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE PESQUERÍA
“PLANIFICACION Y MANEJO DE LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL
DE TRUCHA ARCOÍRIS EN LA LAGUNA CHOCLOCOCHA”**

Presentado por:

JOSÉ CARLOS MORALES BERMÚDEZ HERNÁNDEZ

Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título de:

INGENIERO PESQUERO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg.Sc. Jessie Vargas Cárdenas
Presidente

Dr. Jaime Humberto Mendo Aguilar
Miembro

M.Univ. Cesar Abraham Cruz Castellón
Miembro

M.Univ. Fernando Santiago Galecio Regalado
Asesor

Lima, 2020

A mi familia y mi novia por su constante e incondicional apoyo y motivación en realizar mis metas.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres que toda mi vida quisieron verme profesional y exitoso además por su gran apoyo en la realización de todas mis metas
- A mi novia Rosana por su motivación constante y ayuda en todo lo que me he propuesto a realizar en mi vida.
- Al querido profesor Fernando Galecio quien me asesoró en la realización de este trabajo.
- A mi amigo Marco por su amistad desinteresada y por siempre estar ahí cuando necesitaba un buen consejo y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

I.	PRESENTACIÓN.....	5
II.	INTRODUCCIÓN.....	6
III.	OBJETIVOS	7
3.1.	Objetivo general.....	7
3.2.	Objetivos específicos.....	7
IV.	DESARROLLO DEL TRABAJO.....	8
4.1.	Funciones desarrolladas.....	8
4.2.	Aspectos aprendidos y puestos en práctica	10
4.3.	Propuesta para la solución de problemas encontrados.....	11
4.4.	Análisis de la propuesta	22
4.5.	Beneficio obtenido mediante la contribución propuesta	24
V.	CONCLUSIONES	26
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

I. PRESENTACIÓN

Por medio de la presente hago entrega de una memoria descriptiva para optar el título profesional de Ingeniero Pesquero mediante la modalidad de ‘‘Trabajo de suficiencia profesional’’, la cual describe el trabajo realizado durante los años 2017 – 2019 en una empresa productora de trucha a nivel industrial; siendo el cargo desempeñado el de asistente de producción en la etapa de alevinaje.

Las funciones realizadas dentro de la empresa fueron:

- Planificar las tareas diarias de selección de peces, alimentación de las unidades productivas, extracción de mortalidad y movimiento de jaulas, en base a las metas a cumplir por mis superiores.
- Hacer seguimiento y supervisar que los operarios de producción cumplan con el plan de trabajo entregado.
- Actualizar la información en el sistema de control y reportar diariamente a mis superiores la información de porcentaje de cumplimiento de alimentación, porcentaje de mortalidad extraída y alcances de trabajos de manejo en la producción (selección de peces, desdobles de jaulas, muestreos, movimientos de peces, etc.)

Cada una de las funciones desempeñadas estuvieron ligadas propiamente al cultivo industrial de trucha y el fomento de la acuicultura en el Perú siendo este uno de los valores que fueron inculcados durante los estudios de pregrado.

Los estudios profesionales realizados en la Universidad Nacional Agraria La Molina ayudaron a poner en práctica los conocimientos adquiridos, de esta manera ser un engranaje clave en la realización correcta de las tareas de cultivo industrial de trucha en la empresa. Además de las contribuciones que se dieron mediante análisis estadísticos como el que se explica en este trabajo.

Espero que la descripción de este trabajo y el análisis desarrollado sirvan de interés y ayuda a otros colegas en el sector.

II. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se describe la experiencia en una empresa que tiene como actividad la producción industrial de trucha arcoíris en la laguna de Choclococha. Así mismo se explicará el aporte profesional a la problemática en la que se encontraba la empresa, la cual era hacer más eficiente la tasa de alimentación pues se encontraba sobredimensionada. Considerando lo anterior, se planteó determinar una nueva tasa de alimentación que estuviera de acuerdo con las condiciones climáticas de la laguna, pues las tablas de alimentación creadas en Chile no resultaban muy económicas para la empresa.

Dentro del proceso de producción acuícola, es bien sabido que la actividad de alimentación en el cultivo de trucha arcoíris representa al menos la mitad de los costos de producción, esto hace que sea necesario optimizarlo a fin de maximizar su crecimiento sin acarrear pérdidas en sobrealimentación por conversiones elevadas ni retrasarlo por subalimentación.

Por ello, resulta relevante contar con una proyección acertada del crecimiento de la trucha y de la cantidad de alimento que le debe ser entregada en todas las etapas de producción con la ayuda de profesionales especializados, así cumplir con el aumento de biomasa estimada y a partir de ello, tener un plan de producción preciso en donde se pueda saber con exactitud: los costos de alimento, las fechas de cosecha y siembra, biomاسas estimadas y la planificación de actividades como desdobles, selecciones, etc.

Entonces, a fin de contar con una herramienta que nos facilite llegar a estas proyecciones, se propuso la utilización de una fórmula obtenida por regresión en base a datos reales de crecimiento recolectados en campo durante la experiencia laboral. Dicha fórmula permitiría calcular la tasa específica de crecimiento en función al peso promedio de la trucha arcoíris y en forma diaria durante el cultivo. Luego, en función a la mencionada tasa y el factor de conversión alimenticio, determinar la nueva tasa específica de alimentación; así como, la nueva tasa de alimentación.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Describir la importancia de las funciones profesionales realizadas durante la experiencia laboral en la empresa productora de trucha.

3.2. Objetivos específicos

Explicar el aporte profesional para la solución de la problemática de la empresa.

Explicar el grado de beneficio obtenido por la empresa con el aporte profesional.

IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1. Funciones desarrolladas

Las actividades que se realizaron dentro del manejo productivo fueron:

Re-incubación de ovas

La re-incubación es el proceso en el cual las ovas son colocadas en incubadoras después de haber sido trasladadas desde las instalaciones del proveedor. El proceso consiste en una aclimatación inicial de las ovas para adecuarlas a la temperatura del agua donde serán incubadas, elevando o disminuyendo su temperatura a una razón de dos grados Celsius por hora. Tras alcanzar la temperatura correcta, se procede a la desinfección por inmersión en yodo de bajo pH y diluido durante 10 minutos, luego se inicia con la siembra propiamente dicha en cada uno de los canastillos perforados con el caudal suficiente y monitoreo constante de oxígeno disuelto. Tras tres semanas, la eclosión y la reabsorción del saco vitelino, se ha dado al 100% y los alevines están listos para ser trasladados a los estanques donde inician su alimentación balanceada.

Monitoreo de temperatura y oxígeno

En una piscigranja es necesario llevar registro de temperatura por lo menos tres veces por día (mañana, medio día y tarde). Este parámetro está inversamente relacionado con la concentración de oxígeno (Woynarovich et al., 2011); por eso si este parámetro no se mide de manera periódica, existe la posibilidad de que los peces sean sometidos a un estado de estrés hipóxico, trayendo consecuencias de baja tasa de crecimiento, alta tasa de mortalidad, presentación de enfermedades por consiguiente un mayor costo en alimentación y disminución de la rentabilidad (Valenzuela et al., 2002). El control de estos parámetros se realizó con el equipo Oxyguard, el cual es un multiparámetro que carece de una interfaz con computador, por ende, la información solo pudo ser registrada manualmente después de la medición.

Suministro de alimento

El alimento proporcionado por los productores en la mayoría de los casos es comercial y estos deben estar almacenados en sus bolsas originales o barriles sellados, en un cobertizo cerrado, lejos del piso o de cualquier producto químico nocivo, humedad y cambios bruscos de temperatura.

Para calcular la ración diaria se hacía el cálculo en base a las tablas de alimentación entregadas por gerencia las cuales fueron desarrolladas en Chile. Cabe recalcar que la ración diaria se debe dividir en varias sub-rationes, según la longitud del pez (Beland et al., 2008). Para el caso de peces hasta los 5 gramos se realizaba en 14 raciones las 24 horas del día. Para los peces más grandes hasta la cosecha se realizaba en 4 a 5 raciones durante 8 horas desde las 7 am.

Recambio de redes

Las mallas o redes son el principal componente de las jaulas flotantes y estas están en contacto directo con los peces (Cazorla, 2011) incrementando la probabilidad de transmisión de enfermedades bacterianas mediante la formación de biofilms (Nazar, 2007) y acumulación de bio-incrustantes por lo que deberían estar en constante recambio (Vera y Vergara, 2016).

La frecuencia de recambio se realizaba al menos una vez por semana en mallas con apertura de $\frac{3}{4}$ de pulgada en adelante y para las de aperturas menores se realizaba cada 3 días, esto de acuerdo con el manual de buenas prácticas acuícolas de la empresa. Las mallas sucias eran llevadas hasta la orilla de la laguna donde se lavaban directamente a chorro de agua a presión con moto bombas hasta eliminar todo rastro de algas marinas.

Selección de peces

El crecimiento constante de los peces en el ambiente de crianza (jaulas o estanque), con el transcurso del tiempo, genera la reducción del espacio vital y disminución de la ganancia de peso y longitud, la competencia por alimento es cada vez mayor debido a que los peces más grandes tienen mayor posibilidad de consumir el alimento, dejando sin alimento a los más pequeños.

El mayor impacto de no seleccionar es el canibalismo, ocasionando la pérdida de peces pequeños y por lo tanto una mala estimación de la biomasa (Klontz, 1991). Para la selección de peces existen máquinas clasificadoras mecanizadas y manuales.

Los alevines se clasificaron cada 15 a 60 días y los peces desde los 5 hasta los 250 g entre 30 a 90 días, no obstante, este tiempo puede reducirse en caso de que la población de peces en la jaula sea muy desigual (Woynarovich et al., 2011). La técnica de selección se realizó mediante la máquina danesa Maskinfabriken Apollo la cual separa los peces de acuerdo con su talla en 3 canales distintos (cabeza, cuerpo y cola). El conteo de los peces en los canales resultantes se realizaba con sensor óptico conectado al procesador de la marca danesa VAKI.

Monitoreo de densidad de cultivo

La cantidad de peces que se puede mantener en un espacio determinado es un factor muy determinante en un cultivo de truchas. Este factor se puede medir en número de peces por m^3 o k/m^3 y varía de acuerdo con el estadio del pez, a las características fisicoquímicas del agua, el clima, entre otros. Una densidad adecuada evitará la competencia por alimento y pérdidas económicas por desperdicio, y habrá una buena disposición de oxígeno en el estanque o jaula, como una mayor sobrevivencia (Alvarado, 1999). Para el caso de esta empresa, la densidad de cultivo está alrededor de 6 y 12 k/m^3 dependiendo de su peso promedio, siendo los peces más pequeños los que toleran mayores densidades de cultivo.

4.2. Aspectos aprendidos y puestos en práctica

Cálculo de indicadores de producción

En gabinete los indicadores de producción; TEC (tasa específica de crecimiento), TEA (tasa específica de alimentación) y FCA (factor de conversión alimenticia); fueron calculadas mediante las siguientes fórmulas aprendidas durante los cursos de Acuicultura I y II:

$$\text{TEC} = (\ln \text{Pf} - \ln \text{Pi})/t$$

Dónde:

TEC (% k/día): Tasa específica de crecimiento

Pf (k) : Peso final

Pi (k) : Peso inicial

t (días) : tiempo

La fórmula está derivada de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy y para el cálculo diario de este indicador (TEC) se consideró el tiempo un día.

$$\text{TEA} = \text{FCA} \times \text{TEC} \text{ (Hepher, 1988).}$$

Dónde:

TEA (% k/día): Tasa específica de alimentación

FCA : Factor de conversión alimenticia

TEC (% k/día): Tasa específica de crecimiento

4.3. Propuesta para la solución del problema encontrado

Durante este desarrollo profesional se notó que la mayor problemática se centra en desarrollar una correcta proyección del crecimiento que tendrá la trucha arcoíris durante todo su ciclo productivo, esto se traduce a la vez en determinar una tasa correcta de alimentación a priori y así contar con un plan correcto de producción que se asemeje a la realidad en lo más posible.

La empresa donde se desarrolló la experiencia se encontraba con esta misma problemática, pues la estimación que provenía desde Chile en donde se encuentra la alta dirección, no terminaba siendo la real de acuerdo con las condiciones que se tenían en la laguna Choclococha. Constantemente se observaron problemas de sobre estimación de alimento a entregar, la cual se traducían en conversiones elevadas y por ende en un alza en los costos de producción.

Debido a ello, se propuso la determinación de una nueva tasa de alimentación mediante la aplicación del **análisis de regresión** en el crecimiento óptimo observado en algunos grupos de cultivo provenientes de la cepa danesa Trachsel.

La metodología para realizar esta regresión, la cual se explicará a continuación, representa la puesta en práctica del conocimiento adquirido durante los estudios de pregrado, además el beneficio obtenido por la empresa es la justificación de la suficiencia profesional requerida en el campo laboral de la ingeniería pesquera.

- **Procesamiento de datos para la regresión**

Los datos recolectados en campo se obtuvieron del periodo de producción desde la primera alimentación a los 0,2 g hasta los 250 g de peso en 4 grupos o lotes de peces de la cepa danesa **Trachsel**. Los grupos son nombrados por la gerencia de producción en función al número de importación de ovas desde la creación de la empresa. Para este estudio se están considerando aquellos que no han sufrido mayores problemas (naturales o por error humano) durante su proceso productivo y además en los cuales el ciclo se completó con la mejor tasa de conversión alimenticia posible, la cual es **1**; de esta manera los lotes evaluados son el Grupo 30, Grupo 33, Grupo 36 y Grupo 44.

Cada grupo presentaba un número de siembra inicial de 1 millón de ovas en promedio, llegando a la primera alimentación el 90 % de supervivencia aproximadamente. En esta etapa los peces ya han absorbido el 100 % del saco vitelino, pesan aproximadamente 0,2 g y se encuentran listos para comenzar su dieta balanceada. El peso promedio fue calculado mediante muestreos biométricos cada fin de mes, es decir, se extraían 200 individuos de cada estanque o jaula y se pesaban en balanzas de precisión uno por uno registrando cada valor manualmente en planillas, luego se obtenía el valor promedio y se registraba en el sistema digital en la fecha, jaula y grupo de siembra correspondiente. Estas muestras llegaban a sumar hasta 3200 unidades de individuos tomados al azar por cada grupo de siembra. La biomasa fue calculada mediante la multiplicación del peso promedio con el número de unidades totales en el grupo.

Para el cálculo del número de peces hasta los 15 g de peso, se realizaba una estimación gravimétrica semanal dividiendo la biomasa estimada de cada estanque entre el peso

promedio del mismo. A partir de los 15 g de peso promedio, el número de peces se obtenía por conteo con sensor óptico mediante computador de la marca danesa VAKI. La corrección de error de conteo era estimada mediante ajuste estadístico recomendado por el mismo fabricante.

- **Obtención de curvas de crecimiento**

Los datos obtenidos en gabinete y con ayuda del software Excel fueron ploteados en dos gráficos para cada grupo de producción. A continuación, se presentan los gráficos de comparación de TEC vs PESO PROMEDIO y TEC vs DIA DE CULTIVO para cada uno de los grupos evaluados. Estos no son los resultados de la experiencia, se trata de la información obtenida en campo ploteada para una mejor apreciación.

Grupo 30

El grupo 30 de la cepa Trachsel inició su alimentación el 6 de mayo del 2016 y llegó a los 250 g de peso el 8 de abril del 2017.

Tuvo una siembra original de 600 mil ovas llegando a los 250 g con 353 867 peces. Presentó una mortalidad acumulada del 41 %.

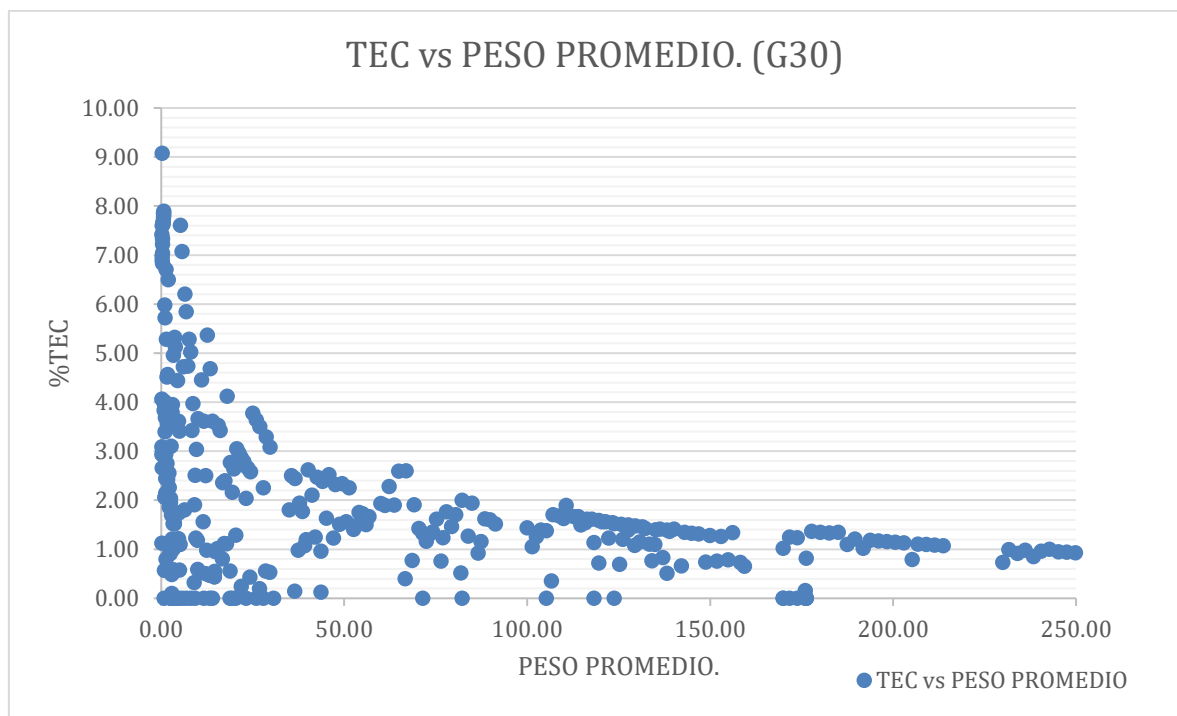


Figura 1. Comparación de TEC vs Peso promedio para el grupo 30.

Se observa en la figura 1 valores de TEC iguales a cero, esto es debido a días de ayuno en donde el pez teóricamente no ha crecido. Estos ayunos se programan por eventos externos como turbidez en el agua, bajas de oxígeno y actividades de mantenimiento de la sala de cultivo que comprometen el flujo del agua.

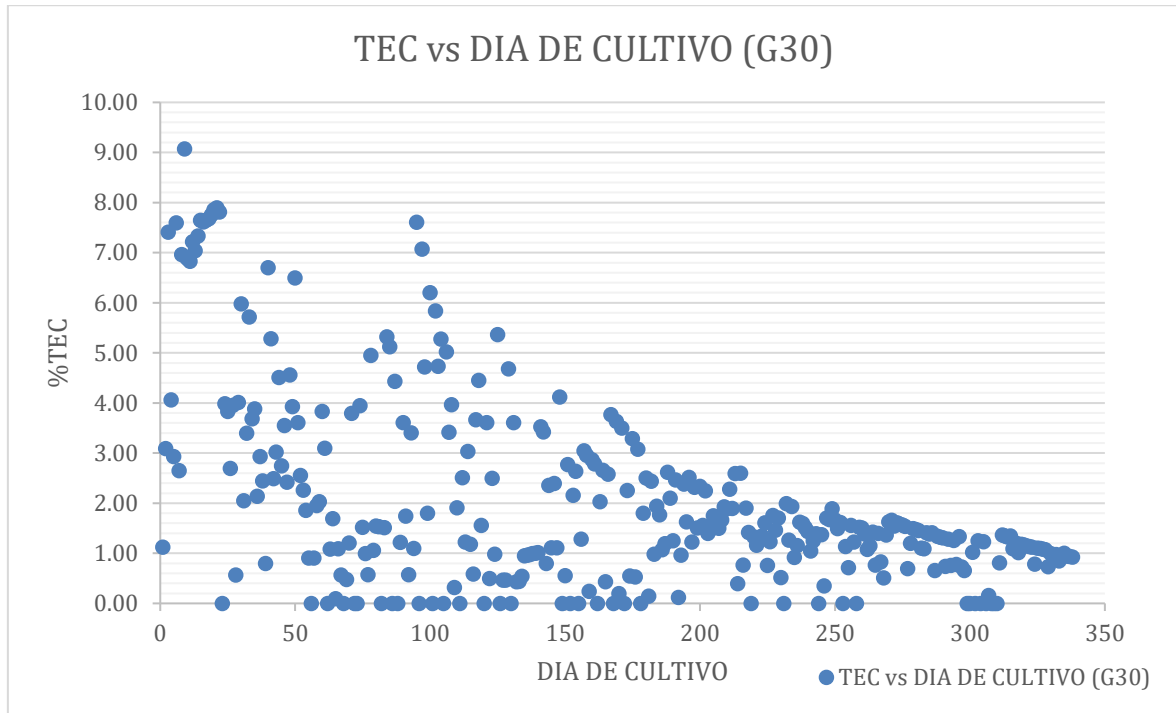


Figura 2. Comparación de TEC vs Día de cultivo para el grupo 30.

Se puede observar la misma tendencia que en la figura 1 y al igual que este, se observan los días de ayuno ya mencionados.

Grupo 33

El grupo 33 de la cepa Trachsel inició su alimentación el 8 de agosto del 2016 y llegó a los 250 g de peso el 16 de junio del 2017.

Tuvo una siembra original de 400 mil ovas llegando a los 250 g con 219 958 peces. Presentó una mortalidad acumulada del 45 %.

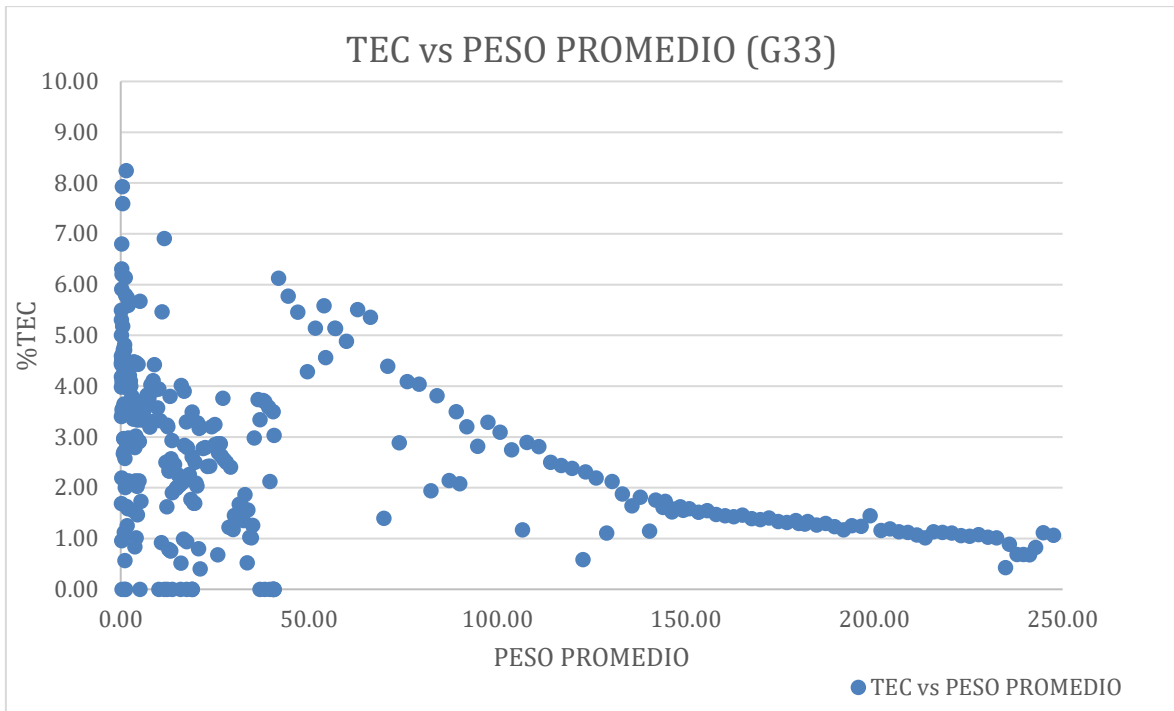


Figura 3. Comparación de TEC vs Peso promedio para el grupo 33.

Al igual que para el grupo 30, existieron días de ayuno para este grupo, también por eventos externos.

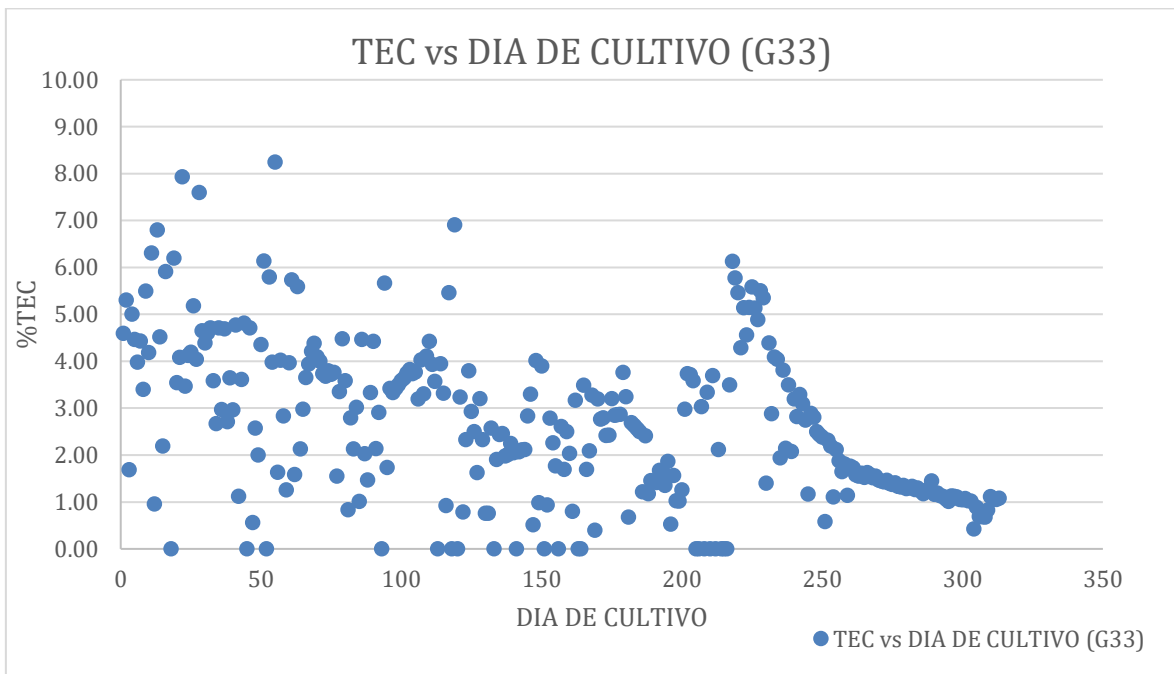


Figura 4. Comparación de TEC vs Día de cultivo para el grupo 33.

En esta figura se puede observar la tendencia decreciente del TEC y los días de ayuno.

Grupo 36

El grupo 36 de la cepa Trachsel inició su alimentación el 13 de enero del 2017 y llegó a los 250 g de peso el 22 de diciembre del 2017. Tuvo una siembra original de un millón ovas llegando a los 250 g con 586 436 peces. Presentó una mortalidad acumulada del 41 %.

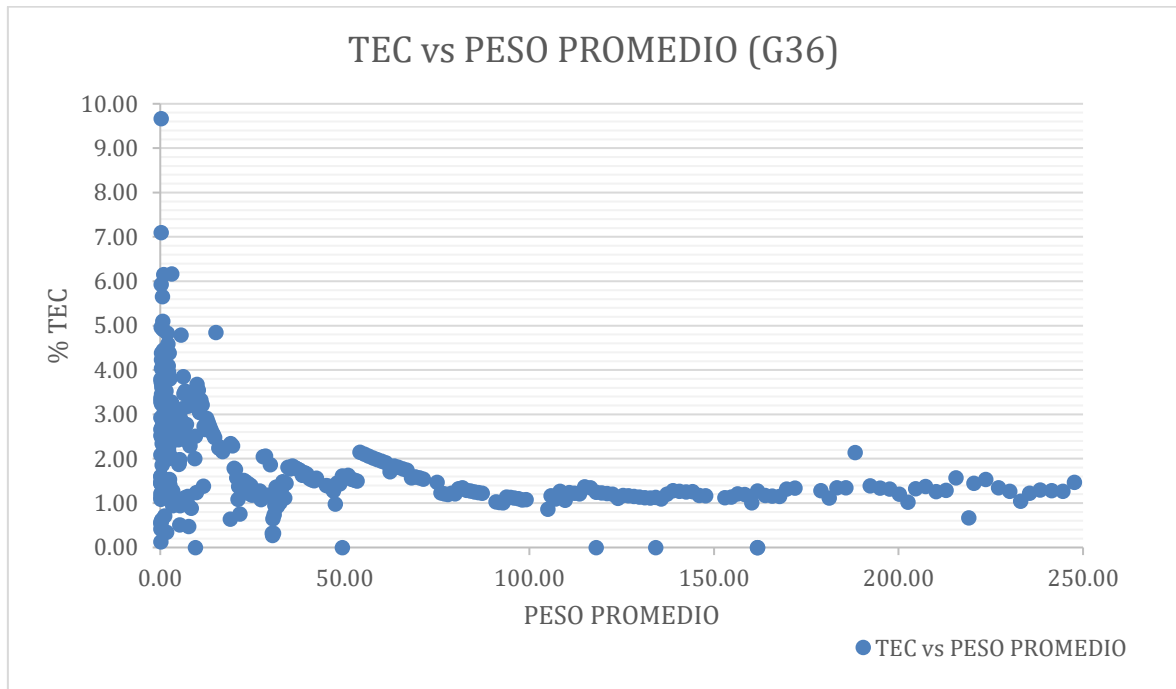


Figura 5. Comparación de TEC vs Peso promedio para el grupo 36.

En este grupo se observaron menos días de ayuno en comparación con los otros grupos evaluados. Se observa la tendencia de disminución del TEC respecto al crecimiento en peso del pez.

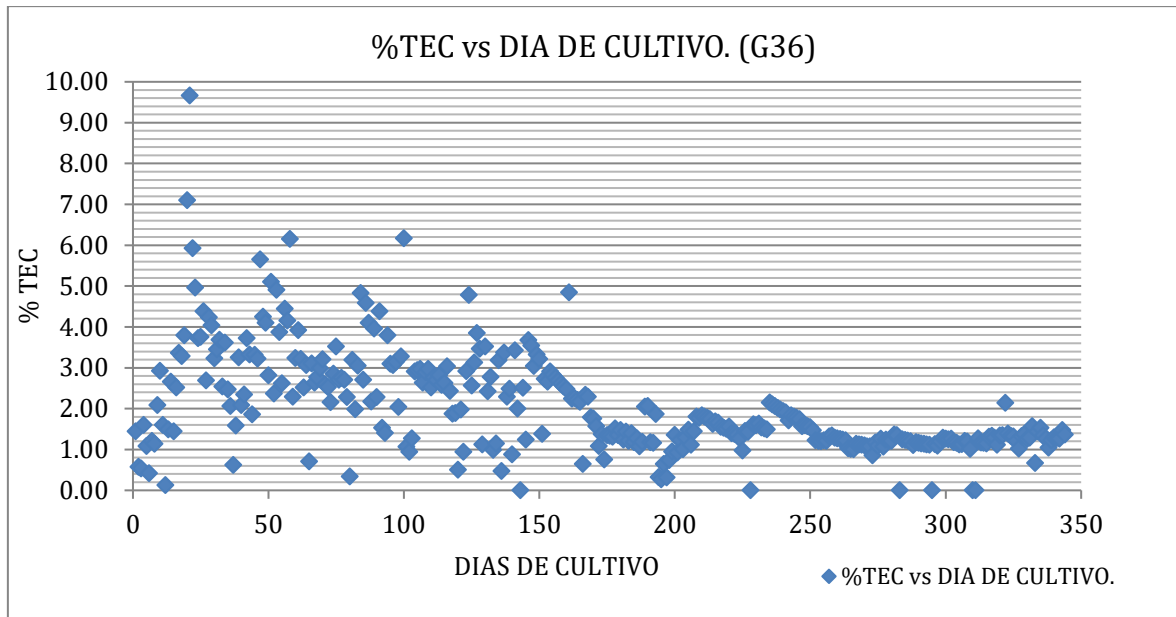


Figura 6. Comparación de TEC vs Día de cultivo para el grupo 36.

En esta figura se puede observar la tendencia decreciente del TEC y los días de ayuno.

Grupo 44

El grupo 44 de la cepa Trachsel inició su alimentación el 13 de abril del 2018 y llegó a los 250 g de peso el 14 de marzo del 2019.

Tuvo una siembra original de un millón de ovas llegando a los 250 g con 736 695 peces.

Presentó una mortalidad acumulada del 26 %.

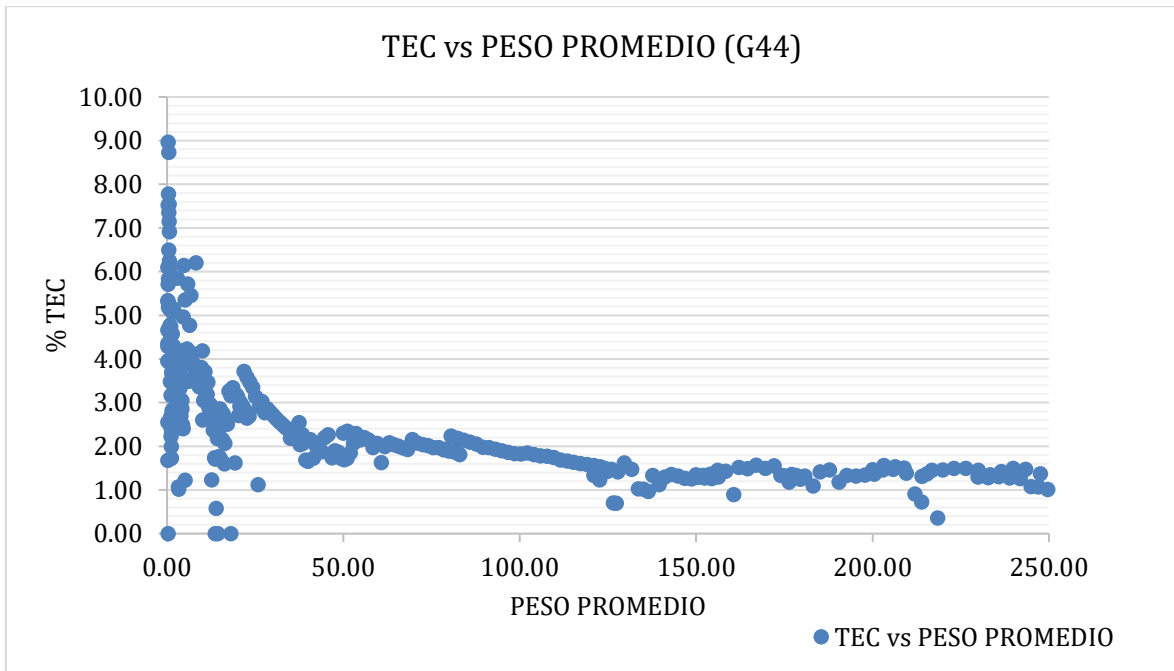


Figura 7. Comparación de TEC vs Peso promedio para el grupo 44.

Los días de ayuno para este lote fueron mínimos, al igual que la mortalidad acumulada al llegar a los 250 g. La tendencia de disminución del TEC respecto al aumento del peso promedio es más evidente.

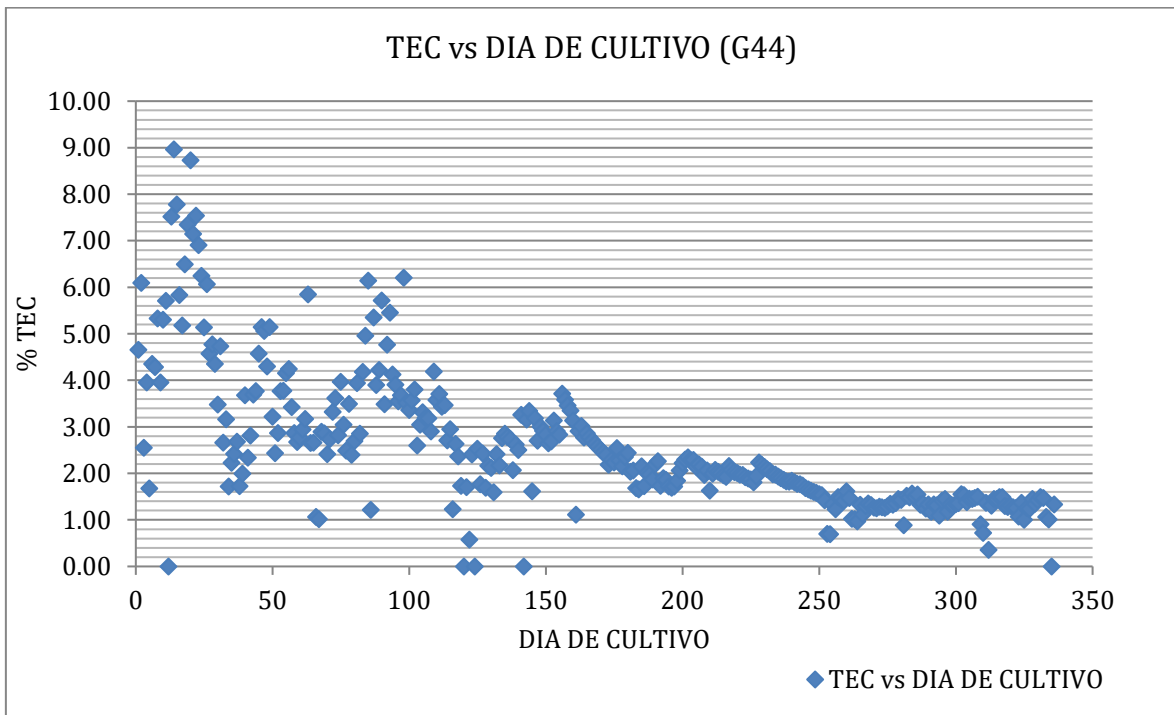


Figura 8. Comparación de TEC vs Día de cultivo para el grupo 44.

La tendencia de disminución del TEC respecto al día de cultivo es más marcada para este grupo también.

- **Cálculo de regresión en Minitab**

Para poder obtener la tasa de alimentación es importante saber la tasa de crecimiento, además también es necesario conocer la relación matemática entre esta última y el peso promedio del pez. Es por esto por lo que los datos presentados anteriormente de los 4 grupos fueron ingresados en el programa estadístico Minitab para encontrar la fórmula de regresión que explique esta relación matemática. Para poder obtener una correlación más acertada se incluyó también el día de cultivo (representada por "Tiempo" como variable X junto con el peso promedio).

Se realizaron las **corridas** estadísticas necesarias en el software Minitab, transformando las variables hasta obtener un nivel de correlación (R^2) de al menos 50 %.

CORRIDA 1

La ecuación de regresión es:

$$TEC = 4.30 - 0.0134 \times \text{Tiempo} + 0.00417 \times \text{Peso Promedio}.$$

Predictor:	Coefficiente	Coefficiente de EE	T	P
Constante:	4.29954	0.08744	49.17	0.000
Tiempo:	0.0133901	0.0008210	-16.31	0.000
Peso Prom:	0.004168	0.001046	3.98	0.000

$$S = 1.24188 / R^2 = 38.0\% / R^2 (\text{Ajustado}) = 37.9\%$$

Según el análisis de varianza el modelo cumple la regresión lineal, en otras palabras, el modelo está bajo los estándares estadísticos, pero en representatividad sólo explica al TEC en 38%. Estadísticamente hablando el modelo debe tener un ajuste de al menos el 50% para que sea justificable por lo que para mejorar este porcentaje de representatividad (R^2) se tiene que usar metodologías estadísticas para suplir esta necesidad. Box and Tidwell sugiere utilizar la transformación de variables según lo explicado en su metodología y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

CORRIDA 2

La ecuación de regresión es:

$$\text{TEC} = 4.89 - 0.0579 \text{ Tiempo} + 0.0068 \text{ Peso Prom.} + 0.00805 \text{ Tiempo} \times \text{Ln} (\text{Tiempo}) \\ - 0.00142 \text{ Peso Prom.} \times \text{Ln} (\text{Peso Prom.})$$

Predictor	Coefficiente	Coefficiente de EE	T	P
Constante	4.8912	0.1584	30.87	0.000
Tiempo	-0.05789	0.01012	-5.72	0.000
Peso Prom	0.00685	0.01345	0.51	0.611
Tiempo Ln (Tiempo)	0.008046	0.001877	4.29	0.000
Peso Prom. Ln (Peso Prom.)	-0.001415	0.002186	-0.65	0.518

$$S = 1.23308 / R^2 = 40.9\% / R^2 (\text{ajustado}) = 40.7\%$$

Como se esperaba el R^2 mejoró, pero no lo suficiente. Igual se demuestra que haciendo una transformación a las variables (potenciar la variable con logaritmo neperiano) podemos mejorar la representatividad del modelo.

A continuación, se utilizó una transformación más a las variables colocando la inversa de la variable tal como se demuestra en la teoría de transformaciones de variables de Tidwell, para mejorar el ajuste del modelo.

Se obtuvo el siguiente resultado

CORRIDA 3

La ecuación de regresión es:

$$\text{TEC} = 7.34 - 0.159 \text{ Tiempo} + 0.0289 \text{ Peso Prom.} + 0.0246 \text{ Tiempo} \times \text{Ln} (\text{Tiempo}) \\ - 0.00593 \text{ Peso Prom.} \times \text{Ln} (\text{Peso Prom.}) - 0.464 \text{ 1/Peso Prom.} - 1.93 \text{ 1/Tiempo}$$

Predictor	Coefficiente	Coefficiente de EE	T	P
Constante	7.3368	0.3800	19.31	0.000
Tiempo	-0.15916	0.01722	-9.24	0.000
Peso Prom.	0.02888	0.01351	2.14	0.033
Tiempo*Ln (Tiempo)	0.024643	0.002943	8.37	0.000
Peso Prom. *Ln (Peso Prom.)	-0.005931	0.002228	-2.66	0.008

1/Peso Prom.	-0.46448	0.08452	-5.50	0.000
1/Tiempo	-1.9306	0.6693	-2.88	0.004

$$S = 1.20643 / R^2 = 51.6\% / R^2 \text{ (ajustado)} = 51.4\%$$

Si bien se mejoró el R^2 , se observó en el P value del peso promedio es mayor a 0.01; lo que nos indica que esta variable no está siendo significativa al modelo afectando la representatividad (R^2).

Se procede a quitar esta variable lo que nos resulta en lo siguiente.

CORRIDA FINAL

La ecuación de regresión es:

$$TEC = 7.14 - 0.155 \text{ Tiempo} + 0.0244 \text{ Tiempo} \times \text{Ln}(\text{Tiempo}) - 0.00121 \text{ Peso Prom.} \times \text{Ln}(\text{Peso Prom.}) - 1.92 \text{ 1/Tiempo} - 0.427 \text{ 1/Peso Prom.}$$

Predictor	Coefficiente	Coefficiente de EE	T	P
Constante	7.1435	0.3696	19.33	0.000
Tiempo	-0.15450	0.01711	-9.03	0.000
Tiempo*LN(Tiempo)	0.024423	0.002946	8.29	0.000
Peso Prom. *Ln(Peso Prom.)	-0.0012120	0.0002986	-4.06	0.000
1/Tiempo	-1.9155	0.6702	-2.86	0.004
1/Peso Prom.	-0.42696	0.08280	-5.16	0.000

$$S = 1.20815 / R^2 = 60.4\% / R^2 \text{ (ajustado)} = 60.2\%$$

En el resultado final se obtuvo un buen valor de R^2 (60.4%), lo que nos indica que el modelo obtenido ya tiene un nivel de representatividad aceptable con todas las variables transformadas y no transformadas significativas al modelo.

Fórmula de regresión final

Con la fórmula obtenida:

$$TEC = (7.14 - 0.155 \times T + 0.0244 \times T \times \text{Ln}(T) - 1.92/T - 0.00121 \times P \times \text{Ln}(P) - 0.427/P) / 100$$

Dónde:

TEC : Tasa específica de crecimiento.

T : Día de cultivo.

P : Peso promedio.

Estando el TEC relacionado con la tasa específica de alimentación (TEA) de la siguiente manera (Hepher B., 1988):

$$TEA = FCA \times TEC$$

Siendo la TEA igual a la cantidad de alimento a entregar dividido entre la biomasa, entonces obtenemos la siguiente fórmula final:

$$A = \frac{((7.14 - 0.155 \times T + 0.0244 \times T \times \ln(T) - 1.92 / T - 0.00121 \times P \times \ln(P) - 0.427 / P) / 100) \times FCR \times B}{100}$$

Dónde:

A : Alimento a entregar.

T : Día de cultivo.

P : Peso promedio.

FCA : Factor de conversión alimenticia.

B : Biomasa.

Esta fórmula nos determinará la cantidad de alimento a ser entregado, en función del día de cultivo, el peso promedio del pez, la tasa de conversión y la biomasa que se tenga.

4.4. Análisis de la propuesta

Si bien, luego de haber realizado la corrida en el software Minitab se obtuvo un R^2 de 60 %, el cual parece en un primer momento bajo, sin embargo, luego de analizar los resultados obtenidos en el ejemplo práctico, se aprecia que estos describen muy acertadamente la realidad del crecimiento de la trucha.

Por ello, se puede corroborar que sí es posible relacionar el crecimiento del pez con su peso promedio y su día de cultivo; así de esta manera proyectar el alimento a entregar optimizando el proceso de producción.

La principal causa de haber obtenido un R^2 de 60% y no más alto, se debe a la dispersión de los datos obtenidos en campo. Esto es provocado por error humano en momentos de subalimentación o sobre alimentación por parte del operario de esta actividad. La fórmula obtenida estandariza este proceso de alimentación y de esta manera se puede amortizar el error humano haciendo el cálculo de alimento más preciso para el ciclo.

En el desarrollo del trabajo, la aplicación de la fórmula y la certeza de sus resultados ha tenido a la temperatura como un factor limitante, pues al ser cultivada la trucha arcoíris en una laguna, resulta difícil realizar un control de ella a fin de generar una mayor certeza respecto al resultado.

El modelo de estimación de crecimiento de Cho (1992) considera la temperatura como una variable más a considerar al tratarse de animales poiquilotermos. En este trabajo estamos considerando la temperatura como constante, aunque en realidad no lo sea, pues como ya se explicó toda la data fue tomada en el rango anual de temperatura de 9 a 12 °C.

A pesar de esto, todos los datos de crecimiento recolectados en campo fueron en el rango natural de 8 a 12 grados centígrados de la laguna Choclococha, de esta manera la fórmula explica muy bien el incremento de peso esperado y por ende el alimento a entregar, en medios con el mismo intervalo de temperatura.

En todo el proceso de toma de datos se trató en lo posible disminuir la influencia del error humano manteniendo siempre buenas prácticas de manejo según el manual BPA (buenas prácticas de acuicultura) y también las mejores condiciones higiénicas y biológicas de cultivo (redes limpias, densidades de cultivo adecuadas, etc.)

El centro de cultivo en Choclococha maneja pesos de cosecha de 3 kilogramos por tratarse de una empresa cuyo mercado es el exterior, a la vez la alta dirección considera el alevinaje hasta los 250 g de peso siendo esta la etapa durante la cual se hizo la propuesta. Por esto la fórmula obtenida solo proyectaría acertadamente el crecimiento y suministro de alimento

hasta los 250 g de peso del animal. Sin embargo, este rango coincide con el peso de cosecha para productores artesanales, por ende, la fórmula obtenida sería muy útil en este tipo cultivos y en aguas con temperaturas en el rango de 8 a 12 °C.

4.5. Beneficio obtenido mediante la contribución propuesta

Se realizó un caso práctico de la fórmula, en una simulación donde se asume un número inicial de peces de 1 millón, peso promedio inicial de 0,2 g y mortalidad estándar de acuerdo con los valores históricos. Se obtuvieron la siguiente gráfica y tabla:

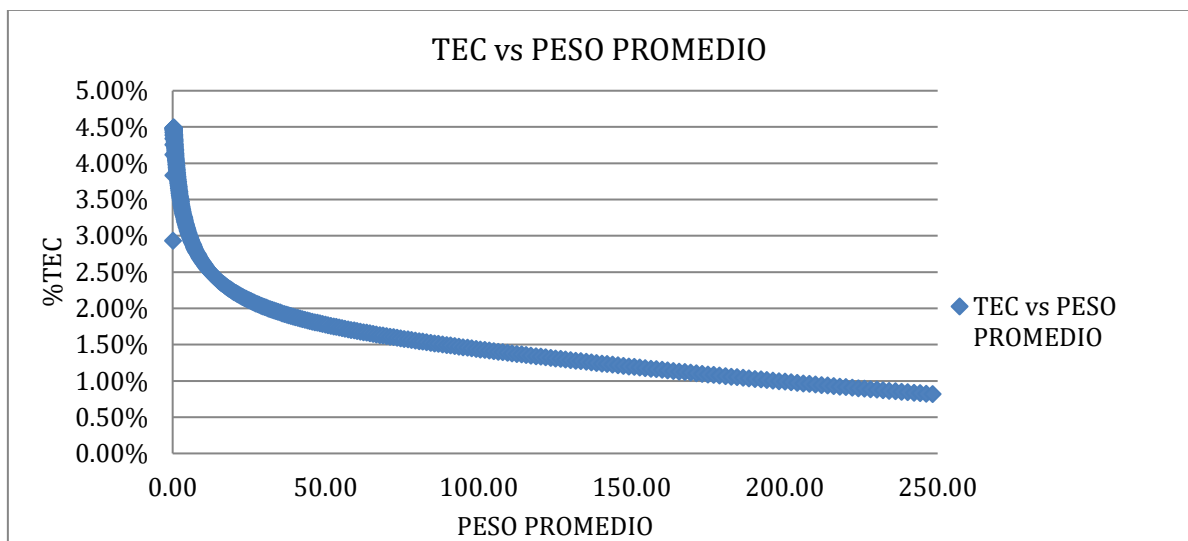


Figura 9. Comparación de TEC de prueba vs Peso promedio, usando la fórmula obtenida.

La curva graficada con los datos obtenidos de la fórmula de regresión de la propuesta nos muestra el comportamiento esperado para el crecimiento de la trucha arcoíris siendo descrito de forma general por Von Bertalanffy (1938) de donde se deriva que la tasa específica de crecimiento es mayor y con tendencia a infinito a pesos (o tallas) menores y cercanas a cero a pesos (o tallas) mayores.

Tabla 1: Comparación de alimento a entregar en todo el ciclo antes y después de usar la fórmula obtenida.

rango de peso (g)	Biomasa (k)	Alimento antes (k)	Alimento después (k)
0.2 - 2	200	306	339
2 - 8	1,782	2,356	2,287
8 - 25	6,872	9,151	6,728
25 - 45	21,150	18,019	17,908
45 - 100	37,530	34,163	24,946
100 - 180	82,200	50,641	40,612
180 - 250	147,240	56,211	55,316
	Total	170,847	148,136
	Ahorro alimento	22,711	

En la siguiente tabla se hace una comparación entre valores promedio históricos y los valores obtenidos por la fórmula.

Tabla 2: Comparación entre valor de TEC promedio (promedio de los 4 grupos analizados) y TEC prueba (obtenido con la fórmula).

Peso Promedio (g)	TEC (promedio)	TEC (prueba)	% diferencia
2	3.30%	3.65%	11%
8	3.76%	2.77%	-26%
25	2.83%	2.11%	-26%
45	2.75%	1.82%	-34%
100	1.86%	1.43%	-23%
180	1.31%	1.06%	-19%
250	1.09%	0.81%	-26%

Así pues, se puede observar que la nueva tasa de alimentación reducirá el consumo de alimento, pero sin afectar la conversión alimenticia óptima que es de 1.

Esto también se traduce en una reducción de los costos de producción y por ende un mayor beneficio económico para la empresa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Lo aprendido durante los años de estudio en la Universidad Agraria La Molina ayudaron a una buena propuesta para la solución de la problemática en la cual se encontraba la empresa en donde se desarrolló la experiencia profesional.
2. Antes de la propuesta, nos encontramos con una sobre estimación del alimento a entregar, lo que acarrea en gastos innecesarios de alimento además de pérdidas por altas conversiones alimenticias (a causa del exceso de alimento a entregar a los peces).
3. Con esta propuesta podemos observar que la estimación del alimento resultaría más precisa, entregando solo el alimento necesario para el que pez crezca óptimamente sin comprometer una conversión alimenticia elevada y sin retrasar el crecimiento por subalimentación.
4. Es recomendable adaptar siempre las tasas de alimentación propias de acuerdo con las condiciones medioambientales de altura y nivel oxígeno disponible de una manera práctica, pues las tablas utilizadas a nivel industrial son aplicadas a nivel del mar.
5. Se recomienda realizar una correcta investigación para la obtención exacta de una fórmula de regresión usando metodologías estadísticas de investigación científica, la cual proyecte el crecimiento y alimentación no solo hasta los 150 g de peso, si no hasta los 3 kg que es la talla comercial para la trucha a nivel industrial y considerar dentro de esta metodología más variables medio ambientales en ambientes controlados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, H. (1999). Crecimiento y sobrevivencia de la trucha arco iris cultivada en diferentes tipos de estanques y densidades. Bramón, Venezuela: Centro de Investigación Agropecuarias del Estado Táchira.

Beland, D.; Buckerly, J.; Miggins L.; Warren, A. (2008). Good Practices for the Cultivation of Trout in Costa Rica. Costa Rica: Worcester Polytechnic Institute and INCOPECA.

Bertalanffy, L., (1938). A quantitative theory of organic growth [Libro electrónico]. <https://books.google.be/books?id=OrM0twAACAAJ>

Cho, C. (1992). Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. Ontario, Canada: Fish Nutrition Laboratory, Ontario Ministry of Natural Resources, and Dept. of Nutritional Sciences, University of Guelph.

Congreso de la república. (25 de marzo del 2016). Decreto Legislativo N° 1195, Ley que aprueba el reglamento de la Ley General de Acuicultura, Normas Legales. Perú: Diario Oficial el peruano

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). National aquaculture sector overview Perú. Fish and Aquaculture Department. Recuperado de: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_peru/en

Hepher, B. (1988). Nutrición de Peces Comerciales en Estanques. Limusa. Grupo Noriega Editores. México. Primera edición 1993.

Klontz, G. (1991). Manual for rainbow trout production on the family-owned farm. Moscow: University of Idaho. Department of Fish and Wildlife Resources.

Nazar, J. (2007). Biofilms bacterianos. Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello. Chile. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-48162007000100011.

Norma Técnica Peruana 320 004. (2014). Acuicultura: Buenas Prácticas acuícolas en la producción de truchas arco iris. Lima: INDECOPI.

Valenzuela, A.; Alveal, K.; Tarifeño, E. (2002). Respuestas hematológicas de truchas (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792) a estrés hipóxico agudo: serie roja. Chile: Gayana, Concepcion.

Vera, R. & Vergara, A. (2016). Efectos del lavado in situ de redes en sedimentos asociados a la acuicultura en el sur de Chile. Chile: Universidad de Valparaíso.

Woynarovich, A.; Hoisty, G.; Moth-Poulsen T. (2011). Fisheries and Aquaculture Technical Paper: Small-scale rainbow trout farming. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.