

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

**Evaluación de diferentes densidades de carga en truchas mediante parámetros
biológicos y económicos**

Rolando Chaves Rojas

**Tesis presentada para optar por el título en el grado académico de Licenciatura
en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2015

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

M.A.E. Ruth Vargas Cordero

Directora de tesis

Lic. Juan Ignacio Herrera Muñóz

Miembro del tribunal

MGA. Felipe Vaquerano Pineda

Miembro del tribunal

Lic. Álvaro Otárola Fallas

Miembro del tribunal

M.Sc. Rebeca Zamora Sanabria

Representante de director de Escuela

Bach. Rolando Chaves Rojas

Sustentante

DEDICATORIA

A Dios

A mi mamá Xinia Rojas Rodríguez

A mi novia Gloriana Hidalgo Durán

A mi profesora y gran amiga Doña Ruth Vargas Cordero

A mi gran amigo Keilor Leiva Badilla

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme todo lo que tengo y llenar siempre mi vida de felicidad infinita, además de permitirme lograr mis metas.

A mami por su amor incondicional y apoyo siempre, además de su ayuda en todo lo que esté a su alcance a lo largo de toda mi vida.

A mi novia por su amor y apoyo en todo momento, por estar siempre pendiente de mí; por sus consejos y ayuda a crecer como persona y profesional, además de acompañarme tanto en las buenas como en las malas.

A mi profesora y gran amiga Doña Ruth Vargas Cordero, por su apoyo afectivo, por todas sus atenciones y por estar siempre disponible para mí a lo largo de este proceso; también por todas sus enseñanzas, pues crearon el profesional que soy hoy.

A mi gran amigo Keilor Leiva Badilla, por su colaboración durante el experimento, su interés en el mismo, su aporte de conocimiento, ideas y creatividad; siempre preocupado por que la prueba quedara de la mejor manera posible. Por acompañarme como un buen amigo, lo cual provocó que me sintiera más a gusto en San Gerardo de Dota.

A mi gran amigo Luis Alejandro Rodríguez Campos por sus atenciones conmigo, por su colaboración en la estadística del proyecto y su aporte de ideas técnicas.

A los amigos y familiares que estuvieron pendientes de mí cuando estuve viviendo en San Gerardo de Dota, acompañándome a través de redes sociales y personalmente cuando visitaba mi barrio.

A los profesores Shirley Rojas, Alejandro Saborío e Isabel González por su atención y asesoría estadística para el proyecto.

A los profesores de la Escuela de Zootecnia y los lectores de mi tesis por su asesoría y formación profesional.

A Don José Miguel Víquez Mora, Doña Wendy Bonilla Masis y su equipo de trabajo, por permitirme realizar el experimento en su empresa y brindarme muchas facilidades como el hospedaje, transporte y gran parte de la alimentación.

A Águeda Serrano Zúñiga por su apoyo, orientación y ayuda para que los trámites en relación a la tesis se llevaran a cabo de manera muy eficiente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Factores determinantes en la producción de truchas	4
3.1.1. Temperatura	4
3.1.2. Calidad de agua.....	4
3.1.3. Densidad de carga.....	7
3.1.4. Alimentación	9
3.2. Parámetros para evaluar productividad.....	17
3.2.1. Parámetros biológicos	18
3.2.2. Parámetros económicos	21
3.3. Pruebas físicas en el alimento	22
3.3.1. Tamaño del <i>pellet</i>	22
3.3.2. Porcentaje de finos y <i>pellet</i> quebrado.....	24
3.3.3. Densidad por pieza de <i>pellet</i>	24
3.3.4. Densidad aparente (DA)	25
3.3.5. Flotabilidad y estabilidad en el agua.....	26
4. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA.....	30
4.1. Descripción de la empresa.....	30

4.2.	Ensayo de comparación entre densidades de carga.	31
4.3.	Determinación de la TAD según requerimiento energético	34
4.4.	Pruebas físicas en el alimento	35
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	39
5.1.	Ensayo de comparación entre densidades de carga	39
5.2.	Pruebas físicas en el alimento	41
6.	RESULTADOS.....	43
6.1.	Ensayo de comparación entre densidades de carga	43
6.2.	Determinación de la TAD según requerimiento energético	69
6.3.	Pruebas físicas en el alimento	71
7.	DISCUSIÓN	76
7.1.	Ensayo de comparación entre densidades de carga	76
7.2.	Determinación de la TAD según requerimiento energético	86
7.3.	Pruebas físicas en el alimento	88
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
9.	LITERATURA CITADA.....	94
10.	ANEXOS	104

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Algunas propiedades físicas y químicas requeridas en el agua para el cultivo de la trucha.....	6
2. Densidades de carga recomendadas según peso de truchas.	
3. Densidad de carga según fase de truchas.	8
4. Alimentación de trucha en porcentaje de biomasa total, según peso y temperatura.	17
5. Tamaño de alimento para truchas según su peso.....	23
6. Muestreos y periodos conseguidos según fecha.....	43
7. Medias de peso inicial (g) de las truchas según niveles estadísticos de cada factor.....	44
8. Pesos promedios (g) por muestreo, según los niveles de cada factor. ...	45
9. Número de truchas según niveles estadísticos de cada factor.....	48
10. Medias de ganancia de biomasa (kg) según niveles estadísticos de cada factor.....	49
11. Medias de la TAD (%) según niveles estadísticos de cada factor.	50
12. Medias de la CA según niveles estadísticos de cada factor.	51
13. Medias de la SGR (%) según niveles estadísticos de cada factor.....	52
14. Medias del Índice de Conversión Económico (\$) según niveles estadísticos de cada factor.....	53
15. Medias de mortalidad (%) según niveles estadísticos de cada factor.	54
16. Medias del Margen Bruto (\$) para el producto trucha entera según niveles estadísticos de cada factor.	55
17. Medias de Productividad Económica para trucha entera según niveles estadísticos de cada factor.	56
18. Medias de peso (g) de truchas a procesar según niveles estadísticos de cada factor.....	57
19. Medias del Rendimiento (%) según niveles estadísticos de cada factor.	58
20. Medias del Índice viscerosomático (%) según niveles estadísticos de cada factor.....	59
21. Medias del factor de condición de Fulton y valor p de cada factor, según niveles estadísticos de cada factor.	60
22. Medias del Margen Bruto (\$) para el producto trucha en filete, según niveles estadísticos de cada factor.	61
23. Medias de la Productividad Económica para el producto trucha en filete según niveles estadísticos de cada factor.	62
24. Promedio de oxígeno disuelto (mg/l) del periodo P2 al P4, según niveles estadísticos de cada factor.	63
25. Media y desviación estándar de la concentración de oxígeno según hora y estanque, en el periodo considerado.....	66
26. Valor de pH según estanque.	67
27. Medias de CTC según niveles estadísticos de cada factor.	69

28. Medias de porcentaje de finos según niveles estadísticos de cada factor.	72
29. Medias de densidad por pieza de pellet según niveles estadísticos de cada factor.....	73
30. Medias de densidad aparente (g/l) según niveles estadísticos de cada factor.	74
31. Medias de porcentaje de flotabilidad según niveles estadísticos de cada factor.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de distribución de la energía de la dieta en peces.	10
2. Curva de crecimiento tipo sigmoideo y parámetros asociados en su evaluación.	16
3. Distribución de jaulas en los estanques, según tratamientos.	32
4. Equipo utilizado en la prueba de porcentaje de finos en el alimento.	35
5. Equipo utilizado en la prueba de densidad.	36
6. Prueba de flotabilidad en campo.	37
7. Prueba de densidad aparente del alimento.	37
8. Curva de crecimiento de las truchas a lo largo del periodo, según la densidad utilizada	46
9. Peso promedio (g) de truchas por muestreo según estanque.	47
10. Peso promedio (g) de truchas por muestreo según posición de la jaula con respecto a la entrada de agua	47
11. Promedio de concentración de oxígeno disuelto (mg/l) por estanque a lo largo de la fase de engorde.	64
12. Oxígeno disuelto según hora de medición y estanque a lo largo de la fase de engorde.	65
13. Valor de pH por estanque durante el periodo en consideración.	67
14. Temperatura del agua (°C) por horario durante del periodo en consideración	68
15. Curva de crecimiento predicha a partir del CTC obtenido de la densidad de 28 kg/m ³	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Foto de jaula flotante de 1 x 1 m.	105
2. Jaulas flotantes en funcionamiento en los estanque	105
3. Medición de oxígeno y pH	105
4. Tratamiento y resultado de parámetros por jaula tomando los datos de los muestras 2,3 y 4.	106
5. Requerimientos energéticos, ración y TAD según días.	107

RESUMEN

El principal objetivo del presente estudio fue comparar diferentes densidades de carga (24, 26, 28 y 30 kg/m³) en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante parámetros como: consumo de alimento, conversión alimenticia, SGR, índice de conversión económico, margen bruto, productividad económica, índice de carne, factor de condición de *Fulton*, índice viscerosomático y CTC. Esto con la intención de evidenciar cuál es la densidad potencialmente más adecuada para la empresa Truchas Reales de Costa Rica, lugar donde se realizó el experimento; y según los resultados calcular la tasa de alimentación diaria ideal según los requerimientos energéticos. Los peces se colocaron en jaulas de 1 m³, en dos estanques distintos los cuales permanecieron con truchas “libres” durante todo el periodo. Se concluyó que lo más óptimo para la compañía es mantener un rango de 26 a 30 kg/m³ para animales en jaulas flotantes, pues la densidad de 28 kg/m³ presentó los resultados más favorables, y esta no difirió de manera significativa ($p > 0,05$) con respecto a las de 26 y 30 kg/m³. Además, para obtener la tasa de alimentación ideal, según los requerimientos energéticos, se recomienda efectuar otro estudio similar, en el que se delimite el perímetro de la zona donde se encuentren las jaulas, para evitar que los animales del estanque interfieran en la alimentación, como se dio en este ensayo. Paralelamente se evaluó la calidad física del alimento utilizado y la constancia de ésta a través de los diferentes lotes de concentrado, así como el impacto del tiempo de almacenamiento en la misma. Se ejecutaron las siguientes pruebas: porcentaje de finos, densidad por pieza de *pellet*, densidad aparente y flotabilidad. Se determinó buena calidad en los diferentes lotes en cuanto a la primera propiedad, la cual tampoco se vio afectada por los días en *stock*; mientras que ambas pruebas de densidad sí presentaron alta variabilidad entre los distintos lotes; no obstante, no fue suficiente como para provocar un efecto en la flotabilidad. La misma se comportó similar entre lotes y durante el periodo guardado en la infraestructura de la empresa. Sin embargo, esta propiedad fue muy desuniforme entre los diferentes sacos. Finalmente se llegó a la determinación de considerar la posibilidad de cambiar el alimento a uno de tipo hundible, debido al comportamiento de esta especie y a las condiciones con las que cuenta la compañía.

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de productos acuícolas de la población mundial se encuentra en aumento por diversos motivos, como lo son: la carne es muy digestible, aporta proteína de buena calidad, también contiene poco tejido conectivo lo que provoca una carne muy suave. Además, estos productos son más bajos en grasa en comparación a otras especies animales (FAO 2004).

Debido al crecimiento acelerado de la población, que abarca cada vez más territorio y limita su uso, se considera a la acuicultura como la actividad del futuro; ya que presenta mayores rendimientos por hectárea que otras producciones pecuarias. Asimismo, la sobreexplotación de los mares y los fenómenos climáticos naturales (niño y niña) también impulsan el desarrollo de esta actividad, la cual sustituye cada vez más las prácticas pesqueras (González 2002).

La trucha arcoíris, que tiene por nombre científico *Oncorhynchus mykiss*, es uno de los productos acuícolas más importantes, pues su producción ha aumentado en gran medida a partir del año 2000, representando una tasa de incremento anual a nivel mundial de 2,9% hasta el 2010. En el año 2008 se produjo 576.289 toneladas, colocándose en la posición número 32 del *ranking* de la producción mundial de acuicultura. De igual manera, en Costa Rica se observó un aumento en producción, por ejemplo, se reportaron valores de 534, 577 y 623 toneladas para los años 2008, 2009 y 2010 respectivamente; lo cual representa el 0,29% de participación en América (Mejía y Mendoza 2013).

Si bien existen diferentes factores que influyen en la producción de truchas, entre los cuales: calidad de agua, temperatura, oxígeno, calidad de peces, prevención y control de enfermedades, alimentación, densidad de carga, entre otros (Rengifo 2005); en este trabajo se enfatizará en los dos últimos dada su interrelación.

En el primer caso se consideró evaluar la calidad física del alimento durante el lapso del experimento y su rendimiento a partir de la tasa de alimentación utilizada en una empresa comercial. La mejor densidad de carga se pretendió determinarla comparando la utilizada en la finca *versus* otras tres, pues en esa explotación no se

ha realizado este tipo de investigaciones, las cuales son de suma importancia ya que ambas determinan la rentabilidad de toda compañía acuícola.

Favorablemente la empresa escogida, cuenta con planta procesadora que permitió además determinar parámetros económicos asociados al rendimiento productivo. Todo con la intención de mejorar la productividad de la finca y así contribuir a satisfacer, de manera más eficiente, la gran demanda de este producto a nivel internacional.

2. OBJETIVOS

2.1. General

- 2.1.1. Comparar diferentes densidades de carga en truchas por medio de parámetros biológicos y económicos, evaluando a su vez el sistema de alimentación utilizado en la empresa y la calidad física del alimento.

2.2. Específicos

- 2.2.1. Determinar diferentes parámetros biológicos (conversión alimenticia, porcentaje de mortalidad, tasa específica de crecimiento, índice viscerosomático, índice de carne y factor de condición de *Fulton* para cada una de las densidades probadas.
- 2.2.2. Calcular varios parámetros económicos (índice de conversión económico, margen bruto y productividad económica) para todas las densidades.
- 2.2.3. Obtener el Coeficiente Térmico de Crecimiento (CTC).
- 2.2.4. Ejecutar la curva de crecimiento en base al CTC, para la densidad que presentó mejores resultados y calcular en base a esta, la tasa de alimentación diaria (TAD) ideal según los requerimientos energéticos.
- 2.2.5. Contrastar la tasa de alimentación que utiliza la empresa contra la determinada en el objetivo anterior.
- 2.2.6. Realizar distintas pruebas en el alimento: tamaño de partícula, densidad, flotabilidad y porcentaje de finos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Factores determinantes en la producción de truchas

El crecimiento de las truchas varía según: el tipo de alimento, frecuencia de alimentación, temperatura y calidad del agua, densidad de cría, oxígeno disuelto, y la línea de origen del pez, entre otros (Bastardo y Sofía 2003). A continuación se describen algunos de estos factores.

3.1.1. Temperatura

Por su parte, la temperatura influye en las actividades fisiológicas fundamentales de la respiración, crecimiento, alimentación y reproducción. Se considera que el rango más conveniente para reproducirse es entre los 8 y 10 °C, mientras que para crecimiento y engorde entre los 10 y 15 °C (INCAGRO 2008); no obstante, Maiz et al. 2010, menciona que el rango más adecuado para esa última fase, es entre 12 y 18 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C provocan que el crecimiento sea demasiado lento; por otro lado, si esta es mayor a 19 °C repercute en niveles de oxígeno disuelto insuficientes para este pez, lo cual, entre otras consecuencias negativas, puede producir enfermedades. (INCAGRO 2008).

3.1.2. Calidad de agua

El agua es el componente en el que viven los peces, lo que la convierte en el elemento fundamental para su cultivo, por eso es importante valorar la mayor cantidad de sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas para evaluar la calidad (Maiz et al 2010).

El oxígeno disuelto es un ejemplo de estas, su distribución en el agua está determinada por: la producción fotosintética, procesos físicos de advección y difusión, el intercambio gaseoso a través de la superficie de agua y el consumo respiratorio de los organismos (Aguilar et al. 2014). Por lo que, considerando este último elemento, a mayor biomasa se aumenta el requerimiento de O₂ en el agua. Además, dicha necesidad también muestra una relación directa con la tasa de consumo de los animales, la cual varía según el peso de los peces y la temperatura

(Jover et al 2003); pero también se incrementa a menor concentración de O₂ (Rincón 2008).

Se han establecido criterios que establecen como cantidad mínima promedio necesaria para mantener la vida en el agua, un valor alrededor de 5,0 mg/l (Calvo y Mora 2007) de oxígeno disuelto. Para las truchas el rango óptimo es de 7,0 a 9,0 mg/l, siendo 5,0 mg/l el límite inferior en el agua de salida del estanque (Carrera 2010).

Otra manera de determinar la calidad del agua considerando el O₂, es mediante el porcentaje de saturación del mismo, el cual se obtiene de la relación entre el oxígeno disuelto real obtenido en el sitio de medición y el O₂ disuelto teórico correspondiente a la medición del agua limpia, a la presión atmosférica y temperatura del mismo lugar. Entre más se alejen los valores al 100%, existe mayor pérdida de las condiciones naturales del cuerpo de agua (Calvo y Mora 2007); por lo que a menor saturación, peor es la calidad de la misma (Aguilar et al. 2014).

Además, es importante mencionar que la branquia es el órgano encargado del intercambio gaseoso entre la sangre y el agua (Martínez-Pereda 1996); dicha estructura va a presentar mayor dificultad para realizar tal labor, conforme se disminuya el porcentaje de saturación de oxígeno (Guerrero 2006). Tal caso repercute en niveles bajos de este elemento en el organismo, por lo que el proceso de producción de ATP en las mitocondrias se torna ineficiente y por ende también los procesos metabólicos como crecimiento, generación de células de defensa, entre otros (Luna-Ortiz et al. 2013). Lo anterior se refleja en elevadas conversiones alimenticias, aparición de enfermedades, disminución de la capacidad reproductiva entre otras repercusiones negativas (Brito 2009).

Como mecanismo compensatorio ante la escasez de oxígeno, en los peces se ejecutan ajustes a nivel fisiológico tales como en la frecuencia cardiaca y en la tasa de respiración (Valenzuela et al. 2002). Lo que se percibe en dicha situación es la presencia de los mismos en la superficie intentando aspirar aire (peces boqueando) (Cano et al. 2009); otras veces nadan de lado a lado o se agrupan en la entrada de agua (Taboada 1989).

Otra propiedad importante, según Ingle de la Mora et al (2003), es la cantidad de amonio (NH_3), pues es tóxico para los peces y otros organismos. La trucha arcoíris sólo puede tolerar de 0,03 a 0,05 mg/l NH_3 ; la persistencia de esta concentración por varios días, puede ocasionar daños graves, incluso la muerte de los peces. Este gas es excretado por los peces a través de sus branquias y la orina. Por lo que a mayor carga de biomasa de peces, más altos valores de amonio se van a obtener. Además, la producción de esta sustancia también puede darse por la descomposición microbiana del alimento no consumido, así como la de las excretas y de los animales muertos (Arredondo et al 1996).

Asimismo, otro factor importante a tomar en cuenta, es la concentración de dióxido de carbono, el que es producido por los peces a través de su respiración y la descomposición de la materia orgánica. Las truchas son muy sensibles a cambios de CO_2 , el cual no debe estar presente en valores mayores a 7 ppm, pues de lo contrario se pueden dar problemas de desequilibrio, adormecimiento y disminución de la frecuencia respiratoria (Chávez y Sánchez 2010).

Otros parámetros críticos que definen la calidad del agua son: pH, alcalinidad, nitrito, nitrato y sólidos suspendidos (Maiz et al 2010). En el Cuadro 1 se puede observar los valores óptimos de algunos de estos.

Cuadro 1. Algunas propiedades físicas y químicas requeridas en el agua para el cultivo de la trucha.

Propiedad	Valor
pH	6,7 a 9
Calcio	Mayor a 52 mg/l
Zinc	Menor a 0,04 mg/l a pH de 7,6
Nitrito	Menor a 0,55 mg/l
Nitrógeno	Menor a 110% de saturación total
Sólidos suspendidos	Menor a 80 mg/l
Sólidos disueltos	Menor a 400 mg/l
Ácido sulfhídrico	Menor a 0,002 mg/l

Modificado de: Maiz et al. (2010).

Por otro lado, otro elemento relacionado con la calidad del agua es la turbidez, pues muestra una relación directa con la deposición de sedimentos y el oscurecimiento del agua (Müller 1979). Esta última consecuencia, es de gran relevancia en la producción de truchas, pues las mismas dependen de la visión para conseguir su alimento (Toledo 1994a). Por lo tanto, si el oscurecimiento es elevado, no pueden capturar los *pellets*.

Un factor que puede modificar la calidad del medio, es el recambio de agua; el cual, entre menor sea, mayor será la acumulación de metabolitos (amonio, nitrito, entre otros), perjudicando el ambiente de los peces (Tandler y Helps 1985). El recambio está en función del flujo de agua o vaciado, el cual se expresa en litros/segundo; asimismo se puede presentar como porcentaje de vaciado del estanque o tasa de recambio (%/hora o %/día generalmente) (Brito 2009).

3.1.3. Densidad de carga

Según INCAGRO (2008) la densidad de carga es el peso de la biomasa en relación al volumen del medio en crianza. Como se mencionó anteriormente, esta se puede modificar en función a la concentración de oxígeno disuelto y por ende también a la cantidad de agua disponible de la misma. Así que es importante conocer el valor adecuado de la cantidad de truchas por metro cúbico, para evitar problemas de captación de oxígeno, competencia por alimento, canibalismo, entre otros; para así obtener una mayor rentabilidad del sistema.

Bajo este enfoque, Maiz et al (2010) recomiendan una densidad máxima de 8 kg/m³ para alevines (truchas de 2 a 7-9 cm de largo) en estanques de cemento o fibra de vidrio. En el Cuadro 2 se muestran otras de las densidades sugeridas según el peso de los mismos.

Cuadro 2. Densidades de carga recomendadas según peso de truchas.

Peso (g)	Densidad (kg/m³)
0,4	4,0
0,9	4,0
1,5	4,5
2,9	7,5
5,1	10,2
12	18,0
22	26,4
33	29,9

Adaptado de: Maiz et al (2010).

Además, los mismos autores mencionan diferentes densidades según la etapa productiva, relacionadas igualmente al peso de los peces; estas se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Densidad de carga según fase de truchas.

Etapa	Peso (g)	Densidad (kg/m³)
Alevines	0,5 a 5	10
Juveniles	6 a 30	30
Levante	31 a 100	40
Engorde	101 en Adelante	40

Adaptado de: Maiz et al (2010).

No obstante, Guerrero (2006) recomienda, para truchas en fase de engorde, que se encuentren en canales o *raceways* (cría intensiva en tanques artificiales, según Quirola y Veintimilla 2008), densidades de 30 a 100 kg/m³; mientras que para animales en jaulas flotantes indica: de 10 a 15 kg/m³ para alevines y de 25 a 30 kg/m³ para los de engorde. Asimismo Perdomo et al (2011) recomiendan de manera

general una densidad de carga de 25 a 40 kg de trucha/m³; la cual concuerda con la sugerida por Domezain et al (2006): 40 kg de truchas/m³, quienes incluso determinaron que no existen diferencias significativas, en cuanto al estrés de los animales, al compararla con una densidad de 10 kg/m³.

Con respecto al incremento de peso Carrera (2010) obtuvo diferencias significativas en truchas con un peso inicial de 60 g, al comparar dos densidades: 30 peces/m³ y 60 peces/m³, lo que equivale a 1,8 kg/m³ y 3,6 kg/m³ respectivamente; obteniéndose como densidades finales: 4,4 kg/m³ y 7,6 kg/m³. Esto indica que se obtuvo un incremento de peso de 21,65 g más en las truchas con densidad de 30 truchas/m³ con respecto a las de 60 truchas/m³. En cuanto a las conversiones alimenticias, se obtuvieron: 1,59 y de 2,02; y rentabilidades de 124,96% y 109,78% para las densidades de 30 truchas/m³ y 60 truchas/m³ respectivamente. Mientras que no hubo diferencias significativas para la sobrevivencia.

En otra instancia, Guerrero (2006) menciona que con el oxígeno disuelto también se puede estimar la cantidad de animales para el estanque, en este caso menciona que 0,5 kg O₂/día mantiene 100 kg de trucha nadando. Además, la densidad de carga puede ser también calculada en función al caudal de agua, por lo que recomienda 1 kg de trucha nadando a 1 litro/minuto para peces en *raceways*. Asimismo Jover et al (2003) recomienda de 1,0 a 1,5 kg de trucha por cada litro por minuto de agua disponible; lo cual es muy similar a lo sugerido por Perdomo et al (2011), esto es entre: 1,07 y 1,5 kg de trucha por cada litro por minuto.

3.1.4. Alimentación

Para alimentar de manera adecuada a las truchas, es importante conocer la composición del valor calórico (energía bruta) de los alimentos, los cuales están compuestos por carbohidratos, lípidos y proteínas; estas últimas son los principales componentes de los que los peces extraen energía; de hecho los requerimientos de proteína por unidad de energía son superiores a los de los animales terrestres (Sanz y Zamora 2012).

En el organismo de los peces al degradarse las sustancias ingeridas, se libera energía que será utilizada en el mismo; parte de esta se pierde en forma de heces, la

cual se le conoce como energía fecal. Por lo que el resultante al restarle la energía fecal a la bruta es la energía digestible; de la cual se pierde alrededor de 12-13% en los productos finales de los aminoácidos (amoníaco, agua y anhídrido carbónico). El amoniaco se elimina principalmente por las branquias y en menor medida por la orina en forma de urea, por lo que queda como resultado la energía metabolizable; parte de esta se gasta en la digestión y mantenimiento corporal o actividad física y lo que resta, es la energía neta o retenida, la cual se acumula en el cuerpo para desarrollar nuevos tejidos, en forma de proteínas principalmente músculos y otra parte como grasa (Chávez 2008). Para ilustrar de manera más simple, se puede observar la Figura 1.

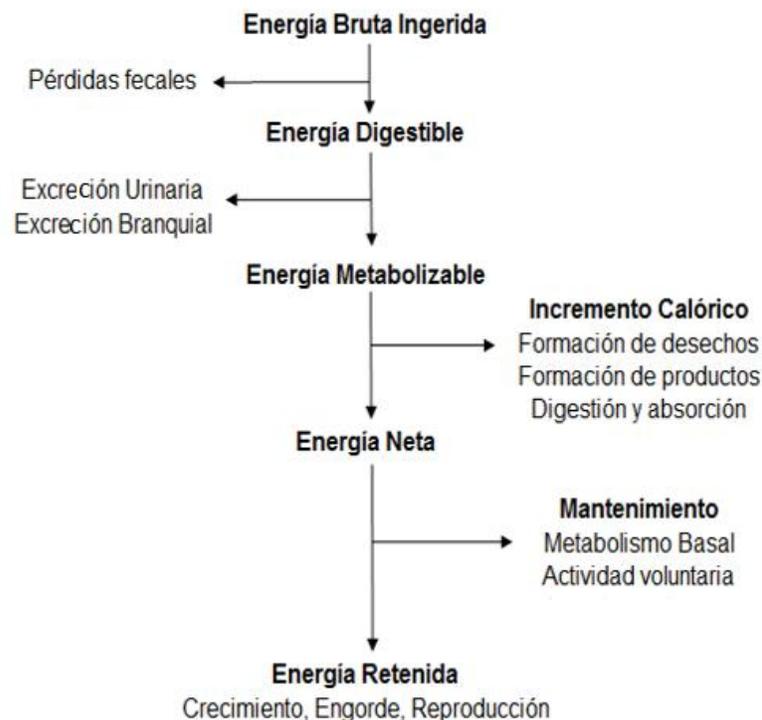


Figura 1. Diagrama de distribución de la energía de la dieta en peces. Adaptado de Arce (2014).

De esta manera, entre mayor sea la calidad (principalmente en términos de proteína) del alimento, menor va a ser la pérdida de energía en todos los procesos y va a ser mayor la cantidad retenida que el pez puede aprovechar para su crecimiento (Chávez 2008).

Según Jover (2000) para alimentar los peces existen diferentes alternativas:

- *A saciedad o ad-libitum*
- Aplicar las tablas de alimentación comerciales
- Predecir el crecimiento y suministrar tasas de alimentación específicas en función de datos previos de la eficiencia alimenticia; o bien aplicar un esquema bioenergético a partir del crecimiento predicho.

Aunque Morales y Quirós (2007) determinaron que alimentar a saciedad es la mejor opción (vs aplicar modelo bioenergético), Jover (2000) manifiesta que sí se obtiene el máximo crecimiento bajo ése sistema de alimentación, pero el factor de conversión alimenticia podría aumentarse. Además, dos limitantes suelen ser: la imposibilidad de disponer de comederos de autodemanda y la dificultad de identificar la saciedad de los peces. El mismo autor menciona que las tablas de alimentación otorgadas por las empresas comerciales suelen sobrestimar la cantidad de pienso (alimento) a suministrar, lo cual repercute en baja eficiencia alimenticia y por ende un mayor impacto al ambiente (alimento no consumido). Por lo tanto, si se quieren evitar tales problemáticas, lo mejor es utilizar alimentación restringida a través de un esquema bioenergético.

Según Cho (2004) dicho esquema consiste en evaluar el incremento de peso de los animales con el valor calórico de los alimentos mediante el uso de modelos matemáticos que relacionan éste con las diferentes fases del metabolismo digestivo, lo cual se puede lograr por medio del siguiente procedimiento:

1. Obtener la energía retenida (RE), utilizando la ganancia de peso esperada (LWG = Final BW – inicial BW) según el modelo de crecimiento seleccionado, mediante la fórmula:

$$RE = (0,004 \text{ g BW}^2 + 5,58 \text{ g BW} + 7,25) \text{ kJ/g BW} \times \text{LWG}$$

Donde:

RE: Energía retenida (por sus siglas en inglés *retained energy*)

BW: Peso vivo (por sus siglas en inglés *body weight*)

LWG: Ganancia de peso esperada (por sus siglas en inglés *live weight gain*)

2. Determinar las necesidades de energía de mantenimiento de la siguiente manera:

$$\text{MER} = (-0,0104 + 3,26T - 0,05T^2) (\text{kg BW}^{0,824}) \text{ kJ/día} \times \text{días}$$

Donde:

MER: Necesidades de energía de mantenimiento (por sus siglas en inglés *maintenance energy requeriment*).

T: Temperatura

BW: Peso vivo

3. Calcular el incremento calórico por mantenimiento y crecimiento ($\text{HiE}_{\text{M+G}}$, por sus siglas en inglés *heat increment of feeding for maintenance and growth*):

$$\text{HiE}_{\text{M+G}} = (\text{RE} + \text{MER}) \times 0,2$$

4. Estimar las pérdidas de energía por excreción no fecal (GE+UE , por sus siglas en inglés *gill excretion + urinary excretion*):

$$\text{GE+UE} = (\text{RE} + \text{MER} + \text{HiE}_{\text{M+G}}) \times 0,1$$

5. Obtener las necesidades totales de energía digestible (TER , por sus siglas en inglés *theoretical energy requeriment*) (kJ):

$$\text{TER} = \text{RE} + \text{MER} + \text{HiE}_{\text{M+G}} + \text{GE+UE}$$

6. Determinación de la ración de la dieta requerida (RA , por sus siglas en inglés *ration allowance*) (g):

$$\text{RA} = \text{TER} / \text{kJ ED/g alimento}$$

Por otro lado, Morales (2004), recurre a dos metodologías para estimar la tasa de alimentación. Una con ración para mantenimiento y otra con ración para crecimiento, y haciendo uso de dos modelos matemáticos. Ambas se explican en los siguientes párrafos.

1. Con ración para mantenimiento:

En este caso se busca que las truchas no cambien de manera significativa de peso. El modelo de Haskell (1959) para determinar esta tasa de crecimiento, se muestra en la siguiente ecuación:

$$TA = (\Delta L * 300 * FCA) / L$$

Donde:

TA: Tasa de alimentación (en % del peso corporal/día)

ΔL : Incremento diario de longitud

300: Constante de Haskell

FCA: Factor de conversión de alimento, también conocido en la literatura como FCR por sus siglas en inglés *food conversion ratio*

L: longitud

Además, se puede calcular la tasa de crecimiento a partir de la temperatura, determinando el Crecimiento por Unidad Térmica (CUT), el cual es el aumento en longitud por cada unidad de temperatura (cada grado centígrado) y se obtiene según la ecuación:

$$CUT = (L_f - L_i) / (TMD * t)$$

Donde:

L_f: longitud final

L_i: longitud inicial

t: Periodo en días entre L_i y L_f

TMD: Temperatura media diaria del agua

De ahí se puede estimar la tasa de alimentación utilizando la siguiente fórmula:

$$TA = TMD * (300 * CUT * FCA) / L$$

Asimismo, según Morales (2004), utilizando el factor de condición corporal o K (este se describe en párrafos posteriores de este escrito); la tasa de alimentación se puede determinar de la siguiente manera:

$$TA = 2 * TMD / 100 * K * L$$

2. Con ración de crecimiento

En este caso se busca que se genere un excedente de energía que es destinado al crecimiento, al cual se le conoce como *Energía retenida*; esta equivale aproximadamente al 30% de la *energía bruta* ingerida en los salmónidos. Para calcularla, la diferencia con respecto a la fórmula anterior, es la constante de crecimiento (C), la cual indica la proporción de la energía que se canaliza al crecimiento. Por lo tanto la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$TA = (2 * TMD / 100 * K * L) / (1 - C)$$

Donde:

C: Constante de crecimiento

L: Longitud

Asimismo, la tasa de alimentación en los peces no sólo está ligada a la tasa de crecimiento, sino también a la temperatura, pues en estos animales al ser poiquilótermos, su metabolismo se ve influenciado por la misma. Siendo así, el incremento de la temperatura hace que se acelere el metabolismo basal y el crecimiento de estos organismos, consecuentemente aumentando su requerimiento proteico. Sin embargo, otros autores mencionan que la temperatura no influye en los requerimientos de proteína cuando los peces se encuentren dentro de su rango normal de la misma. Sanz y Zamora (2012) reportan que el requerimiento para trucha arco iris es de 35% tanto a 9 °C como a 18 °C.

Asimismo, según Venegas et al (2008) existe una manera para determinar una curva de crecimiento considerando la temperatura acumulada en un periodo determinado, de esta se puede desprender la tasa de alimentación según el peso de los animales. Esto se logra mediante el Coeficiente de Crecimiento por Unidad Térmica (TGC), el cual se calcula de la siguiente manera:

$$TGC = \frac{((W_f^{1/3}) - (W_i^{1/3}))}{\Sigma T * d} * 1000$$

Donde:

TGC: Coeficiente de Crecimiento por unidad Térmica

Wf: Peso final del pez en gramos

Wi: Peso inicial del pez en gramos

ΣT : Sumatoria de temperatura media en grados Celsius

d: Número de días entre las mediciones de ambos pesos

Otro modelo matemático que si estima el crecimiento de los peces involucrando la acumulación térmica durante el tiempo en estudio, es el introducido por Cho y Bureau (1998): el Coeficiente Térmico de Crecimiento o CTC, el cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$CTC = \frac{(P_f^{1/3} - P_i^{1/3})}{\Sigma ^\circ C_e}$$

Donde:

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

$\Sigma ^\circ C_e$ = Suma de las temperaturas efectivas medias diarias en grados centígrados.

La temperatura efectiva, según Atwood et al (2003), es la diferencia entre la temperatura mínima que necesita la especie para satisfacer las necesidades calóricas para su mantenimiento y la temperatura media diaria. Por lo que al multiplicar esta por los días considerados se consigue la sumatoria de la temperatura efectiva, por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$\Sigma^{\circ}\text{Ce} = \text{Temperatura efectiva (T)} * \text{Tiempo (t)}$$

A manera de comprender el efecto de la temperatura en el crecimiento, es oportuno considerar la curva de crecimiento que se obtiene de los modelos de crecimiento de estos animales. Dada a su fisiología natural, presenta un comportamiento sigmoideo (Dumas et al 2010) presentado en la Figura 2 que, a diferencia de los animales terrestres, los peces son capaces de continuar creciendo a lo largo de su vida aún después de alcanzar su madurez sexual.

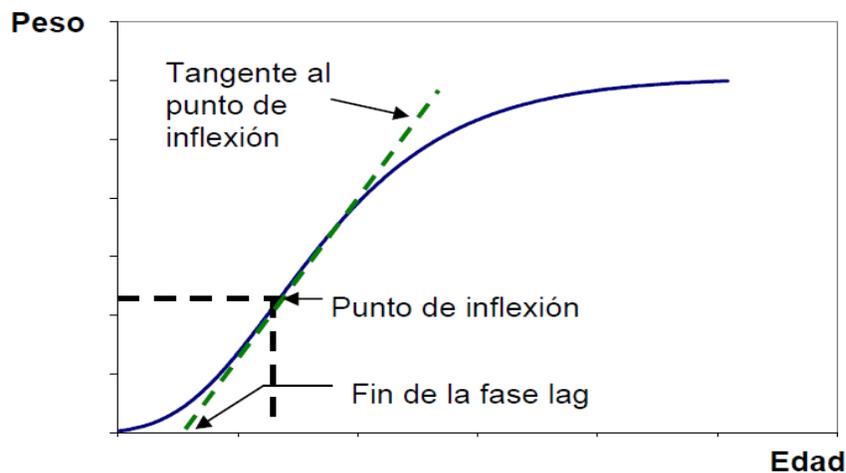


Figura 2. Curva de crecimiento tipo sigmoideo y parámetros asociados en su evaluación. Tomado de Aguilar (2010).

De la Figura 2, según Aguilar (2010) se desprenden dos puntos importantes:

- El punto de inflexión: En este termina la fase de aceleración del crecimiento y empieza a desacelerar el mismo, por lo tanto es el momento en el que se da el mayor crecimiento por unidad de tiempo.
- Finalización de la fase lag o de estructuración: este corresponde a la tangente que pasa por el punto de inflexión. En este punto el organismo está listo para expresar las mayores tasas de crecimiento.

Con base en lo anterior, es factible elaborar tasas de alimentación que asocian dicho comportamiento. Un ejemplo se encuentra en el Cuadro 4, donde se puede observar

cómo a mayor peso del animal, la tasa de alimentación es menor y a más temperatura, se incrementa.

Cuadro 4. Alimentación de trucha en porcentaje de biomasa total, según peso y temperatura.

Peso (g)	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C	11°C	12°C	13°C	14°C	15°C
0,38-0,76	2,9	3,4	3,7	3,9	4,6	4,8	5,2	5,8	6,0	6,4
0,77-1,42	2,8	3,3	3,6	3,8	4,4	4,7	4,9	5,6	5,9	6,1
1,43-2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5	4,8	5,1	5,6	5,8
2,5-4,9	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9	4,0	4,6	4,9	5,0	5,1
5-7,68	2,3	2,6	2,8	3,0	3,6	3,8	4,3	4,5	4,6	4,7
7,69-10,9	2,1	2,3	2,5	2,8	3,3	3,6	3,7	3,9	4,0	4,1
11-24,9	1,9	2,0	2,1	2,4	2,7	2,9	3,0	3,2	3,6	3,8
25-32,9	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,4	2,6	3,0	3,2
33-49,9	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,2	2,8	2,9
50-66,9	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,4	2,5
67-99,9	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,4
100-199	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
200-499	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
500-600	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6
>600	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,3	1,5

Fuente: Rengifo (2005).

3.2. Parámetros para evaluar productividad

Existen diferentes maneras de evaluar la productividad o el rendimiento de los sistemas con animales, algunos de estos son de tipo biológico, mientras que otros miden la parte económica (Guaya 2012). A continuación se describen algunos parámetros de ambas categorías.

3.2.1. Parámetros biológicos

Con estos se puede evaluar el desempeño fisiológico de los animales (Schilling 2013). Entre estos se pueden mencionar: conversión alimenticia, porcentaje de mortalidad, tasa específica de crecimiento, índices biológicos (hepatosomático, viscerosomático, de grasa visceral, de carne y de partes no comestibles) y el de condición de *Fulton*, entre otros. Los cuales se detallan seguidamente.

➤ **Conversión Alimenticia**

Según Carrera (2010), es la cantidad de alimento requerido por los peces para incrementar una unidad de peso. Esta se expresa como factor de conversión alimenticia y se calcula mediante la siguiente fórmula:

F.C.A= Cantidad de alimento suministrado / Incremento de peso de la población

➤ **Tasa específica de crecimiento (SGR)**

Esta es utilizada como un modelo de crecimiento en acuicultura, sin embargo no considera el efecto del tamaño corporal ni el de la temperatura, por lo que el pronóstico que se obtiene a partir de esta puede ser perturbado por cambios en la temperatura ambiental; no obstante se utiliza en gran medida en la literatura, por ser un método de medición muy práctico (Arce 2014).

Según Morales (2004) se determina mediante la fórmula:

$$SGR = ((\ln (\text{peso final}) - \ln (\text{peso inicial}))/\text{días}) * 100$$

Donde:

ln: Logaritmo natural

El resultado obtenido se interpreta de tal manera que a mayor valor de SGR, mayor es la ganancia de peso en el periodo determinado (Morales 2004).

➤ **Mortalidad**

Según Patzi (2013), la mortalidad se puede determinar contabilizando los peces muertos cada día durante el periodo. Esta se expresa como el porcentaje de truchas muertas del total de ellas (Alvarado 1999).

➤ **Índices biológicos**

Estos son utilizados por lo general para medir de manera cuantitativa el estrés en los peces, pues la respuesta de los organismos ante este, se ve reflejada en su estado fisiológico. Por lo que los índices: hepatosomático, viscerosomático y el de condición K de *Fulton* se han utilizado como indicadores biológicos del estrés (Rojo 2009).

▪ **Factor de condición corporal de *Fulton***

Este factor es útil para relacionar la longitud (cm) de un pez con su peso (g) (Morales 2004). Por lo que se utiliza para cuantificar de manera numérica el estado nutricional del pez; de modo que valores inferiores a 1 revelan que el pez está delgado, mientras que igual o mayor a 1 reflejan peces saludables u óptimos (Schilling 2013). Asimismo, entre dos peces de igual longitud, el que esté mejor alimentado obtendrá un valor mayor para este factor (Morales 2004). Según Morales y Quirós (2007) el factor de condición corporal de *Fulton* (K) se determina mediante la fórmula:

$$K = (\text{peso individual (g)} / (\text{longitud total (cm)})^3) * 100$$

▪ **Índice viscerosomático (IVS)**

Este indica la proporción de las vísceras con respecto al peso total del organismo (Schilling 2013). Es importante pues indica si hubo algún factor que afectó a una población de peces; ya que entre más homogéneo sea este índice en la misma, menos se vieron afectados los animales por cualquier causa (Rojo 2009). Asimismo puede ser indicativo de anormalidades fisiológicas, por ejemplo, Borbón y González (2012) encontraron IVS superiores en los individuos que estuvieron expuestos en mayor medida a fetión (insecticida organofosforado usado en todo el mundo), esto debido a la acumulación de secreción líquida en el tracto gastrointestinal; sin

embargo si el tratamiento provocase diarreas, este índice va a ser menor al de los animales control. Según Schilling (2013) se determina mediante la ecuación:

$$\text{IVS} = 100 * \text{Peso vísceras (g)} / \text{Peso total (g)}$$

- **Índice hepatosomático (IHS)**

Este relaciona el peso del hígado con respecto al del animal y es útil como indicador de reservas del organismo (Schilling 2013); por lo que entre mayor sea el valor, mejor condición nutricional presentan los peces (Rojo 2009). Según Schilling (2013) se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IHS} = 100 * \text{Peso hígado (g)} / \text{Peso total (g)}$$

- **Índice de grasa visceral (IGV)**

Este muestra la proporción de la grasa en las vísceras con respecto al peso total del pez. Según Souza et al (2002), al igual que el índice hepatosomático, es un indicador de reservas del organismo, se considera que estos lípidos son utilizados por los peces una vez que ya han sido agotadas las reservas del hígado, sin embargo, el mismo autor menciona que se ha reportado el uso de la grasa visceral como primer fuente de energía disponible; asimismo se entiende que los lípidos se encuentran en diferentes órganos y tejidos según la edad y especie, además los mismos afectan la calidad de la carne.

Para calcularlo se utiliza la siguiente fórmula, según Souza et al (2002):

$$\text{IGV} = 100 * \text{Peso grasa visceral (g)} / \text{Peso total (g)}$$

- **Índice de carne (ICAR) o rendimiento de filete**

Este relaciona el peso de las partes comestibles del animal (faldas y lomos) con respecto a su peso total. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$\text{ICAR} = 100 * (\text{P. faldas} + \text{plomos}) \text{ (g)} / \text{Peso total (g)}$$

- **Índice de partes no comestibles (IPNC)**

Este es una proporción de las partes del pez que no se aprovechan para el consumo y el peso total del mismo. Se determina utilizando la fórmula:

$$\text{IPNC} = 100 * (\text{P.cabeza} + \text{P.raquis} + \text{P.aletas} + \text{P.vísceras}) \text{ (g)} / \text{Peso total (g)}$$

3.2.2. Parámetros económicos

Estos se utilizan para medir la productividad, entre los cuales están: índice de conversión económico, margen bruto, productividad económica, índice de beneficio económico (Moñino et al 2002). Cada uno de estos se explica en los siguientes párrafos.

- **Índice conversión económico**

Según Moñino et al (2002), se define como el gasto en alimento necesario para producir un kilo de peso del animal. Se calcula mediante la fórmula:

Índice conversión económico = precio del alimento * Índice de conversión del alimento.

- **Margen bruto o Beneficio**

Este corresponde, según Moñino et al (2002), al valor de las ventas del producto menos el costo del alimento utilizado; por lo que se determina de la siguiente manera:

$$\text{Margen bruto} = \text{Valor de Ventas} - \text{Costo del alimento}$$

- **Productividad económica**

De acuerdo a Moñino et al (2002), esta equivale a la proporción entre el margen bruto y el costo del alimento utilizado, por lo que entre mayor sea el valor, mejor es el

resultado, pues más ingresos se obtienen en relación al gasto efectuado en el pienso. La ecuación para determinarlo es la siguiente:

Productividad = Margen bruto/Costo del alimento

3.3. Pruebas físicas en el alimento

El control de calidad del alimento es fundamental para garantizar un buen consumo, una baja tasa de conversión alimenticia, animales sanos y un aumento en los rendimientos de producción (Cruz et al 2006). Algunas de las pruebas que se realizan para verificar si es apropiada son: tamaño de partícula, porcentaje de finos, flotabilidad, estabilidad en el agua y densidad.

3.3.1. Tamaño del *pellet*

Para los peces que utilizan la visión para capturar el alimento, el tamaño de este es de gran relevancia; pues, aunque los mismos si pueden consumir *pellets* de tamaño pequeño, requieren de mayor cantidad de energía para capturarlos, repercutiendo en una menor eficiencia alimentaria. Además, estos especímenes tienen un límite de tiempo para capturar e ingerir cierto número de partículas, por lo tanto si el tamaño es más pequeño al óptimo, van a consumir una cantidad inferior de las mismas (Toledo 1994a).

Así que, ésta propiedad en conjunto con la uniformidad, determina la eficiencia en el aprovechamiento del alimento (Vargas 2003). Existe una relación directa entre la tasa de crecimiento de los peces y el tamaño del alimento suministrado (Tacón 1989). De hecho Tabachek (1988) encontró en truchas, un efecto significativo del tamaño de pellet en la eficiencia alimentaria y en la tasa de crecimiento.

El tamaño ideal se ha correlacionado con el peso corporal, longitud y tamaño de la boca de estos animales (Toledo 1994a). Un ejemplo es el presentado en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Tamaño de alimento para truchas según su peso.

Peso de trucha Arcoiris (g)	Tamaño del alimento (diámetro en mm)
0-0,5	0,5-0,8 gránulo
0,5-4	0,8-1,8 gránulo
4-10	1,8 <i>pellet</i>
10-25	2,4 <i>pellet</i>
25-75	3,2 <i>pellet</i>
75-150	4,8 <i>pellet</i>
150-500	6,4 <i>pellet</i>
500-1000	8,0 <i>pellet</i>
Más de 1000	9,6 <i>pellet</i>

Adaptado de Tacón (1989)

Según Reyes (2011), para determinar el tamaño de partícula del alimento, existe el método del tamizado, el cual consiste en:

1. Se coloca un conjunto de tamices normalizados, acoplados de manera vertical.
2. Se coloca la muestra en el tamiz superior
3. Se provocan sacudidas mecánicas al conjunto durante un tiempo determinado.
4. Se retiran las partículas retenidas en cada tamiz y se pesan.
5. Se calculan los porcentajes relativos de cada tamaño.

3.3.2. Porcentaje de finos y *pellet* quebrado

Los finos se denominan como las partículas del alimento que no son del tamaño que se especifica en el mismo. Estos se producen por la mala elaboración del alimento y/o a través del manejo del mismo hasta antes de ser brindado a los animales (puede darse quebradura de *pellets*). La presencia de finos repercute negativamente en el buen desempeño de los animales, además en el aumento de la contaminación del medio pues estos no serán consumidos por los peces (Cruz et al 2006). Por lo tanto se admite un máximo de 3 a 5% de finos en un alimento (Vargas 2003). En cuanto a la metodología utilizada para medirlos, puede ser la misma descrita para determinar tamaño de partícula (Reyes 2011).

3.3.3. Densidad por pieza de *pellet*

La densidad del alimento está relacionada con el tamaño de partícula del mismo, pues los *pellets* de mayor tamaño no solo ocupan más espacio sino que se espera tiendan a ser más pesados y susceptibles a sufrir resquebrajaduras, lo que va a resultar en una mayor cantidad de finos presentes. Por lo tanto la densidad y el tamaño de partícula influyen de manera directa sobre la flotabilidad del alimento (Vargas 2003).

Según Cruz et al (2006), un método utilizado para medir la densidad del *pellet* consiste en:

1. Medir 30 ml de agua en una probeta de 100 ml
2. Pesar 15 g de muestra con una precisión mínima de 0,01 g
3. Depositar la muestra de alimento en la probeta con agua utilizando un embudo.
4. Golpear la probeta con las manos (10 veces por segundo aproximadamente) hasta eliminar las burbujas formadas.
5. Calcular la densidad del *pellet* con la fórmula:

$$\rho = m / (V2 - V1)$$

Donde:

ρ : Densidad

m: Peso de la muestra (g)

V2: Volumen después de agregarse la muestra

V1: Volumen antes de agregarse la muestra

3.3.4. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente está ligada a la flotabilidad de los alimentos extruidos, pues está directamente relacionada con el grado de expansión que se obtiene durante la extrusión, el cual es un determinante de la misma; por lo tanto, a mayor DA más alto es el porcentaje de flotabilidad (Rodríguez et al 2014).

Este parámetro se puede determinar mediante la metodología utilizada por Pantoja et al (2011), la cual se especifica a continuación:

1. Determinar la masa a 10 *pellets* cilíndricos con una balanza de precisión 0,0001 g.
2. Determinar la longitud y el diámetro.
3. Promediar los datos y calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\rho = m / (\pi r^2 h)$$

Donde:

ρ : Densidad del pellet (kg/m³)

m: Masa (kg)

r: Radio (m)

h: Altura (m)

π : Constante "pi" (3,14)

Asimismo, otra metodología es la utilizada por Vargas (2003), esta es la siguiente:

1. Agregar *pellets* en un beaker hasta alcanzar un volumen en 200 ml.
2. Pesar esos gránulos

3. Aplicar la fórmula:

$$\rho = m/v$$

Donde:

ρ : densidad

m: masa (g)

v: volumen (ml)

3.3.5. Flotabilidad y estabilidad en el agua

La flotabilidad es la capacidad de un *pellet* para sostenerse en la superficie del agua ya que la densidad de este material es menor que la del agua. Muchos factores pueden afectarla entre esos están: la tensión superficial, interfase entre el alimento peletizado y el agua, volumen del *pellet*, temperatura, salinidad, tipo de proceso de elaboración el alimento, tipo de carbohidratos presentes, entre otros (Cruz et al 2006). Un alimento es definido como flotable, cuando el porcentaje de esta propiedad es superior a 90% (Schewertner y Liu 2003).

Esta propiedad es de suma importancia, pues el alimento corresponde al porcentaje de costos más alto de la totalidad (Morales y Quirós 2007), por lo se debe minimizar el exceso de alimento suministrado o desperdicio del mismo; lo cual se facilita con un alto porcentaje de flotabilidad, ya que entre mayor sea este, más fácil es para los operarios detectar el consumo de los *pellets* y por ende la saciedad de los peces (momento en que concluye el proceso de alimentación), evitando así el desprendimiento extra de alimento que no será consumido por los animales (Pokniak et al. 1999); tal momento puede ser determinado basándose en el comportamiento de los peces, con indicadores como: poca actividad en la superficie, natación profunda y en cardumen, baja actividad predadora y alimento sin ser consumido por debajo de 50 cm de profundidad (Morales y Quirós 2007).

Si se utiliza un alimento de menor flotabilidad que la adecuada (según la especie), se puede generar un desperdicio de alimento, ya que este se va a hundir antes de ser consumido por los animales, lo que va a ocasionar tanto pérdidas económicas como reducción del oxígeno disuelto en el agua debido a la descomposición del mismo.

Además los animales van a tardar más en alcanzar su peso comercial, por lo que permanecerán por más días ocupando espacio en los estanques, volviendo el sistema menos eficiente (Vargas 2003). Provocando al mismo tiempo perjuicios en el ambiente, por medio del alimento no consumido (Pokniak et al. 1999).

Para medirla, Pantoja et al (2011) utilizaron el siguiente método:

1. Realizar un cuarteo del pienso.
2. Seleccionar 100 *pellets*.
3. Depositarlos en un beaker con 400 ml de agua a 25 °C.
4. Dejar en reposo por tres horas.
5. Cuantificar los gránulos que se mantuvieron en la superficie.
6. Determinar el porcentaje de flotabilidad.

Al mismo tiempo, Toledo (1994a), sugiere el procedimiento:

1. Obtener una muestra de *pellets* de un mismo calibre.
2. Homogenizar las longitudes de estas partículas.
3. Determinar el peso y el volumen de los gránulos.
4. Llenar una probeta graduada con agua dulce o salada
5. Introducir dos o tres *pellets* y observar el volumen desplazado
6. Aplicar la fórmula:

Flotabilidad = empuje – peso seco pellet

Empuje = densidad del agua (g/cm³) * volumen desplazado del pellet * g

g = aceleración de la gravedad (cm/s)²

Asimismo, Vargas (2003), establece el siguiente método:

1. Realizar cuarteo del pienso.
2. Agregar muestras en un recipiente con 200 ml de agua.

3. Contar la cantidad de gránulos que flotan después de 2 minutos de haberlos agregado.

Muy similar es el procedimiento de Berman (2007), quien la calculó midiendo el tiempo en minutos que tarda el *pellet* en hundirse.

Es importante medir esta propiedad, así como también la estabilidad del mismo en el agua; esta última es una medida cuantitativa de la conservación de la integridad física y química, se expresa como el porcentaje de pérdida o de retención de materia seca o de nutrientes (Cruz et al 2006). Ambos análisis son útiles para determinar si el *pellet* reúne las características físicas para adaptarse a las condiciones acuáticas de la producción de la especie específica (Berman 2007).

Para obtener la estabilidad en el agua, se mide el tiempo en el que el *pellet* pierde su estructura extruida inicial (Berman 2007). Otra manera, según Cruz et al (2006) es:

1. Pesar la muestra de alimento en una canasta o tamiz.
2. Sumergir la canasta con la muestra en el agua durante un tiempo definido.
3. Se seca la canasta con la muestra lixiviada hasta peso constante
4. Calcular el porcentaje de peso pérdida de materia seca aplicando la fórmula:

$$\%PMS = 100 * ((P_i - P_c) * [MS]_a - (P_f - P_c)) / ((P_i - P_c) * [MS]_a)$$

Donde:

%PMS: Porcentaje de pérdida de material seca

P_c: Peso de la canasta seca

P_i: Peso de la canasta + alimento inicial

[MS] a: Concentración de la materia seca en el alimento inicial

P_f: peso de la canasta + alimento lixiviado seco

Es fundamental aclarar que estas mediciones se deben realizar con una estandarización de todos los factores influyentes, entre ellos: salinidad, temperatura, tiempo de maduración del *pellet*, tiempo de lixiviación, velocidad y tipo de agitación

de los pellets, la luz de la malla y el movimiento de la misma, a fin de obtener resultados precisos, repetibles y comparables (Cruz et al 2006).

Por otro lado existen alimentos que se categorizan como *alimentos hundibles*, los cuales se caracterizan por que después de un minuto de ser vertidos al agua, no más del 1% de los gránulos permanecen flotando (Liu et al. 2004). Para medir esta propiedad, se puede ejecutar el método utilizado por Rodríguez et al. (2014); el cual consistió en determinar la tasa de hundimiento (cm/s) al registrar el tiempo que tarda un *pellet* en hundirse desde la superficie del agua, a una profundidad de 42,5 cm en una probeta de 200 ml.

4. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA

4.1. Descripción de la empresa

A continuación se mencionan algunas características de la compañía en la que se realizó este estudio:

- El proyecto se realizó en la empresa Truchas Reales de Costa Rica, ubicada en San Gerardo de Dota, Costa Rica; localizada a una latitud de 172,363° y una longitud de 557,175°. Sus respectivas coordenadas son: 483562 y 388410. A una altitud de 2.180 m.s.n.m.
- Se caracteriza por ser la principal productora de trucha a nivel centroamericano, produciendo actualmente alrededor de 7.000 kg/semana. El sistema se maneja en cuatro etapas:
 - a) Huevos (desde huevo embrionado a alevín de 40 g, con una duración de 28 días)
 - b) Alevines (de 40 a 150 g, con una duración de 45 días)
 - c) Juveniles (de 150 a 300 g, con una duración de 3 a 4 meses)
 - d) Engorde (de 300 a 450 g, con una duración de 2 a 3 meses)
- Se trabaja con un sistema superintensivo de estanques de concreto tipo *raceways*, cuya agua proviene del Río Saavegre, en el cual se vuelve a retornar pasando antes por cuatro sedimentadores. No se utiliza aireación mecánica.
- La alimentación es a saciedad, no obstante, la empresa estima que por lo general las TAD que se alcanzan permanecen dentro del rango: 1,6 a 2% del peso vivo tanto en juveniles como en animales de engorde.
- El alimento utilizado presenta las siguientes características: 33,0% de proteína cruda, 8,0% de extracto etéreo, 6,0 % de fibra cruda, 10,0% de cenizas, 10% de humedad, entre 1 y 1,5% de calcio, 1,0% de fósforo, 100mg/kg de vitamina C, 300 UI/kg de vitamina E, 4.514 kcal/kg de energía digestible y un tamaño de partícula de 7,0 mm. La presentación del mismo es en sacos de 30 kg.
- Se pretende alimentar los siete días de la semana (una, dos o tres veces al día según la turbidez del agua), no obstante, puede variar dependiendo de la

disponibilidad de mano de obra, pues puede ser escasa en días de mucho trabajo en planta. Además, en carencia de alimento también cambia.

- El caudal de agua es de 300 l/s y el porcentaje de recambio es de 180%/hora aproximadamente.
- Se trabaja en la actualidad con una densidad de 28 kg trucha/m³.
- La compañía cuenta con su propia planta de proceso, lo que hace posible evaluar el rendimiento y algunos de los índices antes mencionados, que sólo se pueden estimar durante el procesamiento.
- Se manejan pocos registros productivos.

Procedimiento general

4.2. Ensayo de comparación entre densidades de carga.

En los siguientes puntos se resumen las pautas que se siguieron en este ensayo:

- Se colocaron 24 jaulas de *nylon* de 1 m³ (cada una sujeta a su respectivo marco de PVC, de 1,25 x 1,25 m que flota en la superficie) en dos estanques con las siguientes dimensiones: E1 = 8,65 x 19,45 x 1,15 m y E2 = 8,00 x 19,45 x 1,32 m; para un volumen total de 193,48 y 205,39 m³ respectivamente; abastecidos por agua de segundo y tercer uso en ese mismo orden, es decir E2 contó con agua utilizada una vez más que E1. Las jaulas se ajustaron de forma que quedó entre el fondo de la misma y el estanque un espacio de un 18% de la totalidad de la columna de agua, en las jaulas más cercanas a la entrada de agua; mientras que las más alejadas a esta un 20%, esto para las jaulas de E1. Asimismo, en las de E2 esos valores fueron de 31 y 34% respectivamente.
- Los animales se encontraban iniciando la etapa de engorde, mantenían como pesos promedios $295,71 \pm 71,7$ g y de $300,51 \pm 80,0$ g para los estanques E1 y E2. En las jaulas se introdujeron los peces capturados de dichos estanques, distribuyéndose de manera aleatoria las densidades a evaluar o tratamientos: 24, 26, 28 (la que utiliza la empresa) y 30 kg trucha/m³ o bien: D24, D26, D28 y D30; con 6 repeticiones de cada una. Se consideró importante contemplar

los estanques como bloques: E1 y E2; al mismo tiempo, la posición en el estanque con respecto a la entrada de agua se determinó como otro bloque (se trató como factor para efectos prácticos): adelante, medio, atrás; pero no se midió la interacción estanque-posición pues no es de interés. En base en lo anterior los tratamientos se distribuyeron como se ilustra en la Figura 3, mientras que en el Anexo 1 y 2 se puede visualizar fotos reales en campo. Es importante aclarar que los estanques además de las truchas enjauladas, también contenían especímenes *libres* de la misma fase productiva criados de manera normal por la empresa, con la intención de aprovechar el espacio.

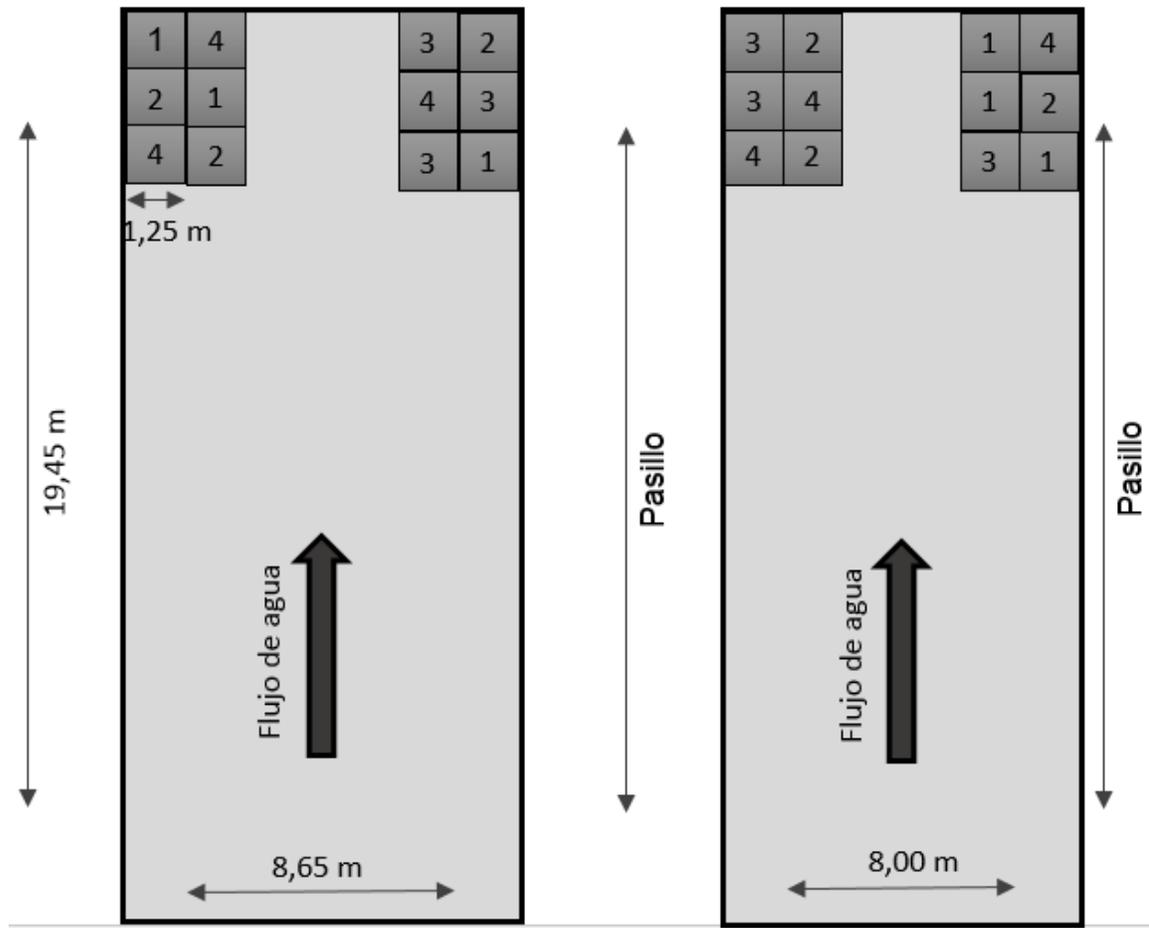


Figura 3. Distribución de jaulas en los estanques, según tratamientos. 1 = 24 kg trucha, 2 = 26 kg trucha, 3 = 28 kg trucha, 4 = 30 kg trucha.

- Las truchas permanecieron en periodo de aclimatación, un lapso de 3 semanas, contemplando el periodo 1 el cual se especifica más adelante.
- Los peces se alimentaron a saciedad una, dos o tres veces al día según la turbidez del agua (se dispensaban unos *pellets* sobre el estanque y se detectaba si los animales eran capaces de captarlos, si no lo lograban se decidía no alimentar), cinco días por semana (no necesariamente igual que en la empresa) debido a que los muestreos o ajustes de densidad requirieron de todo un día de tiempo por estanque. Y se les otorgó mínimo uno de ayuno antes de dicho procedimiento, por motivo del alto grado de estrés que pudo causar en los animales; pues esa acción la realiza la empresa cada vez que deben manipular en gran medida los animales.
- Se realizaron mediciones de oxígeno y temperatura diariamente en tres horarios (6:00 am, 12:00 pm y 6:00 pm), colocando el electrodo en la salida de agua de cada jaula a 60 cm de profundidad; y de pH una vez a la semana por estanque, posicionando un extremo del pH-metro en la superficie del agua de salida en cada estanque. El oxigenómetro utilizado es de marca YSI®, modelo 55-12FT; mientras que el potenciómetro es marca HANNA® y modelo HI 98127 - HI 98128 (Anexo 3). Ambos instrumentos fueron calibrados al inicio de cada mes.
- Se registró diariamente los animales muertos por jaula.
- La densidad en la *happa* o jaula se ajustó cada 15 días aproximadamente. El procedimiento consistió en el pesaje de la totalidad de la biomasa de cada encierro, extrayendo todos los animales de la misma; seguidamente se introdujo nuevamente la cantidad que fue necesaria para cumplir con la densidad determinada, el resto de truchas se liberó el estanque. La selección de los peces a liberar fue aleatoria.
- Cuando los peces alcanzaron el peso establecido por la empresa (450 g en promedio) se pesó la biomasa por jaula, como en los muestreos; pero esta vez se extrajeron siete truchas de las más grandes (según política de la empresa) por *happa*, las cuales se procesaron en la planta y se determinó con ellas los siguientes parámetros: factor de condición corporal, índice viscerosomático,

índice de carne, margen bruto y productividad económica. En los parámetros económicos se consideró como producto la *trucha en filete*, cuyo precio a mercado es de ¢4.620/kg, el cual, con una tasa de cambio de ¢539,8 el dólar al momento de los cálculos (27-06-2015), equivalió a \$8,56.

- Con los datos de cada muestreo, se consideró como biomasa final, la sumatoria del incremento de biomasa por jaula entre cada muestreo (la biomasa extraída de la *happa*); es decir, la biomasa acumulada. A partir de esta se calcularon los parámetros: tasa de crecimiento específica, Índice de conversión de alimento, porcentaje de mortalidad, índice conversión económico, margen bruto, y productividad económica. En este caso, para los parámetros económicos se consideró como producto la *trucha entera*, la cual es comercializada por la empresa a un precio de \$2,98/kg (¢1.608).
- Se realizaron los análisis de varianza respectivos y se compararon las cuatro densidades, determinando la más óptima para esta finca en condiciones de confinamiento.

4.3. Determinación de la TAD según requerimiento energético

Se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se determinó el CTC para cada una de las densidades, según los registros de temperatura obtenidos a lo largo del experimento. Se consideró 3,8°C como el valor de temperatura mínima para mantenimiento, el cual lo indica Elliot (1982) para esta especie.
2. Para la densidad que presentó los mejores resultados, se calculó a partir de la curva de crecimiento estimada mediante el respectivo CTC, la TAD ideal según los requerimientos energéticos, por medio del esquema bioenergético de Cho (2004), mencionado en el marco teórico.
3. Se confrontó la tasa de alimentación que utiliza la empresa versus la determinada en el punto anterior.

4.4. Pruebas físicas en el alimento

En total se analizaron tres lotes de alimento adquiridos por la finca en fechas distintas, con la intención de evaluar la constancia en la calidad física del alimento de la empresa comercializadora del concentrado, durante el periodo de análisis. Además, se consideró importante conocer cómo se ve afectada aquella por el almacenamiento con el paso de los días en la bodega. Por lo tanto, por lote se obtuvieron tres muestras de sacos distintos para cada momento: en la llegada del alimento a la empresa, cuando quedaba la mitad de los sacos, y en los últimos; esto es: inicio, mitad y final del almacenamiento respectivamente. Es importante mencionar que el lote se gastaba todo en una semana. Las pruebas ejecutadas se describen en los siguientes puntos.

- Se realizó la prueba de porcentaje de finos con la metodología según Reyes (2011) descrita en el marco teórico de este trabajo. Utilizando dos tamaños de mallas (4,6 y 5 mm) y el tiempo de agitación fue de 10 minutos. El equipo utilizado se puede observar en la Figura 4.



Figura 4. Equipo utilizado en la prueba de porcentaje de finos en el alimento.

- La densidad por pieza de *pellet* se evaluó según el procedimiento utilizado por Cruz et al (2006), explicado en el marco teórico del presente escrito, pero utilizando una probeta de 300 ml y con una balanza de precisión $\pm 0,001$ kg. En la Figura 5 se puede visualizar estos artefactos.



Figura 5. Equipo utilizado en la prueba de densidad.

- 4.4.1. Se determinó la flotabilidad según el procedimiento descrito por Vargas (2003), ya expuesto en el marco teórico de esta tesis. Considerando como muestra 50 gránulos, y como recipiente se usó un balde de 5 litros (Figura 6).



Figura 6. Prueba de flotabilidad en campo.

- Se realizó la prueba de densidad aparente con la metodología utilizada por Vargas (2003) descrita en este trabajo, pero readecuando el recipiente, ya que se utilizó una probeta de 300 ml y se alcanzó un volumen de 100 ml con los gránulos. La balanza utilizada fue una de precisión 0,001 kg. En la Figura 7 se puede observar una ilustración de la prueba.



Figura 7. Prueba de densidad aparente del alimento.

- Se realizaron los análisis de varianza utilizando el modelo respectivo.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.1. Ensayo de comparación entre densidades de carga

Tratamientos (o definición de factores)

Cada una de las densidades de carga de truchas (kg/m^3):

D1: 24 kg de truchas/ m^3

D2: 26 kg de truchas/ m^3

D3: 28 kg de truchas/ m^3

D4: 30 kg de truchas/ m^3

Variables a evaluar:

- Tasa de alimentación diaria (TAD)
- Tasa de crecimiento específica (SGR)
- Índice de conversión de alimento (CA)
- Mortalidad
- Factor de condición corporal (K)
- Índice Viscerosomático (IV)
- Índice de carne (ICAR)
- Índice conversión económico (ICE)
- Margen bruto
- Productividad económica
- Coeficiente térmico de crecimiento (CTC)
- Oxígeno disuelto
- pH

Unidad Experimental

Cada una de las jaulas (24 en total)

Descripción del análisis de varianza

El análisis de varianza de los resultados obtenidos en este ensayo se realizó por medio de un diseño de factoriales de efectos fijos, comparando entre sí los tratamientos y siguiendo el siguiente modelo:

Modelo estadístico

Factor A = Densidad de carga

Factor B = Estanque

Factor C = Posición en el estanque.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + \varepsilon_{ijkl} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{array} \right.$$

Donde:

Y_{ijkl} = Observación l -ésima de la variable respuesta en el i -ésimo nivel de A, el j -ésimo nivel de B y el k -ésimo nivel de C

μ = Media global y es común a todos los tratamientos

A = Efecto del i -ésimo nivel del factor A

B = Efecto del j -ésimo nivel del bloque B

C = Efecto del k -ésimo nivel del bloque C

ε_{ijkl} = Error aleatorio (error experimental)

Los cálculos estadísticos se llevaron a cabo por medio del software estadístico Infostat®, versión 2014, utilizando un nivel de significancia del 95%. Con este mismo se determinó la prueba de normalidad en todos los análisis, por medio del método de Shapiro-Wilks modificado (1997) y la prueba de Kruskal Wallis (1952) cuando no se cumplieron los respectivos supuestos.

Descripción del análisis a realizar para aquellas fuentes de variación que resulten significativas

Se realizó la prueba de Tukey (1981) para determinar si existen diferencias significativas en cada una de las variables evaluadas. Cuando dicha prueba no detectó tales diferencias, se utilizó la prueba de Duncan (1974).

5.2. Pruebas físicas en el alimento

Tratamientos (o definición de factores)

Cada uno de los momentos a lo largo del almacenamiento:

A1: Al inicio

A2: A la mitad

A3: Al final

Variables a evaluar:

- Porcentaje de finos
- Densidad por pieza de *pellet*
- Densidad aparente
- Flotabilidad

Unidad Experimental

Los sacos de alimento (27 en total)

Descripción del análisis de varianza

El análisis de varianza de los resultados obtenidos en este ensayo se realizó por medio de un diseño de factoriales, comparando entre sí los tratamientos; además se incluyó como factor de efecto aleatorio el lote del que procedieron las muestras (1, 2 y 3). El modelo de los efectos fijos es el siguiente:

Modelo estadístico

Factor A = Momento de almacenamiento

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \varepsilon_{ij} \quad ij = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

Y_{ij} = Observación l-ésima de la variable respuesta en el i-ésimo nivel de A

μ = Media global y es común a todos los tratamientos

A_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A

ε_{ij} = Error aleatorio (error experimental)

Los cálculos estadísticos se llevaron a cabo por medio del software JMP®, versión 2007.

Descripción del análisis a realizar para aquellas fuentes de variación que resulten significativas

Se realizó la prueba de Tukey (1981) para determinar si existen diferencias significativas en cada una de las variables evaluadas.

6. RESULTADOS

6.1. Ensayo de comparación entre densidades de carga

En total se efectuaron seis mediciones o muestreos: M0, M1, M2, M3, M4 y M5; por lo que entre una medición y otra se desarrollaron los periodos: P1, P2, P3, P4 y P5. En el Cuadro 6 se especifican sus respectivas fechas.

Cuadro 6. Muestreos y periodos conseguidos según fecha.

Fecha	Muestreo	Periodo
15/05/2015	M0 (siembra)	P1
03/06/2015	M1	P2
17/06/2015	M2	P3
30/06/2015	M3	P4
14/07/2015	M4	P5
22/07/2015	M5 (cosecha)	

Sin embargo, para los cálculos estadísticos, se tomaron los datos de sólo tres de los periodos: P2, P3 y P4; no se incluyeron P1 ni P5, pues en el primero hubo fuga de truchas en cinco de las jaulas por lo que impidió hacer el análisis con el modelo estipulado, y en el quinto se observaron fallas en la balanza durante el muestreo M5, las cuales no fueron constantes durante dicho muestreo. Por lo tanto, se tomaron los 41 días que rigen a partir del 03/06/2015 (P2) al 14/07/2015 (P4), o en su defecto, los datos de los muestreos M1, M2, M3 y M4; considerándose P1 como parte del periodo de acostumbramiento.

En el Cuadro 7 se presenta un análisis de varianza que se realizó con la intención de detectar si el peso inicial de los animales (a partir del 03/06/2015 o M1), era igual significativamente en todos los factores, y así considerar el resultado a la hora de discutir lo obtenido en cada variable.

Cuadro 7. Medias de peso inicial (g) de las truchas según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (g)¹	Valor p
Estanque	E1	319,29 ^a	0,0005
	E2	343,90 ^b	
Posición	Adelante	330,66	0,9247
	Medio	333,20	
	Atrás	330,93	
Densidad	D24	339,59	0,1970
	D26	336,47	
	D28	325,89	
	D30	324,43	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Como se puede observar en el Cuadro 7, los animales a considerar iniciaron con pesos significativamente diferentes según el estanque, pero no fue así para los demás factores. En este análisis los datos se comportaron de manera normal y se cumplió el supuesto de varianzas constantes.

Además, de manera ilustrativa y para conocer el comportamiento de los pesos de los animales a lo largo de todo el periodo en consideración, se presenta el Cuadro 8, el

cual contiene los pesos promedios de las truchas, obtenidos en cada uno de los muestreos, según cada nivel de los factores estudiados.

Cuadro 8. Pesos promedios (g) por muestreo, según los niveles de cada factor.

Factor	Nivel	M1 (peso inicial)	M2	M3	M4 (peso final)
Estanque	E1	319,29	331,95	335,04	392,86
	E2	343,90	357,16	357,87	402,06
Posición	Adelante	330,43	341,18	345,43	396,73
	Medio	333,93	346,31	345,48	399,41
	Atrás	330,20	346,17	348,45	396,23
Densidad	D24	339,6	353,2	356,3	406,1
	D26	336,2	350,5	360,4	401,2
	D28	325,9	339,0	340,8	396,4
	D30	324,4	335,4	344,8	386,2

A partir de los datos del cuadro anterior, se realizaron las Figuras 8, 9 y 10.

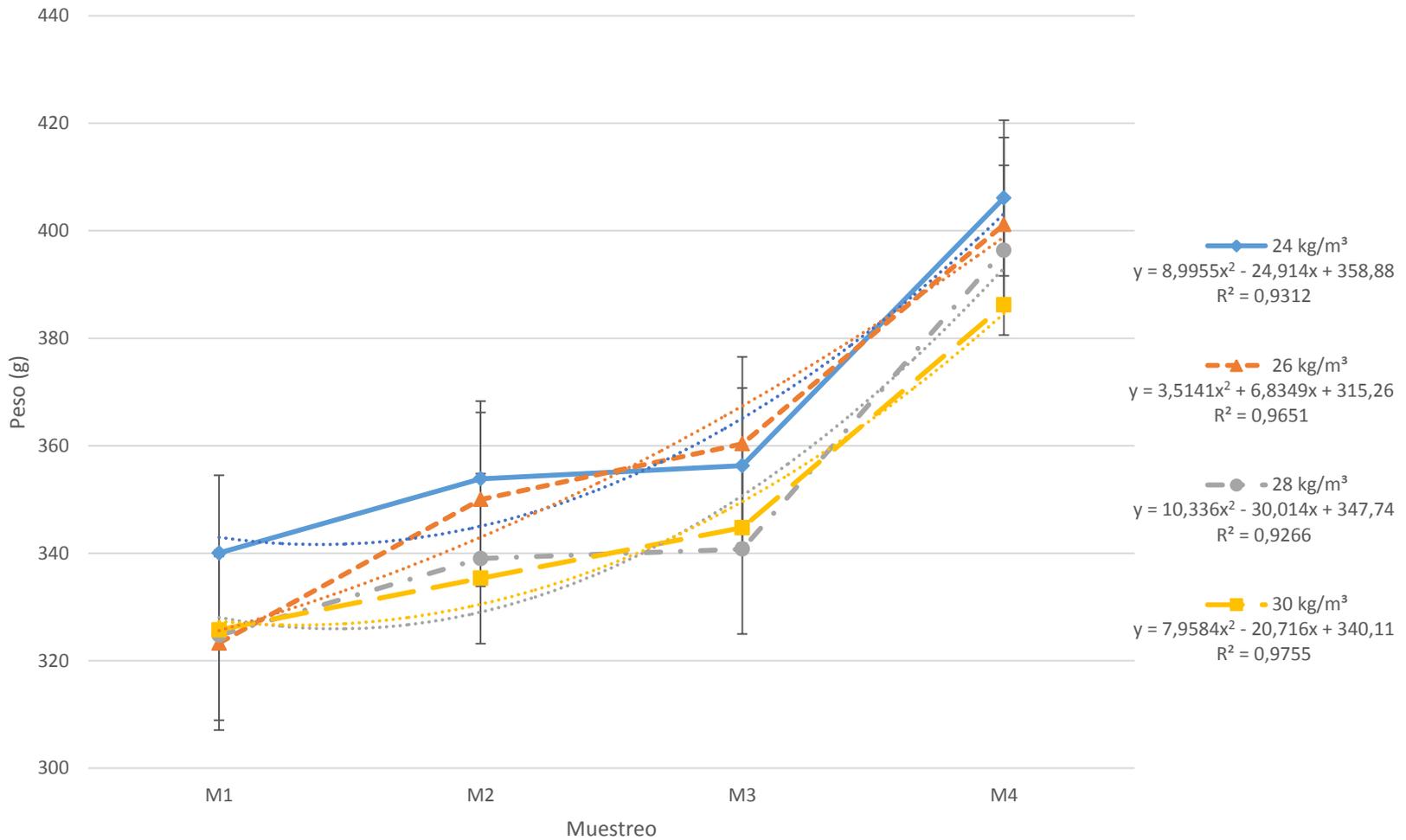


Figura 8. Curva de crecimiento de las truchas a lo largo del periodo, según la densidad utilizada

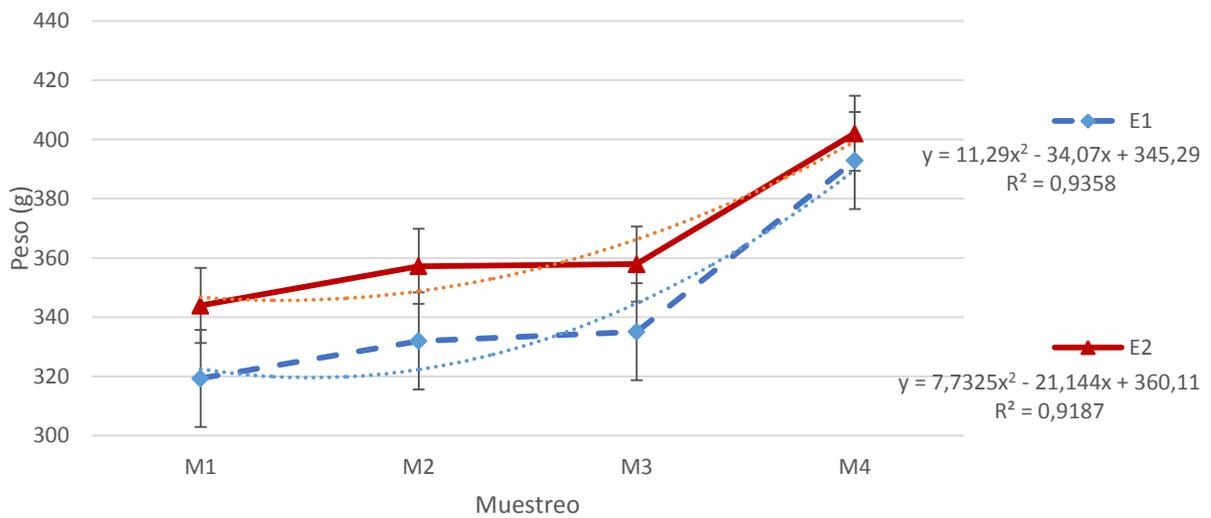


Figura 9. Peso promedio (g) de truchas por muestreo según estanque.

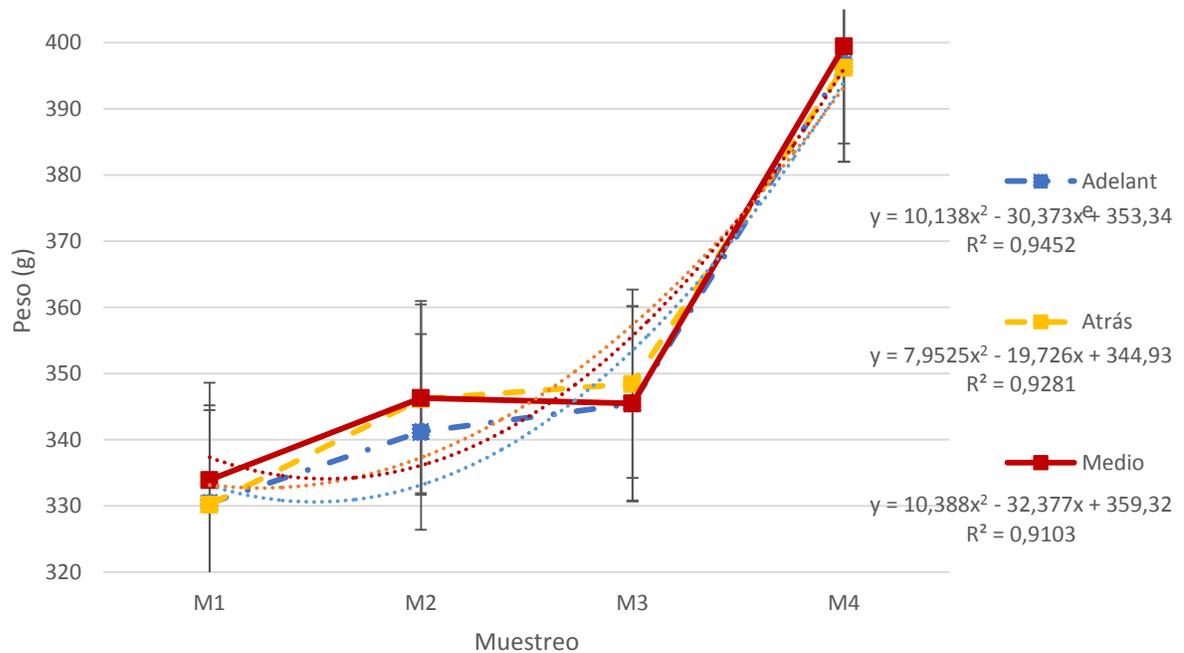


Figura 10. Peso promedio (g) de truchas por muestreo según posición de la jaula con respecto a la entrada de agua

Asimismo, en el Cuadro 9 se presenta la cantidad de animales tanto al inicio como al final del periodo en consideración.

Cuadro 9. Número de truchas según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Truchas iniciales		Truchas finales	
		Medias (unidades) ¹	Valor p	Medias (unidades) ¹	Valor p
Estanque	E1	84,9 ^b	0,0003	68,7	0,1334
	E2	79,2 ^a		67,3	
Posición	Adelante	82,1	0,9443	68,3	0,8908
	Medio	81,8		68,0	
	Atrás	82,3		68,8	
Densidad	D24	71,3 ^a	<0,0001	59,0 ^a	<0,0001
	D26	77,7 ^b		65,0 ^b	
	D28	86,2 ^c		70,3 ^c	
	D30	93,0 ^d		77,7 ^d	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del cuadro anterior se puede destacar que el número de truchas al inicio fue significativamente diferente ($p < 0,05$) entre estanques, no obstante, al final se dio lo contrario. A la vez, no se detectaron diferencias significativas entre posiciones, mientras que según la densidad si se obtuvieron tanto al inicio como al final. En ambos análisis se cumplió tanto la normalidad como la homocedasticidad en los datos.

6.1.1. Parámetros utilizando la ganancia de biomasa (acumulada) en el periodo en consideración.

Para conocer más a profundidad los resultados del experimento, se puede visualizar el Cuadro 10, donde se describe los resultados del análisis de varianza para la

ganancia en biomasa (acumulada) para todo el periodo en consideración, según la densidad de carga, el estanque y la posición de la jaula.

Cuadro 10. Medias de ganancia de biomasa (kg) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (kg)¹	Valor p
Estanque	E1	6,02 ^b	<0,0001
	E2	4,34 ^a	
Posición	Adelante	5,04 ^{ab}	0,0263
	Medio	5,02 ^a	
	Atrás	5,49 ^b	
Densidad	D24	4,50 ^a	<0,0001
	D26	4,85 ^a	
	D28	5,72 ^b	
	D30	5,66 ^b	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del cuadro anterior es importante destacar que todos los niveles dentro de cada factor variaron de manera significativa ($p < 0,05$). Las dos densidades mayores ganaron significativamente ($p < 0,05$) más biomasa que las dos menores. Asimismo, fue más alto este valor para el estanque E1 en comparación al E2; finalmente se consiguieron más kilogramos de truchas en la posición de atrás con respecto a la del medio. Los datos presentaron una distribución normal ($p > 0,05$) y se cumplió el supuesto de homocedasticidad.

A raíz de esa biomasa acumulada por jaula, se efectuaron los cálculos de todos los parámetros estipulados, los resultados se muestran en el Anexo 4; en base a esos

datos se realizaron todos los análisis estadísticos correspondientes, los cuales se exponen uno a uno en los siguientes párrafos.

Tasa de alimentación diaria (TAD)

La tasa de alimentación dependió del consumo a saciedad de los animales, sin embargo se encontró que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) en la TAD para las diferentes densidades ni para los otros factores (estanque y posición).

La fórmula utilizada para calcularla fue la establecida por Weatherley y Gill (1987):

$$\text{TAD (\%/día)} = (\text{Alimento consumido} / \text{biomasa media}) / \text{días}$$

Las medias y los valores p determinados se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Medias de la TAD (%) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (%)¹	Valor p
Estanque	E1	0,97	0,3659
	E2	0,95	
Posición	Adelante	0,97	0,3333
	Medio	0,94	
	Atrás	0,97	
Densidad	D24	0,98	0,3942
	D26	0,94	
	D28	0,96	
	D30	0,96	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Los datos estipulados en el cuadro anterior presentaron una distribución ($p > 0,05$) normal y se cumplió el supuesto de homocedasticidad.

Conversión alimenticia (CA)

En este parámetro, se encontró diferencias significativas ($p < 0,05$) únicamente en el factor *estanque*. Los resultados se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Medias de la CA según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias ¹	Valor p
Estanque	E1	1,99 ^a	<0,0001
	E2	2,68 ^b	
Posición	Adelante	2,40	0,2569
	Medio	2,38	
	Atrás	2,22	
Densidad	D24	2,51	0,1084
	D26	2,32	
	D28	2,16	
	D30	2,34	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Como se puede observar en el Cuadro 12, las truchas del estanque E1 presentaron menor CA que las del estanque E2, significativamente ($p < 0,05$). En otra instancia, no hubo diferencias con significancia ($p > 0,05$) para la densidad ni para la posición dentro del estanque. Sin embargo, el valor p en el factor densidad, es cercano al 90% de significancia, por lo que al realizar la prueba de Tukey, se encontró que el Nivel D24 es significativamente ($p > 0,05$) mayor al D28, pero cada una de estas densidades no difirieron de esta manera con respecto a los otros dos (D26 y D30),

los cuales presentaron valores intermedios. Es importante destacar que para este análisis los datos presentaron una distribución normal ($p > 0,05$) y se cumplió el supuesto de homocedasticidad.

Tasa de crecimiento (SGR)

En esta variable, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) para los factores *estanque* y *densidad*; según el análisis de varianza. No obstante, la prueba de Tukey no las determinó por lo que se tuvo que aplicar la de Duncan (1974), así que, los datos del Cuadro 13 son resultado de dicha prueba.

Cuadro 13. Medias de la SGR (%) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (%)¹	Valor p
Estanque	E1	0,506 ^b	<0,0001
	E2	0,382 ^a	
Posición	Adelante	0,445	0,9812
	Medio	0,445	
	Atrás	0,442	
Densidad	D24	0,440 ^{ab}	0,0469
	D26	0,431 ^a	
	D28	0,479 ^b	
	D30	0,425 ^a	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del cuadro anterior se extrae que las truchas del estanque E1 presentaron una tasa de crecimiento mayor a las del estanque E2, significativamente ($P < 0,05$). Además la densidades de carga de 26 y 30 kg/m³ mostraron un crecimiento menos acelerado que el de la de 28 kg/m³, esta a su vez no mostró diferencias ($P < 0,05$) con respecto a

la de 24 kg/m³. Tanto el supuesto de homocedasticidad como el de normalidad se cumplen ($p > 0,05$).

Índice de conversión económico (ICE)

Para este parámetro, se muestran los resultados obtenidos en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Medias del Índice de Conversión Económico (\$) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (\$)¹	Valor p
Estanque	E1	1,95 ^a	<0,0001
	E2	2,63 ^b	
Posición	Adelante	2,35	0,2569
	Medio	2,33	
	Atrás	2,18	
Densidad	D24	2,46	0,1082
	D26	2,28	
	D28	2,12	
	D30	2,29	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Se infiere del cuadro anterior que significativamente ($P < 0,05$) los animales del estanque E1 con respecto a los del E2, requirieron de menor costo económico para su alimentación en relación a su ganancia de peso. Además, aunque no se encontró diferencias significativas en el factor densidad, el valor p es muy cercano al 90% de significancia, por lo que al ejecutar la prueba de Tukey con este valor, los resultados mostraron que la densidad de 28 kg/m³ es significativamente menor a la de 24 kg/m³,

pero ambas no difirieron de la misma manera de las de 26 y 30 kg/m³, las cuales presentaron valores intermedios.

Mortalidad

Fue casi nula (3 truchas en todo el periodo, en diferentes jaulas), por lo que no reveló diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 15).

Cuadro15. Medias de mortalidad (%) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (%)¹	Valor p
Estanque	E1	0,10	0,5984
	E2	0,19	
Posición	Adelante	0,14	>0,9999
	Medio	0,14	
	Atrás	0,14	
Densidad	D24	0,19	0,83333
	D26	0,00	
	D28	0,19	
	D30	0,19	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas (P<0,05) entre las medias determinadas en el ANOVA.

En el análisis expuesto en el cuadro anterior, no se cumplió el supuesto de normalidad, por lo tanto, los datos observados son resultado de la prueba de Kruskal Wallis (1952).

Margen bruto en *trucha entera*

En esta variable, el ANOVA presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) para los factores *estanque* y *densidad*; en el siguiente cuadro se puntualizan los resultados obtenidos.

Cuadro 16. Medias del Margen Bruto (\$) para el producto *trucha entera* según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (\$)¹	Valor p
Estanque	E1	6,24 ^b	<0,0001
	E2	1,74 ^a	
Posición	Adelante	3,50	0,0635
	Medio	3,74	
	Atrás	4,73	
Densidad	D24	2,99 ^a	0,0159
	D26	3,68 ^{ab}	
	D28	5,10 ^b	
	D30	4,19 ^{ab}	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del Cuadro 16 se puede extraer que por metro cúbico existe una diferencia significativa ($P < 0,05$) de \$4,5 de valor de Margen Bruto entre ambos estanques; asimismo, en la densidad de 24 kg/m³ se obtuvo un valor menor al de 28 kg/m³ significativamente ($P < 0,05$), y este no difirió de esta forma al de las otras dos. Es importante aclarar que los datos presentaron una distribución normal ($p > 0,05$) y se cumplió el supuesto de homocedasticidad

Productividad económica en *trucha entera*

En el Cuadro 17 se presentan los valores obtenidos en el análisis correspondiente.

Cuadro 17. Medias de productividad económica para *trucha entera* según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias¹	Valor p
Estanque	E1	0,53 ^b	<0,0001
	E2	0,15 ^a	
Posición	Adelante	0,30	0,1360
	Medio	0,33	
	Atrás	0,40	
Densidad	D24	0,28	0,1077
	D26	0,34	
	D28	0,43	
	D30	0,33	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del Cuadro 17, se puede decir que, de manera significativa ($P < 0,05$), por metro cúbico se obtuvo 38% menos de productividad económica en el estanque E2 con respecto al E1. Pese a que las densidades no difirieron significativamente entre sí, el valor p es cercano a un 90% de significancia, por lo que al efectuar la prueba de Tukey con ese nivel de significación, se obtuvo que en el nivel D24 se encontró una productividad económica significativamente menor con respecto al D28; pero este no difiere de tal manera de los otros dos (D26 y D30), de igual forma las densidades de 24, 26 y 30 kg/m³ no difieren significativamente ($p > 0,05$) entre sí. Además, se cumple los supuestos de normalidad ($p > 0,05$) y homocedasticidad.

6.1.2. Parámetros utilizando las muestras de 7 truchas por jaula a planta

La muestra (7 peces por jaula) fue seleccionada con el criterio establecido por la empresa, de extraer las truchas de mayor tamaño posible. Se pretendió evidenciar si existían diferencias significativas ($p < 0,05$) en el peso promedio de las mismas según tratamiento. En el ANOVA ejecutado no se cumplió el supuesto de normalidad ($p < 0,05$), por lo que los datos presentados en el Cuadro 18, corresponden a los obtenidos por la prueba de Kruskal Wallis (1952).

Cuadro 18. Medias de peso (g) de truchas a procesar según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (g)¹	Valor p
Estanque	E1	514,80 ^b	0,0169
	E2	493,76 ^a	
Posición	Adelante	497,71	0,1733
	Medio	500,23	
	Atrás	514,23	
Densidad	D24	508,90	0,8062
	D26	509,64	
	D28	499,10	
	D30	499,48	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA

Del cuadro anterior se puede desprender que, el peso de las truchas a procesar no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) en cuanto a la posición ni a la densidad a las que fueron tratadas, pero sí según el estanque al que pertenecieron. Sin embargo, se puede apreciar como los pesos promedios para las dos densidades menores fueron muy similares entre sí y mayores a los de las dos de mayor carga, los cuales también presentaron aún más similitud entre ellos. Sabiendo esto, se

pueden analizar los parámetros presentados a continuación, a partir de estas truchas.

Rendimiento en filete o Índice de carne

En esta variable, no se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) según la posición ni para el estanque; pero si para el factor *densidad*. En el Cuadro 19 se evidencia estos resultados.

Cuadro 19. Medias del Rendimiento (%) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (%) ¹	Valor p
Estanque	E1	49,35	0,5830
	E2	49,47	
Posición	Adelante	49,17	0,2753
	Medio	49,44	
	Atrás	49,60	
Densidad	D24	49,81 ^b	0,0138
	D26	49,78 ^b	
	D28	49,18 ^{ab}	
	D30	48,86 ^a	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del Cuadro 19 se puede destacar que, los peces tratados bajo la densidad de 30 kg/m³, mostraron un menor rendimiento significativo ($P < 0,05$) en comparación a los de los niveles 24 y 26 kg/m³. Además, según resultados a menor densidad de carga, se obtuvo mayor rendimiento. Los datos presentaron una distribución normal ($p > 0,05$), y se cumplió el supuesto de homocedasticidad.

Índice viscerosomático

En este caso, el único de los factores que presentó diferencias significativas ($P < 0,05$) fue el de *estanque*. Estos datos se pueden visualizar en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Medias del Índice viscerosomático (%) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (%) ¹	Valor p
Estanque	E1	15,55 ^b	0,0427
	E2	15,02 ^a	
Posición	Adelante	15,31	0,3209
	Medio	15,04	
	Atrás	15,50	
Densidad	D24	15,32	0,2641
	D26	14,87	
	D28	15,42	
	D30	15,53	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del Cuadro 20 se puede extraer que las truchas engordadas en el estanque E1, resultaron significativamente ($P < 0,05$) con mayor cantidad de vísceras en relación a su cuerpo, con respecto a las del estanque E2. Para estos análisis, tanto el supuesto de normalidad ($p > 0,05$) como el de homocedasticidad se cumplieron.

Factor de condición de *Fulton*

En el Cuadro 21 se puede evidenciar cómo sólo para el factor *estanque* se obtuvo diferencias significativas ($P < 0,05$) para esta variable.

Cuadro 21. Medias del factor de condición de *Fulton* y valor p de cada factor, según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias¹	Valor p
Estanque	E1	1,46 ^b	0,0004
	E2	1,39 ^a	
Posición	Adelante	1,43	0,4917
	Medio	1,41	
	Atrás	1,42	
Densidad	D24	1,43	0,9690
	D26	1,43	
	D28	1,42	
	D30	1,42	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Por lo tanto, según el cuadro anterior, las truchas del estanque E1 presentaron mejor K que las del estanque E2, significativamente ($P < 0,05$). Los datos se comportaron de manera normal ($p > 0,05$) y la homocedasticidad se cumple.

Margen Bruto en *trucha en filete*

En este análisis se corrigió la ganancia de biomasa acumulada por el índice de carne, para conseguir así el peso obtenido de filetes por jaula. En el Cuadro 22, se detalla cómo los tres factores presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$).

Cuadro 22. Medias del Margen Bruto (\$) para el producto *trucha en filete*, según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (\$)¹	Valor p
Estanque	E1	13,70 ^b	<0,0001
	E2	7,17 ^a	
Posición	Adelante	9,69 ^a	0,0330
	Medio	9,98 ^{ab}	
	Atrás	11,64 ^b	
Densidad	D24	8,76 ^a	0,0061
	D26	9,90 ^{ab}	
	D28	12,10 ^b	
	D30	10,99 ^{ab}	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Según el Cuadro 22, se entiende que, para el caso del producto fileteado, se obtuvo mayor valor de margen bruto, con diferencias significativas ($P < 0,05$), para las jaulas en el estanque E1 en comparación al E2. Lo mismo sucedió para las ubicadas atrás con respecto a las de adelante. También, se observó que las jaulas en el Nivel D24 mostraron valores significativamente ($P < 0,05$) menores al D28, el cual, no difirió de esta manera de los otros dos. En los datos se encontró homocedasticidad y normalidad ($p > 0,05$).

Productividad económica para *trucha en filete*

Para el cálculo de esta variable, se utilizó en tal ecuación, el margen bruto para *trucha en filete* (expuesta en los párrafos anteriores). Se determinó la presencia de

diferencias significativas entre estanques ($P < 0,05$), en el Cuadro 23 se presentan los resultados de los análisis.

Cuadro 23. Medias de la Productividad Económica para el producto *trucha en filete* según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias¹	Valor p
Estanque	E1	1,17 ^b	<0,0001
	E2	0,64 ^a	
Posición	Adelante	0,84	0,1073
	Medio	0,88	
	Atrás	1,00	
Densidad	D24	0,82	0,1693
	D26	0,92	
	D28	1,01	
	D30	0,86	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Se puede destacar del Cuadro 23 que se consiguió significativamente ($p < 0,05$) un 53% más de productividad económica en las jaulas del estanque E1, en comparación con las del E2. Además, no se obtuvo este tipo de diferencias entre las densidades ni posiciones. En el análisis se cumple los supuestos de normalidad ($p > 0,05$) y homocedasticidad.

6.1.3. Calidad de agua

Oxígeno

Al efectuar el análisis de varianza, con los promedios de oxígeno disuelto por día, a partir del periodo P2 al P4, se determinó que con $p = < 0,0001$ los datos no se

comportaron de manera normal ($P < 0,05$); además, no se cumplió el supuesto de homocedasticidad, por lo que se realizó la prueba de Kruskal Wallis (1952) y los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 24. Promedio de oxígeno disuelto (mg/l) del periodo P2 al P4, según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (mg/l)¹	Valor p
Estanque	E1	6,66 ^b	<0,0001
	E2	5,74 ^a	
Posición	Adelante	6,26	0,3842
	Medio	6,17	
	Atrás	6,17	
Densidad	D24	6,22	0,7589
	D26	6,16	
	D28	6,24	
	D30	6,17	

¹Diferentes superíndices, al lado de los valores, dentro del mismo factor, indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Según el Cuadro 24, se dio únicamente diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los estanques, así que, en la Figura 11 se puede apreciar el comportamiento del oxígeno a lo largo del periodo, según el estanque. En dicha figura también se incluyeron las mediciones conseguidas en el periodo P1, para ilustrar el comportamiento del mismo en toda la fase de engorde (03-06 al 22-07 del 2015).

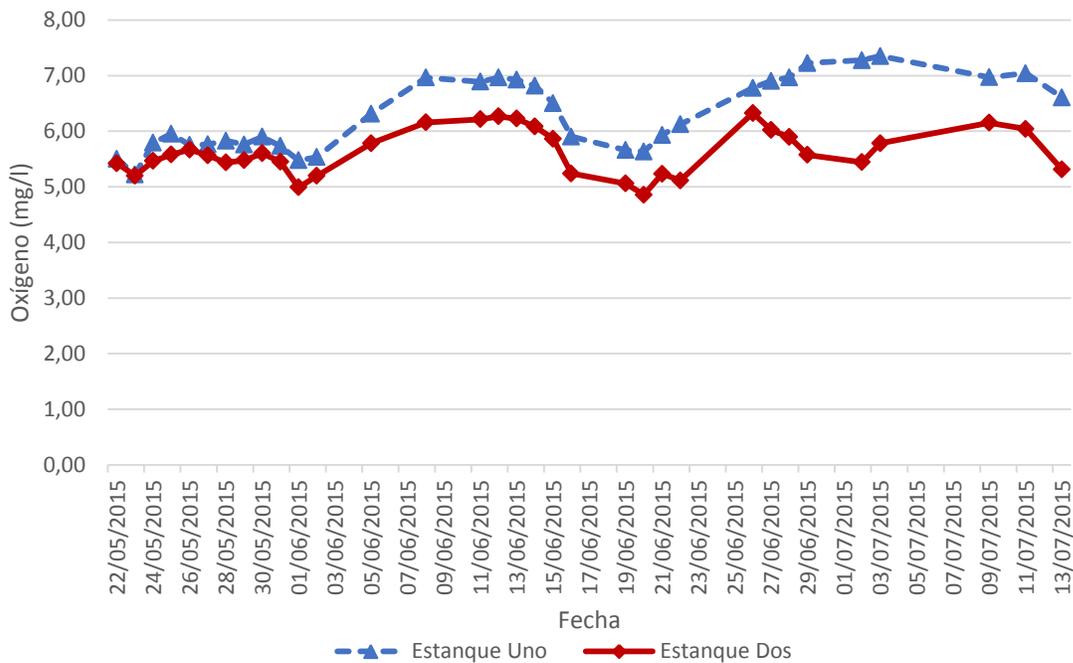
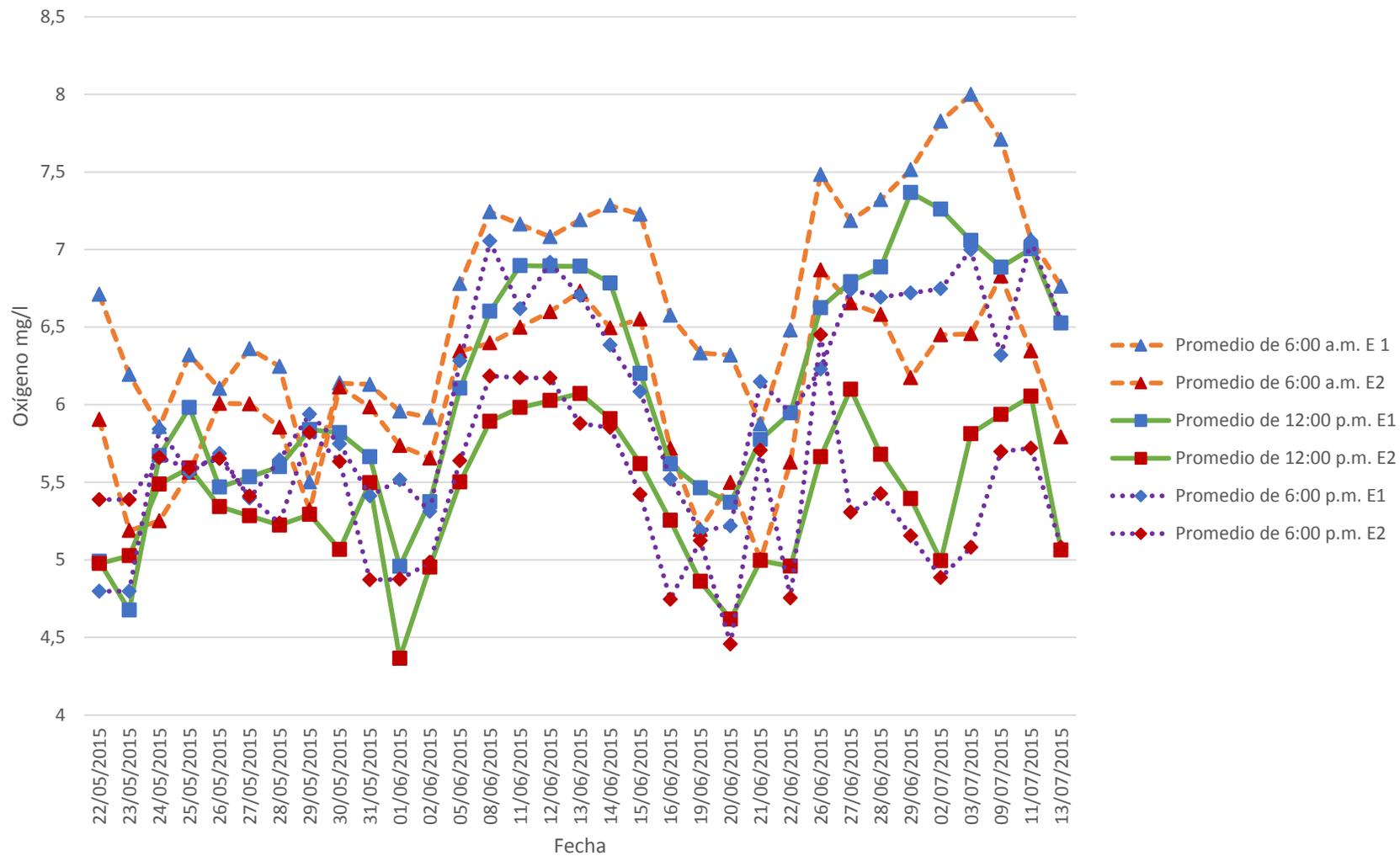


Figura 11. Promedio de concentración de oxígeno disuelto (mg/l) por estanque a lo largo de la fase de engorde.

Según la Figura 11, es evidente como la concentración promedio de oxígeno es siempre superior en el estanque E1 en comparación con el E2. Es importante aclarar que los datos de oxígeno disuelto por día, utilizados en el gráfico anterior, son producto del promedio de las tres mediciones realizadas diariamente. Por lo que en la Figura 12 se puede observar un gráfico con la totalidad de las mediciones realizadas por día, hora y estanque en el mismo intervalo de tiempo.



Simbología: E1 = estanque “Uno”; E2 = estanque “Dos”.

Figura 12. Oxígeno disuelto según hora de medición y estanque a lo largo de la fase de engorde.

De la Figura 12 se puede inferir que la concentración de oxígeno siempre es mayor a las seis de la mañana que a los otros tiempos de medición, lo cual se cumple para los dos estanques. Es decir, se puede apreciar como tiende a disminuirse a lo largo del día. En el Cuadro 25 se muestran los promedios con respecto a la hora.

Cuadro 25. Media y desviación estándar de la concentración de oxígeno según hora y estanque, en el periodo considerado.

Estanque	Hora	Media (mg/l)¹	Desviación estándar
E1	6:00 a.m.	6,72 ^b	0,561
	12:00 p.m.	6,14 ^a	0,633
	6:00 p.m.	6,05 ^a	0,617
E2	6:00 a.m.	6,04 ^b	0,568
	12:00 p.m.	5,41 ^a	0,502
	6:00 p.m.	5,44 ^a	0,575

¹Diferentes superíndices, al lado de los valores, dentro de cada estanque indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Los datos para el cuadro anterior, son los promedios de todas las mediciones según la hora a la que fueron tomadas; en este se puede visualizar de manera más exacta los valores en los que rondó el oxígeno en los diferentes periodos del día durante el experimento. Se evidencia de manera clara como el O_2 disuelto es significativamente ($p < 0,05$) mayor a las 6 de la mañana con respecto a los otros dos horarios. La prueba efectuada fue la de Kruskal Wallis (1952), pues los datos no se comportaron de manera normal ($p < 0,05$).

Acidez (pH)

Al someter los valores de pH (contemplando de periodo P2 a P4) a un análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas entre estanques ($p > 0,05$), sin

embargo, no se cumplieron los supuestos del modelo, por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis (1952) y resultó lo mostrado en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Valor de pH según estanque.

Estanque	pH	Valor p
E1	8,62	0,5476
E2	8,28	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Como se puede observar en el Cuadro 26, no hay diferencias significativas ($p < 0,05$) en esta variable, sin embargo si existe una leve divergencia que favorece al estanque E1 con respecto al E2 en cierto momento de la totalidad del periodo, la cual se puede interpretar de manera clara en la Figura 13.

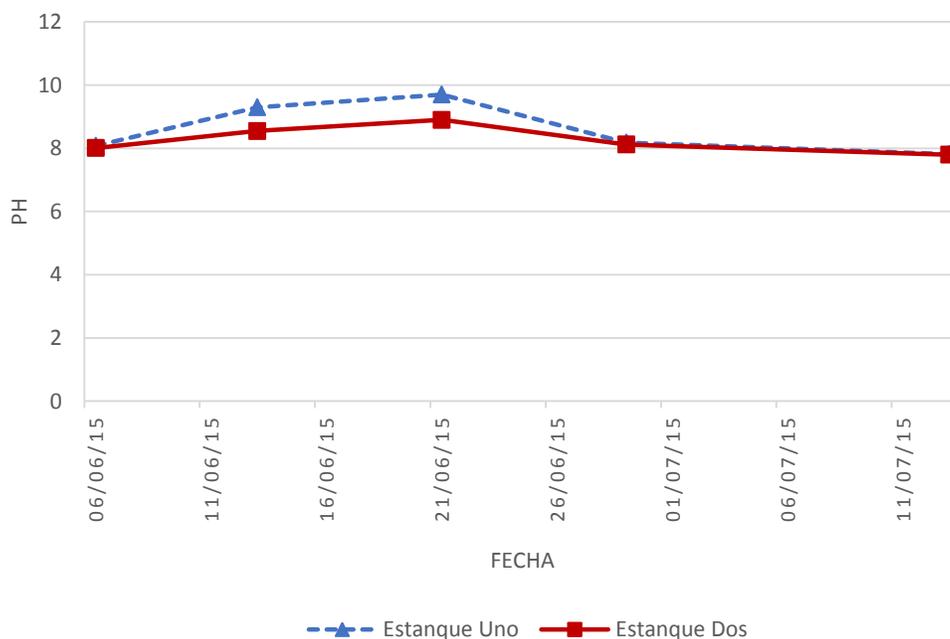


Figura 13. Valor de pH por estanque a durante el periodo en consideración.

De la Figura 13 se puede destacar un valor de pH ligeramente mayor para el estanque E1 con respecto al E2, en cierto momento de la totalidad del periodo.

Temperatura

En la Figura 14 se ilustra el comportamiento de la temperatura del agua, desde el periodo P1 al P4, en correspondencia con el horario al que fue determinado el nivel de oxígeno disuelto.

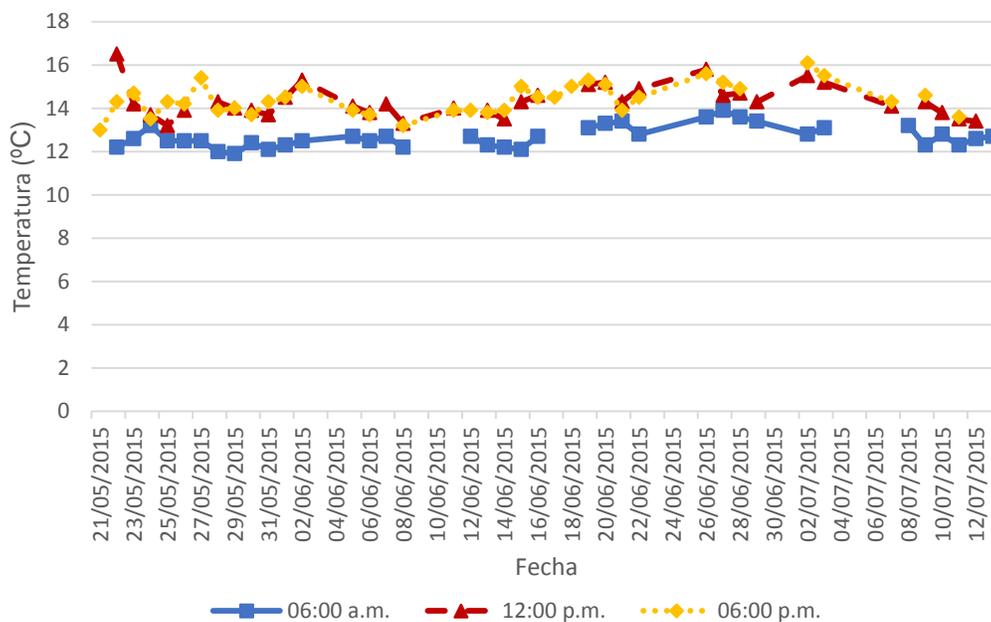


Figura 14. Temperatura del agua (°C) por horario durante el periodo en consideración

De la figura anterior se puede destacar que la temperatura más fría se presentó a las 6:00 a.m., el promedio de esta fue de $12,8 \pm 0,496$ °C. Mientras que para las 12:00 p.m. y 6:00 p.m., por lo general la magnitud fue muy similar, obteniéndose como promedios $14,4 \pm 0,676$ y $14,5 \pm 0,751$ °C respectivamente. En total, al promediar todas las mediciones tomadas, se obtuvo un valor de $13,9 \pm 0,996$ °C para todo el periodo. Asimismo, la temperatura efectiva, para los muestreos en consideración (de M2 a M3) fue de 10,10 °C. Por lo que la sumatoria de estas en los 41 días abarcados presentó un valor de 414,10 °C.

6.2. Determinación de la TAD según requerimiento energético

El CTC fue calculado utilizando la ecuación ya expuesta en el marco teórico:

$$CTC = (P_f^{1/3} - P_i^{1/3}) / \sum^{\circ} C_e$$

Para la determinación de dicho parámetro se utilizó como peso inicial y final, los obtenidos al inicio y al final (Cuadro 8) del periodo en consideración (a partir del P2 al P4) y como valor de sumatoria de temperaturas efectivas el expuesto en el apartado anterior, de ahí se efectuó el análisis de varianza, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Medias de CTC según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias ¹	Valor p
Estanque	E1	1,18E-04 ^b	<0,0001
	E2	9,06E-05 ^a	
Posición	Adelante	1,05E-04	0,9622
	Medio	1,05E-04	
	Atrás	1,04E-04	
Densidad	D24	1,04E-04 ^{ab}	0,0406
	D26	1,01E-04 ^{ab}	
	D28	1,12E-04 ^b	
	D30	9,92E-05 ^a	

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas (P<0,05) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del cuadro anterior se puede destacar que el mayor CTC se obtuvo en la densidad de 28 kg/m³, la cual no difiere de forma significativa (p>0,05) de las de 24 y 26 kg/m³, pero sí de la de 30 kg/m³.

A partir del CTC de la densidad de 28 kg/m^3 se realizó la curva de crecimiento mostrada en la Figura 15.

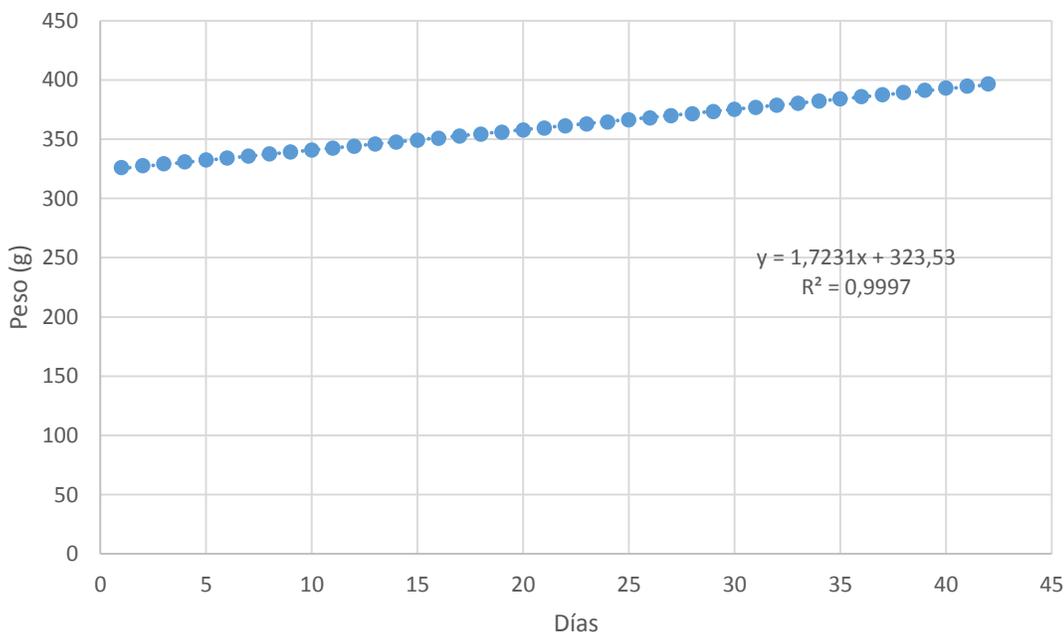


Figura 15. Curva de crecimiento predicha a partir del CTC obtenido de la densidad de 28 kg/m^3

A partir de la gráfica anterior se siguió el esquema bioenergético de Cho (2004) para calcular la tasa de alimentación ideal en base a los requerimientos de energía asociados a ese crecimiento y la misma temperatura ($13,9 \text{ }^\circ\text{C}$), el cual se resume seguidamente:

1. $RE = (0,004 \text{ g BW}^2 + 5,58 \text{ g BW} + 7,25) \text{ kJ/g BW} \times \text{g LWG}$

Donde:

RE: Energía retenida

BW: Peso vivo

LWG: Ganancia de peso esperada

2. $Nem = (-0,0104 + 3,26T - 0,05T^2) (\text{kg BW}^{0,824}) \text{ kJ/día} \times \text{días}$

Donde:

Nem: Necesidades de energía de mantenimiento

T: Temperatura

BW: Peso vivo

3. $(RE + Nem) \times 0,2$

Donde:

Ica: Incremento calórico por mantenimiento y crecimiento

4. Estimar las pérdidas de energía por excreción no fecal (Enf):

$$Enf = (RE + Nem + Ica) \times 0,1$$

Donde:

Enf: Pérdidas de energía por excreción no fecal

5. $NTED = RE + Nem + Ica + Enf$

Donde:

NTED: Necesidades totales de energía digestible

6. $RA = NTED / \text{kJ ED/g alimento}$

Donde:

Ra: Ración de la dieta requerida

Se utilizó como peso inicial y final el establecido por la curva de crecimiento (Figura 15) para dos días consecutivos. Como energía digestible de la dieta se utilizó 18,90 kJ/g, pues es la equivalente a 4.514 kcal/kg. Los requerimientos encontrados por día, así como la ración y TAD se muestran en el Anexo 5. Del cual se concluye que la TAD debe ser de 0,3% del peso vivo para animales en la fase de engorde.

6.3. Pruebas físicas en el alimento

Porcentaje de finos

El promedio total (considerando todas las muestras) para este parámetro fue de 2,11% con un coeficiente de variación de 44,6%. Los resultados de la evaluación de esta prueba se pueden observar en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Medias de porcentaje de finos según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (%)	Valor p	Variabilidad entre niveles (%)
Lote	1	2,10	-	0,229
	2	2,12		
	3	2,11		
Momento ¹	Inicio	1,90 ^a	0,7329	-
	Mitad	2,24 ^a		
	Final	2,20 ^a		

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del Cuadro 28 se puede interpretar que la variabilidad entre lotes fue de un 0,23%. También se puede apreciar que los distintos momentos a lo largo del almacenamiento, no presentaron diferencias significativas entre sí.

Densidad por pieza de *pellet*

En este parámetro, al promediar todas las muestras se encontró un valor de 0,981 g/ml, con un coeficiente de variación de 3,0%. En el Cuadro 29 se exponen los resultados del análisis correspondiente.

Cuadro 29. Medias de densidad por pieza de *pellet* según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (g/ml)	Valor p	Variabilidad entre niveles (%)
Lote	1	0,94		73,94
	2	1,00		
	3	0,98		
Momento ¹	Inicio	0,98 ^{ab}	0,0259	
	Mitad	0,99 ^b		
	Final	0,96 ^a		

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

En el cuadro anterior se puede visualizar cómo la variabilidad entre lotes es de 73,94%. Al mismo tiempo se interpreta que los momentos de almacenamiento presentaron diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$), donde la densidad al final de la semana fue menor significativamente ($p > 0,05$) a la de la mitad.

Densidad aparente

El promedio total para esta prueba, considerando todas las muestras fue de 0,487 g/ml con un coeficiente de variación de 3,1%. En el Cuadro 27 se exponen los resultados estadísticos.

Cuadro 30. Medias de densidad aparente (g/l) según niveles estadísticos de cada factor.

Factor	Nivel	Medias (g/l)	Valor p	Variabilidad entre niveles (%)
Lote	1	474,7	-	67,16
	2	482,4		
	3	502,5		
Momento ¹	Inicio	486,7 ^a	0,9361	-
	Mitad	485,6 ^a		
	Final	487,4 ^a		

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

En el Cuadro 27 se muestra como la variabilidad entre lotes, con respecto a la densidad aparente, fue de un 67,16%; mientras que, a lo largo del almacenamiento, esta no se afectó de manera significativa ($p > 0,05$).

Flotabilidad

Es importante aclarar que aunque en esta prueba el tiempo de conteo de pellets flotando se realizó a los dos minutos, se observó que la mayoría de estos se hundieron inmediatamente después de colocarse sobre la superficie del agua (en menos de 30 segundos). Sabiendo esto, la media de la flotabilidad entre la totalidad de todas las muestras fue de 80,7% con un coeficiente de variación de 15,5%. El resultado estadístico para esta variable, se resume en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Medias de porcentaje de flotabilidad según niveles estadísticos de cada.

Factor	Nivel	Medias (%)	Valor p	Variabilidad entre niveles (%)
Lote	1	81,26	-	7,43
	2	79,64		
	3	82,87		
Momento ¹	Inicio	84,22 ^a	0,7774	-
	Mitad	81,56 ^a		
	Final	78,00 ^a		

¹Diferentes superíndices al lado de los valores indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias determinadas en el ANOVA.

Del cuadro anterior se puede destacar como la variabilidad en la flotabilidad entre lotes es de un 7,43%. Además no se detectó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre el momento del almacenamiento en que se obtuvo la muestra.

7. DISCUSIÓN

7.1. Ensayo de comparación entre densidades de carga

En términos generales, los resultados de este experimento muestran un crecimiento muy lento y una conversión alimenticia bastante alta, de la cual se desprende gran parte de los demás parámetros. Sin embargo, deben evaluarse de cara a lo que contemplan su cálculo.

Por una parte, sirva de ejemplo que, Martínez et al (2003) obtuvieron un CTC (el cual muestra una relación directa con el crecimiento) de 0,00165 a una temperatura media diaria de 10,5 °C, en trucha arcoíris de 0,4 g hasta lograr los 250 g para un periodo de 472 días. Comparativamente dicho valor es mucho mayor al obtenido en el presente estudio (0,00011) a pesar de estar en condiciones térmicas más favorables para el crecimiento ($13,9 \pm 0,996$ °C); aunque si bien es cierto, al tratarse de animales de mayor peso en este caso en particular (de 332 a 397 g), el crecimiento debería ser más lento (Aguilar 2010); pero la magnitud de la diferencia es tal que no se puede atribuir a esa única razón.

Además, otro punto importante a tomar en cuenta es que de todas maneras, se esperaba un crecimiento lento, pues la temperatura del presente estudio, está cerca del límite inferior adecuado para engorde de truchas (de 12 a 18 °C), expuesto por Maiz et al. (2010). De ahí la importancia del efecto de la temperatura en el CTC, por lo que se espera que el mismo difiera entre una finca y otra (Cho y Bureau 1998).

Por otra parte, si se compara el SGR obtenido por Caballero et al (2002) con la misma especie, de pesos de 247 g hasta conseguir los 784 g, a una temperatura media de 11,9 °C, alimentados dos veces al día a saciedad; es mucho mayor al del presente experimento (1,81 % vs 0,444 %respectivamente), cuyo peso inicial y final fueron de 332 y 397 g.

Además, el factor de conversión alimenticia conseguido se considera muy alto al compararlo con la literatura. Pues este fue de 2,33 versus el alcanzado por Romartheim et al (2006) de 0,79; quienes utilizaron trucha arcoíris de 300 g hasta llegar a los 618 g a una temperatura promedio de 8 °C, alimentando los especímenes

cada 10 minutos las 24 horas del día. Asimismo Luchini y Panné (2008) exponen que los salmónidos obtienen valores de CA en torno al 1,4 a 1 para este índice.

Por lo tanto, para comprender esto, es importante destacar; tal como lo hace Grayeb del Alamo (2001), que en el piscicultivo en jaulas flotantes, aunque el alimento se brinde con cuidado, es posible que este no sea consumido en su totalidad por los peces.

No obstante, la razón principal ante esos resultados, es que se tuvieron dificultades a la hora de brindar el pienso a los peces en estudio; pues al encontrarse las jaulas en estanques con truchas libres, estas conseguían impedir la adecuada alimentación de las encerradas, ya que *robaban* alimento a través de la malla empujándose a sí mismas y a las demás hasta alcanzar los gránulos. Esto promovió la idea de ejecutar una descarga de alimento muy lenta con la intención de evitar el consumo por parte de los animales externos; lo cual repercutió en un rápido agotamiento físico y por ende bajo consumo de comida en los individuos enjaulados como consecuencia de intentar capturar los *pellets* con tan poca disponibilidad. Lo anterior se refleja en la baja TAD obtenida de 0,96%; la cual es mucho menor a 1,9%, indicada por Reginfo (2005) para truchas del mismo peso y temperatura a la del experimento.

De hecho según Toledo (1994a), los peces tienen un límite de tiempo para localizar e ingerir cierto número de partículas durante el proceso de la alimentación; por lo que si se excede ese periodo, los animales dejan de comer. Esto también explica las bajas tasas de alimentación obtenidas en este estudio; pues, debido a una descarga de alimento tan lenta, los individuos consumieron los pocos gramos de pienso suministrados y luego de cierto tiempo no comieron más, aparentando su saciedad y por ende se finalizaba la labor de alimentación.

Es importante recalcar que dicho problema se presentó en mayor medida en los momentos en los cuales las truchas libres en el estanque se encontraban con varios días de ayuno debido a la escasez de alimento en la empresa. De hecho, en los últimos 14 días del experimento (P4), fue menor la incidencia de tal problemática; esto explica el comportamiento de las curvas de crecimiento conseguidas, donde se observa que la pendiente aumenta al final de todo el periodo, esto es: el periodo P4 (Figura 8).

Las truchas libres en el estanque de igual manera presentaron un lento crecimiento (datos de la empresa, Truchas Reales) por la escasez de pienso ya mencionada, pero porcentualmente equivalió a un 17 y 37% mayor con respecto a los peces de las jaulas de los estanques E1 y E2 respectivamente (SGR de truchas libres = 0,593 y 0,523 % vs SGR de truchas en jaula = 0,506 y 0,382% para los estanques E1 y E2 respectivamente). Esa diferencia entre los SGR del E1 con respecto a la de los SGR del E2, se puede deber a que como el segundo permaneció con menor concentración significativa ($p < 0,05$) de oxígeno disuelto que el primero, la tasa de consumo de O_2 para esos animales fue mayor, pues según Guerrero (2006) al disminuirse el O_2 se eleva el metabolismo; por lo que se incrementa los requerimientos de dicho elemento (Rincón 2008). Por lo que las truchas *libres* pudieron acercarse a la entrada de agua para consumir O_2 , mientras que las de las jaulas no pudieron movilizarse; pero las del E1 contaban con mayor concentración del mismo que las del E2.

Lo anterior se evidencia con el promedio de consumo de oxígeno por el sistema, a lo largo de los estanques (O_2 a la entrada – O_2 a la salida de los estanques), pues este fue de 0,85 y 1,14 mg/l para E1 y E2 respectivamente.

En los siguientes párrafos se discute los resultados en los parámetros debido al efecto de cada factor del modelo en consideración (densidad, estanque, posición).

Factor densidad de carga

Una manera para determinar el efecto de la densidad sobre el apetito de los animales, es mediante la TAD, puesto que indica una relación del consumo de alimento con respecto al peso de la biomasa. Dados los resultados (TAD = 0,98; 0,94; 0,96; 0,96 para D24, D26, D28 y D30 respectivamente), este factor no fue de peso suficiente como para alterar el apetito de las truchas; es decir, la diferencia en la magnitud entre densidades no fue suficiente como para influir en ello.

La tasa de crecimiento (SGR) tuvo un comportamiento distinto, donde se puede observar que la densidad de 28 kg/m³ (SGR = 0,479 %) mostró un valor significativamente mayor a las de 26 (SGR = 0,431 %) y 30 kg/m³ (SGR = 0,425 %); mientras que la de 24 kg/m³ (SGR = 0,440 %) se posicionó en segundo lugar, sin

mostrar diferencias significativas con las otras tres. Por lo tanto, se observó una relación directa entre densidad y crecimiento pero considerando solamente los niveles: D24, D26 y D30. Similares resultados se visualizaron en la variable CTC (CTC = 1,04E-04; 1,01E-04; 1,12E-04 y 9,92E-05 para los niveles D24, D26, D28 y D30 respectivamente), el cual, aunque los animales se mantuvieron bajo la misma temperatura, y estos iniciaron con pesos significativamente iguales ($p > 0,05$), el factor densidad impactó lo suficiente como para reflejar diferencias significativas en este índice ($p > 0,05$).

La tendencia mencionada coincide con lo evidenciado por Suárez et al (2014) quienes determinaron que la densidad menor (15 kg/m³) superó a la mayor (40 kg/m³) en cuanto al crecimiento de las truchas, si bien el rango entre estas densidades es mucho más amplio que el de la presente investigación.

La explicación a lo anterior, según Granado (2000) radica en que, al incrementarse la densidad, se pueden provocar diferentes acontecimientos:

- _Acumulación de metabolitos, los cuales perjudican la calidad del agua.

- _Efectos de turbulencia que limitan la accesibilidad del alimento.

- _Pérdida de apetito de los peces.

- _Estrés fisiológico que puede perjudicar la capacidad digestiva de los animales.

No obstante, el hecho de obtenerse el mayor crecimiento en una de las densidades intermedias (28 kg/m³) se justifica al considerar que los peces son organismos sociales, por lo que manifiestan una tasa de crecimiento máxima en presencia de otros individuos, siempre y cuando sea un número óptimo para el crecimiento; por lo tanto, el incremento de peso no necesariamente va a ser mayor en densidades más bajas ni tampoco bajo competencia intensiva por alimento (Wheatherley y Gill 1987).

De manera similar sucedió en el experimento de Grayeb del Alamo (2001) con la cabrilla arenosa (*Paralabrax maculatofasciatus*) en jaulas flotantes, pues en este se obtuvo el mejor crecimiento en la densidad intermedia: 70 individuos/m³ versus 35 y 105 individuos/m³. Asimismo, Chua y Teng (1979) obtuvieron con el mero *Epinephelus salmoides*, bajo el mismo sistema productivo, 60 peces/m³ como la densidad más óptima en términos económicos, la cual fue comparada contra: 15, 30,

90 y 120 individuos/m³. Si bien, en estos trabajos la diferencia de carga por metro cúbico es mucho más amplia que la del presente estudio.

No obstante, en este trabajo, pese a que en la densidad de 24 kg/m³ las truchas mostraron cierta ventaja en crecimiento con respecto a las de 26 y 30 kg/m³, esto no repercutió en los parámetros productivos y económicos. Pues, tal se indicó en los resultados, para las variables: conversión alimenticia, índice de beneficio económico, margen bruto y productividad económica; la densidad de 24 kg/m³ presentó los valores menos beneficiosos significativamente ($p < 0,05$) con respecto a la de 28 kg/m³; mientras que las de 26 y 30 kg/m³ mostraron valores intermedios que no difirieron significativamente ($p > 0,05$) de las otras dos (24 y 28 kg/m³).

La conversión alimenticia encontrada se comportó de la siguiente manera: D28 (CA=2,16) < D26 (CA=2,32) < D30 (CA=2,34) < D24 (CA=2,51); obteniéndose con un 90% de significancia, diferencias entre las densidades 28 y 24 kg/m³, lo que quiere decir que para la primera se requirió de menor cantidad de alimento por kilogramo de biomasa conseguido. La posición del nivel D28 en dicha lista, está ligada al crecimiento, pues fue la que mostró un mayor SGR; sin embargo, el hecho de encontrarse una CA más alta en la densidad de 24 kg/m³, con respecto a las de 28 y 30 kg/m³, pese a comportarse de manera opuesta en el crecimiento, puede atribuirse a la tasa de alimentación otorgada; la cual, si bien es cierto, no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre densidades, sí mostró el mismo orden al conseguido en la CA, entre los niveles D24, D30 y D26 (TAD (%) = 0,98; 0,96 y 0,94 respectivamente), donde a mayor TAD se obtuvo mayor índice de conversión del alimento.

Eventualmente, lo anterior tiene relación con el desaprovechamiento que hizo el menor número de animales por jaula, al caer los pellets, según lo expuesto por (Wheatherley y Gill 1987), si se compara que D24 al final del experimento contó con 59 especímenes, comparado a 65, 70 y 78 para D26, D28 y D30, respectivamente.

Exactamente el mismo escenario al anterior se reveló para el índice de conversión económico (ICE (\$) = 2,46; 2,28; 2,12 y 2,29 para los niveles D24, D26, D28 y D30 respectivamente), pues es el producto de la multiplicación entre la CA y el precio del alimento (número constante). Por lo tanto, según los resultados, por cada kilo de

biomasa ganado, se invirtieron en promedio \$0,34 más en la densidad de 24 kg/m³ que en la de 28 kg/m³; lo que quiere decir que en un estanque de 205,39 m³ la diferencia entre ambas densidades sería de \$69,83.

En cuanto al margen bruto para la *trucha entera*, se encontró que D28>D30>D26>D24 (margen bruto (\$) = 5,10; 4,19; 3,68 y 2,99 respectivamente); difiriendo de manera significativa ($p<0,05$) las densidades 24 y 28 kg/m³. Por lo tanto, en este parámetro influyó de mayor manera la ganancia en biomasa, pues debido a que el margen bruto obtenido es positivo, existe una relación directa entre el mismo y la ganancia en biomasa; de hecho, se puede observar cómo esta última se manifestó siguiendo el mismo orden. A modo de clarificar los resultados, se puede decir que se consiguió en promedio por metro cúbico, \$2,11 más de ingreso por ventas restando el costo de alimentación, en el nivel D28 con respecto al D24; esto en un estanque de 205,39 m³ equivale a una divergencia de \$433,37. Para el caso de la *trucha en filete* el comportamiento entre los niveles fue el mismo (margen bruto (\$) = 12,10; 10,99; 9,90 y 8,76 para D28, D30, D26 y D24 respectivamente), difiriendo \$3,34 el primero del último; esto en un volumen de estanque igual al anterior resulta en una variación de \$686,00 entre ambas densidades.

En otra instancia, la productividad económica en la *trucha entera* según las densidades, se comportó de la siguiente manera: D28>D26>D30>24 (productividad económica = 0,43; 0,34; 0,33 y 0,28 para D28, D26, D30 y D28 respectivamente), mostrando diferencias cercanas al 90% de significancia los niveles D28 y D24. Este parámetro, al interpretarse como el margen bruto que se obtiene por cada unidad que se invierte, está completamente ligado a la CA y al ICE, con una relación inversa; es por esto que el orden entre los niveles se mantiene pero en sentido contrario. Así, por metro cúbico se alcanzó en promedio \$0,15 más de margen bruto por cada dólar invertido en pienso, en la densidad de 28 kg/m³ con respecto a la de 24 kg/m³. Mientras que para el producto *trucha en filete* la diferencia fue de \$0,19 entre las mismas (productividad económica filete = 1,02; 0,92; 0,86 y 0,82 para D28, D26, D30 y D24 respectivamente).

En cuanto al factor de condición de *Fulton* (K), aunque no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los niveles, en otros estudios sí se han demostrado;

como el de Suárez et al 2014, quienes encontraron un K más pequeño en la densidad mayor (40 kg/m³) con respecto a la menor (15 kg/m³) evaluando la especie del presente estudio. Asimismo, Cruz et al (2010) realizaron un experimento similar con el yaque (*Leiarius marmoratus*), y consiguieron un K inferior significativamente ($p < 0,05$) en la densidad mayor (2 peces/m²) en comparación a las otras (0,5 y 1 peces/m²); la explicación a esto radica en que a medida que se aumenta la densidad, se ve afectado el ambiente de manera negativa para los animales pues se limita la disponibilidad no solamente de oxígeno, sino también de espacio, además de existir mayor cantidad de residuos de excreción.

Sin embargo, aunque en el presente estudio se evidenció como las dos densidades menores (D24 y D26, ambas con $K = 1,43$) presentaron un valor más alto que las otras dos (D28 y D30, ambas con $K = 1,42$), la divergencia fue mínima; esta situación puede asociarse a que el oxígeno tampoco presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre cada una de las densidades. Además, la cantidad de kg/m³ entre tratamientos varió muy poco como para que se pudiera observar algún efecto, pues hay una gran discrepancia en este sentido con respecto al trabajo de Suárez et al (2014) ya mencionado.

En el caso, del rendimiento de filete fue significativamente ($p < 0,05$) mayor en las densidades menores (49,81 y 49,78% para 24 y 26 kg/m³ respectivamente) con respecto a la mayor (48,86% en 30 kg/m³), mientras que la de 28 kg/m³ presentó un valor intermedio (49,18%) y no difirió de manera significativa ($p < 0,05$) con respecto a las otras; por lo tanto, se observó una relación inversa entre densidad e índice de carne. Esto tiene relación con los resultados de Silva et al (2002), quienes reportaron un mayor índice de carne significativo en los animales con menor carga (90 tilapias/m³) con respecto a los demás (120 y 150 tilapias/m³). Según Kubitzka (2000), este parámetro está ligado a distintos factores, entre los cuales: condición corporal o K y tamaño de los peces, método de fileteado y habilidad técnica de la persona encargada de dicha labor.

En el procesamiento de las truchas para este experimento, se contó con dos operarios encargados de filetear de manera aleatoria los animales, utilizando el mismo método en todos estos. Por lo tanto, las razones que justifican estos

resultados en el rendimiento de filete se pueden atribuir a la condición corporal de los animales y al tamaño de los mismos. Si bien es cierto, el K apenas varió un 0,01 entre ambos bandos (densidades menores versus mayores) de densidades, sí se determinó que las de menor carga presentaron un mayor valor que las otras dos; de igual manera, los pesos de los animales enteros, no variaron significativamente ($p>0,05$) entre niveles, pero si se visualizó un efecto similar al del K, pero incluso más marcado.

No obstante, aunque el índice de carne fue mayor significativamente ($p<0,05$) para las jaulas de menor densidad, el margen bruto para la *trucha en filete* (margen bruto = 8,76; 9,90; 12,10 y 10,99 para D24, D26, D28 y D30 respectivamente) presentó el mismo orden entre densidades en comparación la *trucha entera* (margen bruto = 2,99; 3,68; 5,10 y 4,19 para D24, D26, D28 y D30 respectivamente), manteniendo el mismo efecto entre los niveles, en cuanto a diferencias significativas (D28 mayor significativamente ($p<0,05$) a D24; D26 y D30 no difirieron significativamente ni entre sí, ni con respecto a los otros dos).

Mientras que, en cuanto a la productividad económica, el índice de carne si provocó un efecto en el producto *trucha en filete* (productividad económica = 0,82; 0,92; 1,01 y 0,86 para D24, D26, D28 y D30 respectivamente) con respecto al *trucha entera* (productividad económica = 0,28; 0,34; 0,43 y 0,33 para D24, D26, D28 y D30 respectivamente); pues en el primero, ya no se encontró ningún tipo de diferencias significativas ($p>0,05$); mientras que en el producto sin filetear si se obtuvieron cercano al 90% de significancia (D28 mayor significativamente ($p<0,05$) a D24; D26 y D30 no difirieron de esta manera entre sí ni contra las otras dos).

Por otro lado, una razón que puede justificar el no encontrarse diferencias significativas en el índice viscerosomático, a pesar de someter a los peces a diferentes densidades; es que estos fueron tratados igual en cuanto a: tipo de pienso, TAD y la frecuencia de alimentación (Cruz et al. 2010).

Por lo tanto se puede deducir que las densidades más óptimas para la empresa, según los parámetros económicos de este experimento son: 26, 28 y 30 kg/m³. Esto coincide con lo sugerido por Guerrero (2006), quien recomienda para animales de engorde en jaulas flotantes valores entre 25 y 30 kg/m³; asimismo se encuentra

dentro del rango óptimo establecido por Perdomo et al (2011), el cual es de 25 a 40 kg/m³ para truchas en cualquier etapa de crecimiento.

Factor Estanque

Como se observó en los resultados, los parámetros: conversión alimenticia, SGR, índice de conversión económico, margen bruto, productividad económica, el factor de condición de *Fulton* y CTC; favorecieron al estanque E1 con respecto al E2. Esto está relacionado con la diferencia significativa ($p < 0,05$) existente, en cuanto al oxígeno disuelto, entre ambos estanques; donde el primero mostró valores más cercanos al rango óptimo para esta especie (entre 7 y 9 mg/l) según Carrera 2010, lo que propició un ambiente más oportuno para el desarrollo de las truchas.

De hecho Cuenco et al (1985) aseguran que en los peces, al aumentar la concentración de oxígeno, se incrementa la tasa de crecimiento de los mismos (hasta el punto en que esta alcanza su nivel máximo y se mantiene constante); lo que provoca, según Morales y Quirós (2007), una disminución en la conversión alimenticia, la cual va a repercutir en el resultado de los parámetros económicos.

Además, este elemento (oxígeno) provocó también la diferencia significativa ($p < 0,05$) encontrada en el índice viscerosomático entre estanques (mayor en el E1 con respecto al E2); pues, como lo estipula Souza et al (2002), en el hígado y en la grasa visceral (ambos contemplados dentro del total de las vísceras para el cálculo de este índice), se almacena gran parte de la energía del organismo. Por lo tanto, entre más elevado sea el valor, mejor es la condición nutricional de los animales (Rojo 2009); lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio para el factor de condición de *Fulton*, pues evidenció como truchas mejor nutridas significativamente ($p < 0,05$), las del estanque E1 ($K = 1,46$ y $1,39$; para E1 y E2 respectivamente).

La diferencia en cuanto a oxígeno disuelto entre estanques, es posible que sea por la magnitud de la utilización del agua que los abastece; pues como se muestra en el apartado de *procedimiento y metodología* el E1 se mantuvo con agua de segundo uso, mientras que el E2 se abasteció con la de tercer uso.

En otra instancia, los resultados mostraron una cantidad significativamente ($p < 0,05$) mayor de oxígeno disuelto a las 6 am (O_2 disuelto = 6,72 y 6,04 para E1 y E2 respectivamente) en comparación a los otros dos horarios (O_2 disuelto = 6,14 y 5,41 mg/l a medio día; 6,05 y 5,44 mg/l a las 6 pm; para E1 y E2 respectivamente), esto se debe a que cuando se alimentan los peces (a partir de las 8 de la mañana en esta finca), estos incrementan la tasa de consumo de oxígeno para metabolizar lo ingerido, por lo que se ve reflejado en un descenso en la cantidad de oxígeno disuelto durante el día (Alsop y Wood 1997).

Mientras que, la razón principal por la cual para las mañanas el valor de O_2 se elevó, es porque el sistema fue suplido con suficiente agua (caudal de 300 l/s), por lo que al encontrarse en tan elevada tasa de recambio (180%/hora), agua *nueva* estuvo ingresando en gran medida, así que conforme se disminuyó el consumo de oxígeno de los peces (a mayor tiempo desde la última alimentación), menor impacto se provocó en el O_2 disuelto que ingresaba a los estanques, lo cual se reflejó como más altos significativamente ($p < 0,05$) niveles de oxígeno en comparación a los momentos del día cercanos a cuando los individuos habían recibido su alimentación. Esto se puede fundamentar con lo expuesto por Brito (2009), quien asegura que al elevar la tasa de recambio se incrementa el O_2 disuelto.

Además, otra razón que fundamenta lo evidenciado, es que a las 6 de la mañana fue cuando se obtuvo menores temperaturas (Figura 14), por lo que se cumple lo mencionado por INCAGRO (2008), quien expone la existencia de una relación inversa entre la temperatura y el oxígeno disuelto. Esto se da porque la solubilidad del oxígeno decrece con el incremento de la temperatura (Vega et al. 1998). Pero, también esta misma al incrementarse, provoca un aumento en el metabolismo de estos animales (Sanz y Zamora 2012), lo cual repercute en un mayor consumo de O_2 (Rincón 2008) por parte de los peces. De hecho, Valbuena y Cruz (2006) encontraron una relación directa entre consumo de oxígeno y temperatura del agua en tilapia roja (*Oreochromis sp*). Por lo tanto, el descenso de oxígeno a lo largo del día, no sólo se debió a la alimentación sino también al incremento de temperatura.

Una manera de contrarrestar la disminución de oxígeno a lo largo del día, o la baja concentración del mismo debida a la reutilización del agua; es por medio de

aireación, puede ser natural (caídas de agua, escaleras, chorros, cascadas y sistemas de abanico) o mecánica (motobombas, difusores, aireadores de paleta, aireadores de inyección de oxígeno y generadores de oxígeno líquido) (Brito 2009). De hecho, según el mismo autor, con una buena aireación se puede alcanzar un incremento en la densidad de siembra de hasta 30%.

Factor Posición

En cuanto a la ubicación de la jaula, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto al oxígeno. No obstante, si se obtuvieron en el margen bruto para el producto *trucha en filete*, resultando un valor mayor significativamente en la posición de atrás con respecto a la de adelante (margen bruto = 9,69; 9,98 y 11,64 para las posiciones adelante, medio, atrás respectivamente); además, el margen bruto con *trucha entera* (margen bruto = 3,50; 3,74 y \$4,73 para las posiciones adelante, medio y atrás respectivamente) obtuvo un valor p muy cercano al 0,05 ($p = 0,0635$). Asimismo la productividad económica, de los animales procesados (0,84; 0,88; 1,00 para las posiciones adelante, medio y atrás respectivamente), presentó diferencias cercanas al 90%. Estos tres parámetros económicos coincidieron mostrando una relación inversa con la cercanía a la entrada de agua, esto indica mayor costo económico en los animales ubicados más cerca de la misma, luego en los intermedios y por último en los más lejanos.

Una razón que puede justificar estos resultados es que en la medida que se ubicaron las truchas más cerca a la entrada de agua, mayor fuerza en la corriente de agua soportaron durante todo el periodo. Por lo tanto, requirieron de una mayor locomoción, la cual, es la actividad realmente costosa a nivel metabólico de los peces (Castelló 1993); esto conllevó a menos energía disponible para el crecimiento y por ende una retribución económica inferior.

7.2. Determinación de la TAD según requerimiento energético

Como se visualizó en los resultados, la tasa de alimentación calculada en base a los requerimientos energéticos de los animales fue de 0,3% del peso vivo. Esta es muy baja en comparación a la que utiliza la empresa (1,6-2%). No obstante, debido a las

dificultades ya mencionadas presentadas a la hora de alimentar a las truchas en estudio, que provocó el bajo consumo y lento crecimiento en los peces; no se puede recomendar dicha TAD para que sea aplicable en la finca, pues los individuos en los estanques de esta corporación no presentan dichas limitantes.

Además, en el estudio de Samaras et al. (2015) con el pez lubina (*Dicentrarchus labrax*), se obtuvo diferencias significativas en crecimiento, entre animales bajo la misma densidad de carga y demás condiciones, pero diferente volumen de crianza; se evidenció una relación directa entre volumen y crecimiento. Por lo tanto, esto sugiere que no es adecuado aplicar en la producción en los estanques, los resultados obtenidos en las jaulas.

Sin embargo, se puede recalcar que para obtener la curva de crecimiento determinada, se debe brindar una TAD que es la tercera de la que se asignó en el experimento (alrededor de 0,9%); las razones ante estos resultados pueden ser diversas:

- El alimento fue robado por los peces fuera de las jaulas, pues los mismos podían penetrar su boca a través de la malla del encierro y capturar el pienso.
- Parte del alimento salió del perímetro de la *happa* antes de ser consumido, como lo indica Grayeb del Alamo (2001) que puede suceder en sistemas de jaulas flotantes; además la corriente de agua se consideró fuerte, lo cual pudo haber promovido este hecho.
- Al ejecutarse el proceso de alimentación de manera muy lenta (en varias ocasiones), provocó poca disponibilidad de gránulos, por lo que se dificultó la capacidad de captación y captura de los mismos, lo cual repercutió en un mayor gasto energético al calculado (sólo se consideró requerimientos de energía: retenida, para mantenimiento, de excreción no fecal y del incremento calórico). Pues como indica Toledo (1994a), esta especie utiliza la visión como instrumento principal para conseguir su alimento, por lo que entre más se vea limitada su visibilidad mayor cantidad de energía requiere para lograrlo. Además, debido a su comportamiento agresivo y desorganizado a la hora de comer (Petrell y Ang 2001), el alto costo energético involucrado no fue lo suficientemente recompensado, pues realizaban su conducta natural

pero sin tener éxito en la captura del alimento en muchas ocasiones a lo largo del evento de alimentación.

7.3. Pruebas físicas en el alimento

En los siguientes párrafos se discuten los resultados de cada una de las pruebas realizadas.

Porcentaje de finos

Según la media global considerando todas las muestras, al obtenerse un $2,11 \pm 0,94$ como porcentaje de finos; se concluye que el alimento no posee mala calidad en esta propiedad, pues se encuentra dentro del rango aceptable mencionado por Vargas (2003), el cual es de 3 a 5%. Además, aunque en promedio se evidenció menor porcentaje al inicio que en los otros dos momentos del almacenamiento, este no fue significativo ($p > 0,05$), lo que quiere decir que las condiciones del mismo en la empresa es adecuado en cuanto a que no provoca un incremento de finos; sumado al hecho de tratarse de un periodo muy corto.

Por otro lado, que entre lotes la variabilidad encontrada sea de un 0,23 % indica que estos se comportan de manera muy similar en cuanto al porcentaje de alimento aprovechable por los animales; pues está muy cercano al 0%, el cual sería el valor ideal, ya que asegurará un comportamiento constante por parte de la empresa distribuidora del alimento. Además, al obtenerse como promedio un valor tan bajo (ubicado dentro del intervalo aceptable), el 0,23 % de dicho valor no provoca que se sobrepase del límite permitido.

Densidad del *pellet* por pieza

El hecho de encontrarse en los resultados de esta propiedad siempre valores iguales o menores a 1, indica que el alimento no es hundible (Cruz et al. 2006).

Asimismo, se determinó que la variabilidad entre lotes fue muy alta (73,94%), indicando que los pellets más densos se encontraron en el lote 2, luego en el 3, seguido del 1; mostrando una relación directa con la cantidad de finos. Esto coincide

con lo expuesto por Vargas (2003), quien explica que los gránulos más pesados o densos suelen ser de mayor tamaño, por lo que tienden a quebrarse y así incrementar el porcentaje de finos. No obstante, aunque la densidad del alimento entre los lotes difiriera tanto entre sí, no provocó gran efecto en el tamaño de partícula del alimento, pues en dicha prueba, estos fueron muy semejantes entre sí (una variación entre lotes de 0,229 %).

En otra instancia, la menor densidad de *pellet* se encontró al final del almacenamiento difiriendo de manera significativa ($p < 0,05$) con la de la mitad; esto pudo deberse a que a lo largo del tiempo durante el almacenamiento, estas partículas ganaron agua y por ende volumen, el cual presenta una relación inversa con la densidad ($\rho = m/v$) (Theeratattananoon et al. 2011). Tal como Díaz et al. (2004), que detectaron un incremento significativo en humedad a mayor cantidad de días en stock en los gránulos de alimento para camarón. No obstante, aunque se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre momentos del almacenamiento, no se detectaron en el porcentaje de finos, por lo tanto, no se manifestó el efecto descrito en el párrafo anterior.

Densidad aparente (DA)

En esta prueba se encontró una alta variabilidad entre lotes (67,16%), no obstante esta no fue suficiente como para repercutir en el porcentaje de finos, pues los lotes para esta propiedad se presentaron bastante homogéneos (variabilidad entre lotes de 0,229 %). Asimismo, la densidad aparente no se vio afectada por el tiempo de almacenamiento del alimento.

La DA recomendada para la elaboración de alimentos hundibles es de 450 a 550 g/l (Jovanovic et al. 2009), por lo tanto, quiere decir que el pienso del presente estudio se encuentra dentro de dicho rango; pues su valor fue de 474,7; 482,4 y 502,5 para los lotes 1,2 y 3 respectivamente.

Flotabilidad

A pesar de la alta diferencia entre lotes para las pruebas: densidad del *pellet* por pieza y densidad aparente, esta no fue suficiente como para observarse un efecto de

gran magnitud en la flotabilidad. Asimismo, durante el tiempo en almacenamiento no se provocó que esta variara de manera significativa ($p > 0,05$).

La media de la flotabilidad entre la totalidad de las muestras fue de $80,7 \pm 12,52\%$. Por lo que, categorizar este alimento resulta complejo, pues al presentar un porcentaje en esta prueba menor al 90%, no se considera como flotante (Schewertner y Liu 2003). Pero tampoco cabe en clase de *hundibles* pues después de un minuto de verter los *pellets* en la superficie, más del 1% de los mismos permaneció flotando (Liu et al. 2004); mientras que la densidad por pieza lo encasilló como flotante y la densidad aparente como hundible. Sin embargo, si se puede asegurar que la flotabilidad se mostró poco homogénea entre los diferentes sacos, pues la desviación estándar indicó que aunque el promedio fue alrededor de 80%, también se obtuvo muestras de más de 90% y menores a 70%.

No obstante, al determinar el tipo de alimento ideal para una determinada explotación, es importante considerar algunos puntos. Por ejemplo, Pokniak et al (1999) aseguran que, en el caso de la trucha arcoíris, a mayor flotabilidad del alimento se aumenta el aprovechamiento del mismo, pues esto repercute en más tiempo para que los animales lo consuman evitando así el desperdicio. Además, los operarios pueden detectar con más facilidad los gránulos; por lo que se minimiza el exceso de *pellets* suministrados; esto genera a la vez, un beneficio para el ambiente, pues se reduce este material como contaminante.

En otra instancia, Toledo (1994a), sugiere que es indispensable conocer el comportamiento de los peces al comer, para así poder determinar la manera más adecuada de alimentarlos. Bajo este criterio, se ha evidenciado que los salmónidos localizan el alimento de manera más fácil cuando el mismo es móvil. De hecho, en experiencias efectuadas con salmón del atlántico, se detectó una reacción más rápida ante la alimentación con larvas de *Daphia* vivas (sólo mostraron movimiento a nivel de branquias al respirar) vs muertas. Esto podría compararse con los alimentos hundibles contra los flotantes, pues los primeros muestran mayor motilidad.

Asimismo, Petrell y Ang (2001) utilizando alimento hundible en salmón del atlántico, observaron que estos a la hora de comer, suben a la superficie a atrapar los *pellets*, pero a partir del momento en que la tasa de descarga del alimento supera a la de

consumo de los animales, se mueven hacia abajo siguiendo el gránulo, en vez de dejarlo pasar para que lo adquieran los peces nadando más hacia el fondo. Esto se da debido a la preferencia de estos animales por alimentarse en condiciones de menor intensidad de luz, siempre y cuando las partículas de comida sean detectables.

Por otro lado Castro (1993), propone que el tipo de alimento debe estar en base al nivel de tecnificación de la producción, pues expone que en fincas de salmones donde se alimenta de manera manual; no es tan relevante que el alimento se hunda muy lentamente, pues el operario bien entrenado puede brindarlo con el debido cuidado de evitar el desperdicio en el fondo del estanque. Mientras que, donde se realiza esta labor de manera automática, no es posible tener ese control; por lo que se requiere de extrusados cuya flotabilidad sea mayor y/o tasa de hundimiento menor. Por lo que la escogencia del sistema a utilizar radica de manera principal en el método más rentable para la empresa, según el país (costo de mano de obra vs tecnificación).

Por lo tanto, según lo expuesto en los párrafos anteriores y las condiciones observadas en la finca (ubicada en un país donde la mano de obra requiere de menor costo económico que la tecnificación), el alimento a utilizar debe ser hundible, pues aunque se cuente con un sarán con la funcionalidad de disminuir la intensidad de la luz para las truchas, éste no cubre toda el área (deja entrar gran parte de luminosidad en muchas secciones de los estanques) Con dicha consideración se podría lograr un aumento en el consumo, pues las mismas podrían alimentarse en la intensidad de luz de su preferencia (hacia el fondo del estanque). Por esto se debe entrenar al peón a que suministre el alimento tal como lo indica Petrell y Ang (2001): reduciendo la velocidad de descarga de los gránulos cuando los peces alcancen el fondo del estanque, con el fin de evitar el desperdicio.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El incremento de peso depende del número de animales ideal por metro cúbico para que se dé la adecuada competencia por el alimento y a su vez no se afecte de manera negativa la calidad del agua, la accesibilidad del alimento, el apetito de los peces y la capacidad digestiva de los mismos. Es por esto que el factor densidad provocó en los parámetros económicos, un efecto más beneficioso para la de 28 kg/m³; no obstante, esta no difirió de manera significativa ($p < 0,05$) de las de 26 y 30 kg/m³, por lo que se recomienda a la empresa mantenerse en un rango de 26 a 30 kg/m³ para animales en jaulas flotantes; incluso se podría realizar otra prueba evaluando densidades mayores. Esto para condiciones similares a las del experimento (mismo recambio de agua = 180%/hora).
- Entre más cerca al rango óptimo de oxígeno disuelto, se críen las truchas, mayor ventaja se obtiene en los parámetros biológicos y económicos. Para contrarrestar concentraciones bajas de O₂, se puede optar por sistemas de aireación de agua.
- Se podrían ejecutar investigaciones futuras sobre gradientes de calidad de agua dentro del estanque y en la reutilización de agua de la finca.
- A incrementarse la corriente de agua, más alto es el gasto energético, lo que puede repercutir en índices productivos más bajos.
- El CTC obtenido no debería ser utilizado por la empresa para predecir el crecimiento de las truchas en los estanques, pues las condiciones en las que permanecieron los peces de las jaulas, fueron muy diferentes a las de los mismos. Además, el factor volumen de crianza, puede provocar diferencias en crecimiento, aunque se mantenga la misma densidad y demás condiciones. Por lo que, lo más adecuado es que se calcule constantemente el CTC para las truchas en los estanques, registrándose por fase productiva y época (invierno y verano).

- Se recomienda, para próximos estudios en jaulas flotantes, delimitar el perímetro donde se sitúan las mismas, con alguna red que evite el paso de los peces libres en el estanque.
- Para futuras investigaciones es importante ejecutar mayor cantidad de análisis sobre la calidad del agua (CO₂, NH₃, entre otros).
- Igualmente, es conveniente obtener una muestra de truchas de manera aleatoria para calcular el índice de carne y así poder extrapolar a la totalidad de la biomasa; asimismo, con ello se puede determinar parámetros de repercusión económica para la empresa.
- Se podría balancear los tratamientos entre los operarios encargados de filetear las truchas, pues los mismos pueden provocar un importante efecto en los resultados.
- La empresa debe exigir al distribuidor de alimento, mayor homogeneidad en cuanto a la flotabilidad del mismo; debido a su impacto biológico, económico y ambiental. No obstante, según las condiciones de la finca, se sugiere que se cambie de alimento a uno de tipo utilice *hundible*, con la intención de aumentar el consumo de los animales al alimentarse en la zona de su preferencia (hacia el fondo donde la intensidad de la luz es menor). Para esto se debe capacitar de manera adecuada a los trabajadores para realizar tal labor.
- El periodo de almacenamiento del alimento en la empresa no perjudica la calidad física del mismo.
- Realizar futuras investigaciones siempre en verano, que es cuando hay menor cantidad de agua.
- Se recomienda la elaboración y utilización de mayor cantidad de registros productivos.

9. LITERATURA CITADA

- 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. Tesis de Magíster en Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 135 pp.
- AGUILAR A., OSORIO K., PRADO M., ZÚÑIGA C., DIOS-PALOMARES R., SIERRA P., QUIRÓS O. 2014. Enviromantal Technical Inefciency Effects on Estero Real quality: A Nicaragua Case. Revista Científica de la UNAN-León. 5(2):17-32.
- ALSOP D., WOOD C. 1997. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The Journal of Experimental Biology. 200:2337-2346.
- ALVARADO H. 1999. Crecimiento de la trucha arcoíris cultivada en diferentes tipos de estanques y densidades. Veterinaria Tropical. 24(2):121-129.
- ARCE J. 2014. Determinación de la tasa de alimentación para tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1759) en condiciones comerciales corregida por el Coeficiente Térmico de Crecimiento. Tesis de Grado. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 60 p.
- ARREDONDO J., VALDIVIA H., HERNÁNDEZ L., CAMPOS R. 1996. Evaluación del crecimiento, factor de conversión de alimento y calidad del agua del cultivo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema cerrado. Hidrobiológica. 6(1-2):59-65.
- ATWOOD H., TOMASSO J., WEBB K., GATLING D. 2003. Low-temperature tolerance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: effects of environmental and dietary factors. Aquaculture Research 34: 241-251
- BASTARDO H., SOFÍA S. 2003. Crecimiento de truchas todas hembras y de ambos sexos en un criadero venezolano. Zootecnia Tropical. 21(1):17-26.

- BERMAN A. 2007. Optimización del proceso de extrusión para la elaboración de pelets para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano. Tesis de Licenciatura. Zamorano, Honduras. 22p.
- BORBÓN J., GONZÁLEZ J. 2012. Exposición aguda a fetión en juveniles de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*): efectos tóxicos, cambios en actividad colinesterasa y uso potencial en monitoreo ambiental. Rev.Cienc.Salud. 10 (especial):43-51.
- BRITO F. 2009. Efecto de la reutilización del agua en la crianza y producción de tilapia roja. Tesis de Grado. Universidad del Azuay. Ecuador. 63 p.
- CABALLERO M., OBACH A., ROSENLUND G., MONTERO D., GISVOLD M., IZQUIERDO M. 2002. Impact of different dietary lipid sources on growth, lipid digestibility, tissue fatty acid composition and histology of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture. 214(1-4):253-271.
- CALVO G., MORA J. 2007. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. Tecnología en marcha. 20(2):3-9.
- CANO J., LUNA J., RIVERA C. 2009. Automatización industrial y sus tecnologías. Tesis de bachiller. Instituto Politécnico Nacional. México. 53 p.
- CARRERA S. 2010. Evaluación de dos densidades de siembra y dos fuentes de proteína (lombrices y vísceras de pollo) en la producción de trucha “Arco Iris” (*Oncorhynchus mykiss*). Tesis de Grado. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. 109 p.
- CASTELLÓ F. 1993. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Universidad de Barcelona. Barcelona, España. 747 p.
- CASTRO E. 1993. El estado actual de la acuicultura en Chile y perfiles de nutrición y alimentación. FAO. México. (En línea). Visitado el 06-10-2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S04.htm>.
- CHÁVEZ E. 2008. Frecuencia y características de lesiones anatomohistopatológicas compatibles con alteraciones metabólicas relacionadas a energía y/o proteínas en la dieta de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de fase juvenil. Tesis de Grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. 83p.

- CHÁVEZ E., SÁNCHEZ V. 2010. Evaluación técnico ambiental de los recursos hídricos e hidrobiológicos de las lagunas de Choclococha y Cochapata, Huancavelica. *Quintaesencia*. 3(1):33-40.
- CHO C., BUREAU D. 1998. Development of bioenergetics models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. *Aquatic Living Resource*. 11(4): 199-210.
- CHO Y. 2004. Development of Computer Models for Fish Feeding Standards and Aquaculture Waste Estimation: A Tratise. In; Cruz L., Ricque D., López M., Villarreal D., Scholz U., González M, eds. *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Sonora, México. 375-394 p.
- CHUA T., TENG S. 1979. Relative growth and production of the estuary grouper *Epinephelus salmoides* under different stocking densities in floating net-cages. *Marine Biology*. 54(4):363-372.
- CUENCO M., STICKNEY R., GRANT W. 1985. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: II. Effects of interactions among size, temperature, dissolved oxygen, unionized ammonia and food on growth of individual fish. *Ecological Modelling*. 27:191-206.
- CRUZ L., RUIZ P., COTA E., NIETO M., GUAJARDO C., TAPIA M., VILLARREAL D., RIQUE D. 2006. Revisión sobre algunas características físicas y control de calidad de alimentos comerciales para camarón en México. En: CRUZ L., RIQUE D., TAPIA M., NIETO M., VILLARREAL D., PUELLO A., GRACÍA A, eds. *Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. México. 331- 370 p.
- CRUZ N., MARCIALES L., DÍAS L., MURILLO R., MEDINA V., CRUZ P. 2010. Desempeño productivo del yaque (*Leiarius marmoratus* Gill, 1870) bajo diferentes densidades de siembra en estanques en tierra. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 23:325-335.
- DI RIENZO., CASANOVES F., BALZARINI M., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C. Infostat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

- DÍAZ V., FRAGA I., FRAGA R., GONZÁLEZ M., PÉREZ O., ESCOBAR A., CONTRERAS R., MORALES N. 2004. Variación en la calidad del pienso artificial durante el almacenamiento y su efecto sobre el Camarón *Litopenaeus schmitti*. III Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura. 108-121.
- DOMEZAIN A., HERNANDO J., PORTELA C., DOMEZAIN J., GARCÍA M. 2006. Calidad Agroalimentaria y bienestar animal en la acuicultura ecológica. VII Congreso SEAZ Zaragoza. España. 11 p.
- DUMAS A., FRANCE J., BUREAU D. 2010. Modelling growth and body composition in fish nutrition: where have we been and where are we going? *Aquaculture Research* 41(2): 161-181.
- DUNCAN A. 1974. *Quality Control and Industrial Statistics*. 4th Ed., Irwin, Homewoods, Ill.
- ELLIOTT J. 1982. The effects of temperatura and ration size on the growth and energetics of salmonids in captivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B(1):81-91.
- FAO. 2004. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. (En línea). Consultado el 10 de abril del 2013. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/007/y5600s/y5600s00.htm#TopOfPage>. 172972.
- GONZÁLEZ F. 2002. La acuicultura y el desarrollo económico. *Boletín. Instituto español de oceanografía*. 18 (1-4). 265-274 p.
- GRANADO A. 2000. Efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento del morocoto, *Piaractus brachypomus*, Cuvier 1818, (Pisces: Characiformes), confinado en jaulas flotantes. *Saber*. 12(2):3.7.
- GRAYEB DEL ALAMO T. 2001. Efecto de la densidad en el crecimiento de la cabrilla arenera *Paralabrax maculatofasciatus* (Percoidei: Serranidae) cultivada en jaulas flotantes. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 119 p.
- GUAYA D. 2012. Evaluación de tres tipos de raciones balanceadas comerciales y una experimental en el engorde de tilapia roja (*Oreochromis sp*) y su incidencia en los costos de producción, en la finca La Primavera, Parroquia Guayquichuma, cantón Catamayo. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 71 p.

- GUERRERO J. 2006. La nutrición y alimentación eficiente de los peces. (En línea).
Visitado el 05-02-15. Disponible en:
ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6709s/x6709s10.htm.
- HASKELL D. 1959. Trout growth in hatcheries. New York Fish and Game Journal.
6:204-247.
- INCAGRO., INVERSIONES SANTA INÉS SAC. 2008. Manual para la producción de truchas en jaulas flotantes. (En línea). Visitado el 14-01-15. Disponible en:
<http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/946/1/BVCI0000802.pdf>.
- INGLE DE LA MORA G., VILLAREAL E., ARREDONDO J., PONCE J., BARRIGA I. 2003. Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. Hidrobiológica. 13(4):247-253.
- JMP®, Version 7. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2007.
- JOVANOVIC R., LEVIC J., SREDANOVIC S., MILISAVLJEVIC D., GERMAN D., DURAGIC O., OBRADOVIC S. 2009. New technologies and quality of trout and carp aquafeed. Archiva Zootechnica. 12(1):18-26.
- JOVER M. 2000. Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. Revista AquaTIC. (En línea). Visitado el 11-02-15. Disponible en:
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/html/art906/Desechos.htm>.
- JOVER M., MARTÍNEZ S., TOMÁS A., PÉREZ L. 2003. Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas. Revista AquaTIC. (19):17-26.
- KRUSKAL W., WALLIS W. 1952. Use of ranks on one-criterion variance analysis. Journal of the American Statistical Association, 47: 583-621.
- KUBITZA F. 2000. Tilápia: Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial. 285 p. Jundiaí. 285 p.
- LIU K., BARROWS F., HARDY R., DONG F. 2004. Body composition, growth performance, and product quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed

- diets containing poultry fat, soybean/corn lecithin, or menhaden oil. *Aquaculture* 238:309-328.
- LUCHINI L., PANNÉ S. 2008. Perspectivas en acuicultura; Nivel mundial, regional y local. Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentos. Argentina. (En línea). Visitado el 7-nov-2015. Disponible en: http://produccionbovina.com.ar/produccion_peces/piscicultura/113-perspectivas.pdf.
- LUNA-ORTIZ P., EL-HAFIDI M., MARTÍNEZ-ROSAS M. 2013. La función mitocondrial y la cardioprotección. *Revista Mexicana de Anestesiología*. 36(4):294-305.
- MAHIBBUR R., GOVINDARAJULU Z. 1997. A modification of the test of Shapiro and Wilks for normality. *Journal of Applied Statistics*, 24(2): 219-235.
- MAIZ A., VALERO L., BRICEÑO D. 2010. Elementos prácticos para la cría de truchas en Venezuela. *Mundo Pecuario*. 4(2):157-168.
- MARTÍNEZ-PEREDA J. 1996. La perfusión de branquias como modelo de valoración de la calidad de agua y su relación con la producción intensiva de truchas. Tesis de doctorado. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 142 p.
- MARTÍNEZ S., TOMÁS A., PÉREZ L., JOVER M. 2003. Alternativas de diseño de una granja de truchas: volumen de producción y número de lotes anuales con dos perfiles de temperaturas. *Revista AquaTIC*. 19:35-40.
- MEJÍA H., MENDOZA V. 2013. Estudio de factibilidad de la creación de una estación experimental de producción y comercialización de truchas para el colegio provincia de Los Lagos en la parroquia San Francisco de Sigfipamba cantón Pimampiro-Imbabura periodo 2012-2015. Tesis de Grado. Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador. 154 p.
- MILLER R. 1981. *Simultaneous Statistical Inference*. 2nd Ed. Springer-Verlag, Heidelberg and Berlin.
- MOÑINO A., TOMÁS A., FERNÁNDEZ M., LÁZARO R., PÉREZ L., ESPINÓS F., TIANA A., JOVER M. 2002. Estudio del crecimiento, del aprovechamiento nutritivo y de la productividad económica de la dorada *Sparus auratus* L., 1758

- alimentada con piensos comerciales de diferente contenido en proteína y lípidos. Boletín Instituto Español de Oceanografía. 18(1-4):275-280.
- MORALES G. 2004. Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación. Trabajo de grado. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 51 p.
- MORALES G., QUIRÓS R. 2007. Desempeño productivo de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 15(4):119-127.
- MULLER K. 1979. Interrelaciones entre salinidad y temperatura en la bahía de Santa Marta. An.Inst.Inv.Mar. 11:219-226.
- PANTOJA J., SANCHEZ S., HOYOS J. 2011. Obtención de un alimento extruido para tilapia roja (*Oreochromis spp*) utilizando ensilaje biológico de pescado. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 9(2):178-187.
- PATZI B. 2013. Evaluación de dos tipos de alimentos en alevinos de trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), en estanques en la comunidad Pongo B2, Provincia Inquisivi. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia. 68p.
- PERDOMO D., GONZÁLEZ M., CASTELLANOS K., GECHELE J., PEREA F. 2011. Caracterización e índices productivos de granjas truchícolas en el Estado Trujillo Venezuela. Agricultura Andina. 19:17-29.
- PETRELL R., ANG K. 2001. Effects of pellet contrast and light intensity on salmonid behaviors. Aquacultural Engineering. 25(3):175-186.
- POKNIAK J., CORNEJO S., GALLEGUILLOS C., LARRAIN C., BATTAGLIA J. 1999. Efectos de la extrusión o peletización de la dieta de engorda sobre la respuesta productiva de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) tamaño plato. Archivos de medicina veterinaria. 13(1):141-150.
- QUIROLA I., VEINTIMILLA R. 2008. Diseño de un sistema de tratamiento de efluentes provenientes de raceways en camaronera, basado en un sistema de filtros físicos – biológicos. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 52 p.
- RENGIFO W. 2005. Montaje de una unidad productiva para la producción y comercialización de trucha ahumada, en la vereda La Palma, resguardo de

- Paniquita, municipio de Totoro, departamento del Cauca. Tesis de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Popayán, Colombia. 58 p.
- REYES D. 2011. Evaluación del sistema de molienda de una planta de alimentos balanceados para animales. Tesis de Grado. Universidad de Oriente. Venezuela. 82 p.
- RINCÓN R. 2008. Determinación de las relaciones existentes entre la temperatura ambiental, la masa visceral y corporal, la longitud corporal, el área muscular y la frecuencia respiratoria de *Carassius auratus*. Tesis de Grado. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. 51 p.
- RODRÍGUEZ J., RAMÍREZ B., VIVAR M, SOLÍS A., GÓMEZ C., CASTRO J., MEDRANO H., DELGADO E. 2014. Efecto de la concentración de harina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), contenido de humedad y temperatura de extrusión sobre las propiedades funcionales de alimentos acuícolas. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 13(3):649-663.
- ROJO A. 2009. Evaluación de la factibilidad técnica y económica del policultivo de la tilapia roja *Oreochromis ssp.* con el langostino *Macrobrachium americanum* (Bate 1868). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. 72 p.
- ROMARTHEIM O., SKREDE A., GAO Y., KROGDAHI A., DENSTADLI V., LILLEENG E., STOREBAKKEN T. 2006. Comparison of white flakes and toasted soybean meal partly replacing fish as protein source in extruded feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 256(1-4):354-364.
- SAMARAS A., PAVLIDIS M., LIKA K., THEODORIDI A., PAPANDROULAKIS N. 2015. Scale matters: performance of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*, L. (1758), reared in cages of different volumes. Aquaculture Research. Doi 10.1111/are. 12942.
- SANZ F., ZAMORA S. 2012. La nutrición y alimentación en piscicultura. Madrid Fundación Observatorio Español Acuicultura 2009. España. 804 p.
- SCHILLING R. 2013. Efecto de tres niveles de proteína en el desempeño fisiológico y ambiental de "*Salmo solas*". Tesis de grado. Universidad Austral de Chile. Chile. 72 p.

- SCHWERTNER M., LIU K. 2003. Performance of Post-juvenile Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* Fed Diets Manufactured by Different Processing Techniques. Journal of the World Aquaculture Society. 34(2):162-174.
- SILVA P., KRONKA S., SIPAÚBA L., SOUZA V. 2002. Desempenho produtivo da tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) em diferentes densidades e trocas de agua em "raceways". Acta Scientiarum. 24(4):935-941.
- SOUZA V., URBINATI E., GONÇALVES D., SILVA P. 2002. Composição corporal e índices biométricos do pacu, *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (*Osteichthyes, Characidae*) submetido a ciclos alternados de restrição alimentar e realimentação). Acta Scientiarum. 24(2):533-540.
- SUÁREZ M., GARCÍA M., TRENZADO C., GUIL J., FURNÉ M., DOMEZAIN A., ALBA I., SANZ A. 2014. Influence of dietary lipids and culture density on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) flesh composition and quality parameter. Aquacultural Engineering. 63:16-24.
- TABACHEK J. 1988. The effect of feed particle size on the growth and feed efficiency of Artic Charr. Aquaculture 71: 319–330.
- TABOADA A. 1989. Piscicultura. SEDUE. México. 67 p.
- TACON A. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación. FAO. (en línea). Visitado el 4-02-2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB492S/AB492S14.htm>.
- TANDLER A., HELPS S. 1985. The effects of photoperiod and water exchange rate on growth and survival of gilthead sea bream (*Sparus aurata*, *Linnaeus*; *Sparidae*) from hatching to metamorphosis in mass rearing systems. Aquaculture. 48:71-82.
- THEERARATTANANOON K., XU F., WILSON J., BALLARD R., MCKINNEY L., STAGGENBORG S., VADLANI P., PEI Z., WANG D. 2011. Physical properties of *pellets* made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. Industrial Crops and Products. 33(2):325-332.
- TOLEDO M. 1994a. Calidad física y química de los alimentos para peces y su importancia en el cultivo de peces. FAO. México. (En línea). Consultado el 06-

10-2015. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S17.htm>.

TOLEDO M. 1994b. Determinación de índices de calidad física de alimentos para peces. FAO. México. (En línea). Consultado el 04-03-2015. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/AB482S18.htm#ch17>.

VALBUENA R., CRUZ P. 2006. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*oreochromis sp*). Revista ORINOQUIA. 10(1):57-63.

VALENZUELA A., ALVEAL K., TARIFEÑO E. 2002. Respuestas hematológicas de truchas (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792) a estrés hipóxico agudo: serie roja. Gayana (Concepción). 66(2):255-261.

VARGAS R. 2003. Evaluación preliminar del método utilizado en la determinación de la flotabilidad de alimentos piscícolas. Agronomía Mesoamericana. 14(2):193-199.

VEGA M., PARDO R., BARRADO E., DEBÁN L. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects in the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research. 32(12):3581-3592.

VENEGAS P., SOBENES C., ORTIZ C. 2008. Efecto de Tiempos de Retención Hidráulico de Agua, en un Sistema de Cultivo Experimental de un Paso para Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). Información Tecnológica. 19(6):71-82.

WEATHERLEY A., GILL H. 1987. The Biology of Fish Growth. Academic Press. 443 p.

11. ANEXOS



Anexo 1. Jaula flotante de 1 x 1 m.



Anexo 2. Jaulas flotantes en funcionamiento en los estanque



Anexo 3. Medición de oxígeno (izquierda) y pH (derecha).

Anexo 4. Tratamiento y resultado de parámetros por jaula tomando los datos de los muestreos 2,3 y 4.

Tratamiento			Parámetros							
Jaula	D siembra (kg)	Est	Posición	D final (kg)	TAD (%)	C.A	SGR (%)	ICE (\$)	MB (\$)	PE
1	24	Uno	Atrás	30,00	1,01	1,86	0,51	1,83	6,93	0,63
2	26	Uno	Centro	31,89	0,96	1,97	0,51	1,93	6,07	0,54
3	30	Uno	Adelante	36,69	0,95	2,02	0,48	1,98	6,48	0,51
4	30	Uno	Atrás	36,78	0,98	2,01	0,49	1,97	6,73	0,51
5	24	Uno	Centro	29,71	1,03	2,04	0,51	2,00	5,42	0,49
6	26	Uno	Adelante	31,27	0,91	2,06	0,46	2,02	5,02	0,48
7	28	Uno	Atrás	34,47	0,97	1,99	0,51	1,95	6,47	0,53
8	30	Uno	Centro	36,27	0,94	2,09	0,48	2,05	5,68	0,45
9	28	Uno	Adelante	34,51	1,01	1,99	0,53	1,95	6,67	0,52
10	26	Uno	Atrás	31,82	0,94	1,93	0,49	1,89	6,28	0,57
11	28	Uno	Centro	34,50	0,94	1,84	0,57	1,80	7,73	0,65
12	24	Uno	Adelante	29,47	0,98	2,01	0,53	1,97	5,36	0,51
13	28	Dos	Atrás	33,41	0,94	2,21	0,42	2,16	4,39	0,38
14	28	Dos	Centro	32,68	0,89	2,35	0,43	2,31	3,17	0,29
15	30	Dos	Adelante	34,48	0,95	2,88	0,34	2,82	0,68	0,06
16	26	Dos	Atrás	30,65	0,99	2,49	0,42	2,44	2,50	0,22
17	30	Dos	Centro	34,86	0,99	2,84	0,38	2,78	0,91	0,07
18	26	Dos	Adelante	30,00	1,00	2,93	0,39	2,87	0,42	0,04
19	24	Dos	Atrás	27,57	1,01	3,08	0,31	3,02	-0,15	-0,01
20	24	Dos	Centro	27,12	0,93	3,32	0,35	3,25	-0,80	-0,08
21	28	Dos	Adelante	32,86	1,01	2,58	0,42	2,53	2,18	0,18
22	30	Dos	Atrás	35,80	0,92	2,20	0,39	2,16	4,66	0,38
23	26	Dos	Centro	29,72	0,85	2,57	0,32	2,52	1,76	0,18
24	24	Dos	Adelante	27,76	0,95	2,72	0,42	2,67	1,16	0,12

Simbología: D=Densidad, Est=Estanque, Posición=Posición con respecto a la entrada de agua, TAD=Tasa de Alimentación Diaria, SGR=Tasa de crecimiento, CA=Conversión Alimenticia, ICE=Índice de Beneficio Económico, MB=Margen Bruto, PE=Productividad Económica.

Anexo 5. Requerimientos energéticos para el crecimiento establecido por el CTC de 28 kg/m³ a una temperatura promedio de 13 °C , ración y TAD recomendada según días.

Días	Requerimientos ED(kJ)	Ración (g)	TAD (%)
1	18,78	0,99	0,30
2	18,85	1,00	0,30
3	18,93	1,00	0,30
4	19,01	1,01	0,30
5	19,09	1,01	0,30
6	19,16	1,01	0,30
7	19,24	1,02	0,30
8	19,32	1,02	0,30
9	19,40	1,03	0,30
10	19,47	1,03	0,30
11	19,55	1,03	0,30
12	19,63	1,04	0,30
13	19,71	1,04	0,30
14	19,79	1,05	0,30
15	19,87	1,05	0,30
16	19,95	1,06	0,30
17	20,02	1,06	0,30
18	20,10	1,06	0,30
19	20,18	1,07	0,30
20	20,26	1,07	0,30
21	20,34	1,08	0,30
22	20,42	1,08	0,30
23	20,50	1,08	0,30
24	20,58	1,09	0,30
25	20,67	1,09	0,30
26	20,75	1,10	0,30
27	20,83	1,10	0,30
28	20,91	1,11	0,30
29	20,99	1,11	0,30
30	21,07	1,11	0,30
31	21,15	1,12	0,30
32	21,24	1,12	0,30
33	21,32	1,13	0,30
34	21,40	1,13	0,29
35	21,48	1,14	0,29
36	21,57	1,14	0,29
37	21,65	1,15	0,29
38	21,73	1,15	0,29
39	21,82	1,15	0,29
40	21,90	1,16	0,29
41	21,98	1,16	0,29