

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ACUICULTURA



**“PARÁMETROS ECONÓMICO-PRODUCTIVOS DEL ALIMENTO
EXTRUÍDO Y REPROCESADO EN SISTEMA SEMICERRADO Y
BIOFLOC PARA JUVENILES DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”**

Presentada por:

MARCO ANTONIO DE LA CRUZ RIVAS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN ACUICULTURA**

Lima – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ACUICULTURA

**“PARÁMETROS ECONÓMICO-PRODUCTIVOS DEL ALIMENTO
EXTRUÍDO Y REPROCESADO EN SISTEMA SEMICERRADO Y
BIOFLOC PARA JUVENILES DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE

MAGISTER SCIENTIAE

Presentada por:

MARCO ANTONIO DE LA CRUZ RIVAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Fernando Galecio Regalado
PRESIDENTE

Mg.Sc. Beatriz Angeles Escobar
ASESOR

M. Eng. María Cristina Miglio Toledo
MIEMBRO

Mg.Sc. Jessie Vargas Cárdenas
MIEMBRO

“Ante cualquier doctrina, debemos: Cuestionar su base, preguntarse si la vista y los sentidos de las personas comunes pueden verificarla y preguntarse cómo se aplicará y si beneficiará a las mayorías”

Mo Tze

“La ciencia es la poesía de la realidad”

Richard Dawkins

A Idelsa, Brígida⁺, Manuel⁺ y Evangelino⁺.

A Lidia y Antonio⁺.

A Omar, Carlos, Eliana, Joselyn y Arián.

Con todo mi amor.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por el apoyo incondicional.

A Lidia Paula Rivas Pinto, mi madre, por enseñarme día a día qué es el amor.

A la Escuela de Posgrado, coordinador y docentes de la Maestría en Acuicultura de la Universidad Nacional Agraria La Molina por todo lo impartido.

A la Mg. Sc. Beatriz Elena Angeles Escobar, por la amistad, enseñanzas, asesoría, confianza y el apoyo incondicional.

A la Ing. Elsa Vega Galarza, a la Mg. Sc. Jessie Vargas y a la M. *Eng.* Maria Cristina Miglio Toledo, por sus valiosos aportes y el apoyo incondicional.

Al Biólogo Ronald Aquino Ortega, por el apoyo, la amistad y la asistencia en la realización del trabajo experimental.

A Roxana Pillaca, Ximena Luján y Rafael Rojas, por la amistad y el apoyo en la ejecución del trabajo experimental.

A los técnicos Raquel Barrial, Wilfer Quispe, Víctor Meneses y Marcelo Cutimanco, por el apoyo en la realización del trabajo experimental.

Al PhD Jesús Malpartida Pasco, por sus valiosos aportes y recomendaciones.

A la Blga. Celia Esperanza Molina Castro, por sus valiosos aportes.

A todos mis amigos de la primera promoción de la Maestría en Acuicultura.

A todos mis maestros de aula y campo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA TILAPIA GRIS (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	3
2.1.1. Distribución geográfica, biología y ecología	3
2.1.2. Hábitos alimenticios y factores que influyen en el consumo del alimento	4
2.1.3. Cultivo de tilapia.....	7
2.2. SISTEMAS DE CULTIVO EN ACUICULTURA.....	12
2.2.1. Principios de diseño	12
2.2.2. Sistema semicerrado (SC).....	13
2.2.3. Sistema biofloc (SBF).....	13
2.3. ALIMENTO EN ACUICULTURA.....	15
2.3.1. Tecnología del procesamiento de los alimentos en acuicultura	17
2.3.2. Características físicas de los alimentos	17
2.3.3. Alimento peletizado	20
2.3.4. Alimento extruído	20
2.4. CULTIVO DE TILAPIA EN SISTEMA BIOFLOC	21
2.4.1. Principales parámetros de calidad de agua.....	24
2.4.2. Alimentación de tilapia en SBF	28
2.4.3. Costo-efectividad parcial del cultivo de tilapia en SBF	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. ETAPA PRE-EXPERIMENTAL.....	34
3.1.2. Análisis nutricional y física de las dietas	34
3.2. ETAPA EXPERIMENTAL	36
3.2.1. Estabulación en unidades experimentales y manejo de juveniles de tilapia gris	36
3.2.2. Determinación de las características físicas y contenido nutricional del alimento	40
3.2.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua.....	43
3.2.4. Determinación de los parámetros productivos	44
3.2.5. Determinación de los parámetros costo-efectivos.....	45
3.2.6. Procesamiento y análisis de datos	47

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NUTRICIONALES DE LAS DIETAS	48
4.1.1. Análisis proximal de las dietas extruída y peletizada	48
4.1.2. Evaluación física de la dieta extruída y peletizada	49
4.2. Parámetros de calidad de agua en el cultivo.....	58
4.2.2. Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno	58
4.2.3. Potencial de hidrógeno (pH)	58
4.2.4. Conductividad	61
4.2.5. Volumen de floc.....	61
4.2.8. Nitrógeno amoniacal total	62
4.2.9. Nitritos	64
4.2.10. Nitratos.....	65
4.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DEL CULTIVO.....	67
4.3.1. Crecimiento.....	67
4.3.2. Conversión alimenticia.....	74
4.3.3. Supervivencia.....	78
4.4. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE COSTO-EFECTIVIDAD PARCIAL CON LAS DIETAS Y SISTEMAS DE CULTIVO.....	78
4.4.1. Consumo de energía.....	78
4.4.2. Consumo de agua	80
4.4.3. Consumo de melaza	81
4.4.4. Consumo de bicarbonato de sodio	82
4.4.5. Índice de conversión económico.....	84
V. CONCLUSIONES	90
VI. RECOMENDACIONES	91
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
VIII. ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de las características de las dietas empleadas en acuicultura con diferentes técnicas de procesamiento.....	22
Tabla 2: Parámetros de calidad de agua para el cultivo de tilapia gris.....	25
Tabla 3: Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia gris.....	29
Tabla 4: Macronutrientes en biofloc reportados en cultivos de diferentes especies.....	31
Tabla 5: Parámetros de manejo y control del sistema biofloc (SBF) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica	35
Tabla 6: Análisis y métodos empleados en la evaluación de contenido nutricional de las dietas para el cultivo de juveniles de tilapias en sistema cerrado (SC) y SBF.....	40
Tabla 7: Análisis y métodos empleados en la evaluación física de las dietas para el cultivo de juveniles de tilapias en sistema SC y SBF.....	41
Tabla 8: Frecuencia, registro (diaria y horaria) de la medición, instrumentos de medición y método de análisis de los parámetros de calidad de agua evaluados en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en sistema SC y SBF	43
Tabla 9: Parámetros productivos evaluados en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica.....	44
Tabla 10: Descripción para la determinación de parámetros de calidad de agua, productivos y otros en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica	46
Tabla 11: Factores y niveles del diseño experimental	47
Tabla 12: Análisis proximal de los macronutrientes en la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleada en la alimentación del cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.....	49
Tabla 13: Densidad de la dieta extruída empleada en la alimentación del cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos	53

Tabla 14: Registro promedio, mínima y máximas de los parámetros de calidad de agua (\pm desviación estándar) del cultivo de juveniles de tilapia nilótica según tratamientos 59

Tabla 15: Performance de crecimiento y otros parámetros productivos (\pm desviación estándar) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica, hacia el final de 56 días de experimento, en los tratamientos (n=12). Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) 77

Tabla 16: Participación porcentual de las variables en el índice de costo-efectividad parcial (ICEf) del cultivo de juveniles de tilapia nilótica, hacia el final de 56 días de experimento, en los tratamientos 87

Tabla 17: Parámetros costo-efectivos parciales (\pm desviación estándar) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica, hacia el final de 56 días de experimento, en los tratamientos (n=12). Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)..... 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variables de influencia ambiental sobre el consumo de alimento de los peces. FUENTE: Kestemont y Baras (2001).....	7
Figura 2: Producción mundial y nacional (a), venta y cosecha (b, c) de tilapia procedente de cultivo. FUENTE: FAO (2014); PRODUCE (2016).....	9
Figura 3: Implementación del biofloc en sistemas en acuicultura utilizando alimento con un relativo bajo contenido de nitrógeno y/o la adición de una fuente de carbono (a), uso separado de un reactor de bioflocs (b). FUENTE: Crab <i>et al.</i> (2012).....	14
Figura 4: Propiedades de los ingredientes para piensos y condiciones de procesamiento que pueden influenciar en las características de la presentación final del alimento balanceado. FUENTE: Jobling <i>et al.</i> (2001).....	18
Figura 5: Distribución aleatoria de tratamientos y réplicas en las unidades experimentales para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica con dos tipos de procesamiento de dietas en sistemas SC y SBF	36
Figura 6: Tamaño de la dieta extruída (a) y dieta peletizada (b) empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos durante el período experimental.....	50
Figura 7: Longitud, diámetro y relación longitud - diámetro de la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento.....	51
Figura 8: Unidades por gramo (a), flotabilidad (b) y Velocidad de hundimiento ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) de la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento.....	55
Figura 9: Pérdida de materia seca (izquierda) e hidroestabilidad (derecha) de la dieta DE y DP empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento.....	57

Figura 10: Variación promedio semanal de la concentración de nitrógeno amoniacal total (a), amoniaco, nitritos (c) y nitratos (d) según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica.....	66
Figura 11: Peso final (a), crecimiento (b) y producción de biomasa (b) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	69
Figura 12: Ganancia de peso diaria (a) y tasa específica de crecimiento (b) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	71
Figura 13: Factor de condición (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	72
Figura 14: Coeficiente térmico de crecimiento (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	73
Figura 15: Índice de conversión alimenticia (a), eficiencia de conversión alimenticia (b) y tasa de eficiencia proteica (c) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	76
Figura 16: Consumo de energía eléctrica para calentamiento (arriba) y aireación (abajo) del medio de cultivo (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en función de la biomasa producida en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica. Los promedios que al menos comparten una letra no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	80
Figura 17: Consumo de agua (a), melaza (b) y bicarbonato de Sodio (c) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en función de la biomasa producida, en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica, durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$).....	83

Figura 18: Índice costo-económico y de costo-efectividad parcial (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P<0.05$)..... 86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Reprocesamiento de la dieta extruída (DE) para la obtención de la dieta peletizada (DP). Presentación de extruído (a, b), pulverizado (c, d), mezcla, peletizado y secado de dieta reprocesada (e, f, g, h, i).....	113
Anexo 2: Informe de análisis químico (proximal) del alimento balanceado de tipo extruído (dieta extruída) empleado para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica con dos tipos de procesamiento de dietas en sistemas SC y SBF.....	114
Anexo 3: Informe de análisis químico (proximal) del alimento balanceado reprocesado a partir del alimento extruído (tipo peletizado) empleado para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica con dos tipos de procesamiento de dietas en sistemas SC y SBF.....	115
Anexo 4: Informe de análisis para la determinación de carbono en el sustrato carbonado empleado en los tratamientos con SBF para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica con dos tipos de procesamiento.....	116
Anexo 5: Informe de análisis para la determinación de carbono de las dietas extruída y de tipo peletizado empleados en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en sistemas de cultivo biofloc y semicerrado.....	117
Anexo 6: Unidades experimentales(a) y (b), tanques de almacenamiento de agua para renovaciones parciales y compensaciones por evaporación (c) y equipo de aireación (<i>Blower</i> o soplador de aire) (d), empleados durante el experimento.....	118
Anexo 7: Registro de la longitud y diámetro de la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleadas en el experimento.....	119
Anexo 8: Registro de las unidades por gramo (Izquierda) y de la velocidad de caída (VC) o hundimiento (Derecha) de la DE y DP empleadas en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.....	120
Anexo 9: Registro de la flotabilidad (Izquierda) y análisis de la pérdida de materia seca (PMS) e hidroestabilidad (H) (Derecha) de la dieta extruída empleada en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.....	121

Anexo 10: Tasa de alimentación diaria empleada en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.....	122
Anexo 11: Fracción decimal (proporción) del NAT como amonio no ionizado en agua dulce a diferentes valores de pH y temperatura (°C).....	122
Anexo 12: Evaluación de SST en el experimento. Unidades experimentales con baja (a) y alta concentración de SST (b), determinación de SST en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica (c) y (d).....	123
Anexo 13: Dosificación de Bicarbonato de sodio (g) para corrección de la alcalinidad en los tratamientos con SBF.....	123
Anexo 14: Colecta, revisión de branquias y muestreo para biometría de juveniles de tilapia en tratamiento con SBF durante el experimento.....	124
Anexo 15: Crecimiento en peso (g) de juveniles de tilapia nilótica en cultivo (\pm desviación estándar) para los tratamientos (n=12) durante el período experimental.....	125
Anexo 16: Diseño del sedimentador de sólidos empleado en los tratamientos con SBF en el experimento (Plano 2D a escala y vista 3D).....	126
Anexo 17: Análisis estadístico de parámetros productivos de la experimentación....	127

RESUMEN

Se evaluaron las dietas extruída (DE) y reprocesada (en adelante denominada peletizada, DP) sobre los parámetros productivos del cultivo de juveniles de tilapia gris *Oreochromis niloticus* en los sistemas de cultivo biofloc (SBF) y semicerrado (SC). Durante 56 días, juveniles de tilapia gris ($25,06 \pm 0,73$ g y $11,01 \pm 0,083$ cm de peso y talla promedio respectivamente) fueron estabulados en tanques con $0,35 \text{ m}^3$ de volumen útil y alimentados con una dieta de 40 por ciento de proteína bruta. El diseño factorial (2×2) incluyó cuatro tratamientos: Sistema semicerrado con dieta extruída (SCDE), sistema biofloc con dieta extruída (SBDE), sistema semicerrado con dieta peletizada (SCDP) y sistema biofloc con dieta peletizada (SBDP). El SC, incluyó renovaciones diarias de agua del 10 hasta el 50 por ciento, mientras que el SBF, donde sólo se adicionó agua por compensación a la evaporación, se manejó con una relación C:N de 15, volumen de floc (VF) de 20 mL.L^{-1} y la adición de melaza (40 por ciento de carbono). Las dietas se suministraron a una tasa de alimentación diaria de 6 hasta el 3,5 por ciento. El análisis de costo-efectividad parcial (CEP) se calculó en función de los recursos empleados (consumo de la dieta, agua, energía eléctrica para el calentamiento y aireación) y su relación con la biomasa producida (kg.m^{-3}). Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas en las tasas específicas de crecimiento de $1,91 \pm 0,13$; $1,73 \pm 0,10$; $1,81 \pm 0,06$ y $1,81 \pm 0,17 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$ e índices de conversión alimenticia de $1,56 \pm 0,08$; $1,84 \pm 0,05$; $1,72 \pm 0,07$ y $1,69 \pm 0,23 \text{ kg.kg}^{-1}$ para SCDE, SBDE, SCDP y SBDP respectivamente, aunque SCDE y SBDP alcanzaron los mejores valores. Por su parte, los PCA (NAT, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ y SST) resultaron diferentes y significativos entre sistemas (SCDE y SCDP frente a SBDE y SBDP). El análisis de la CEP a nivel experimental no solo mostró que SBDE y SBDP fueron hasta 24 por ciento más económicos que SCDE y SCDP, sino también que SBDP resultó 7 por ciento más económico que SBDE. El cultivo de juveniles de tilapia mejoró en SBF aun con el uso de la dieta de rápido hundimiento, pero con alta hidroestabilidad como fue el caso de la DP.

Palabras claves: Tilapia, dieta peletizada, dieta extruída, sistema semicerrado, sistema biofloc, costo-efectividad parcial.

ABSTRACT

The effects of extruded (DE) and pelleted (DP) diets and biofloc (SBF) and semi-closed (SC) systems on the productive parameters (PP), water quality parameters (PCA) and partial cost effectiveness parameters (CEP) of the juvenile tilapia culture (*Oreochromis niloticus*). During 56 days, gray tilapia juvenile ($25,06 \pm 0,73$ g and $11,01 \pm 0,083$ cm of weight and length average respectively) were housed in tanks with $0,35 \text{ m}^3$ of useful volume and fed with a 40% gross protein diet. The factorial design (2 x 2) included four treatments: semi-closed system with extruded diet (SCDE), biofloc system with extruded diet (SBDE), semi-closed system with pelleted diet (SCDP) and biofloc system with pelleted diet (SBDP). The SC, included daily water renewals of 10 to 50%, while the SBF was handled with a C: N ratio of 15, floc volume (VF) of 20 mL.L^{-1} and the addition of molasses (40% carbon). The DP was obtained from the reprocessing of the DE, providing them at a daily feeding rate of 6% up to 3.5%. The CEP analysis was calculated based on the resources used (diet and water consumption, electric power for heating and aeration) and its relation to the biomass produced (kg.m^{-3}). The results showed no statistically significant differences in the specific growth rates of $1,91 \pm 0,13$; $1,73 \pm 0,10$; $1,81 \pm 0,06$ and $1,81 \pm 0,17\%.\text{d}^{-1}$ and feed conversion rates of $1,56 \pm 0,08$; $1,84 \pm 0,05$; $1,72 \pm 0,07$ and $1,69 \pm 0,23 \text{ kg.kg}^{-1}$ for SCDE, SBDE, SCDP and SBDP respectively, although SCDE and SBDP reached the best values. On the other hand, the PCAs (NAT, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and SST) were different and significant between systems (SCDE and SCDP versus SBDE and SBDP). The analysis of the CEP at the experimental level not only showed that SBDE and SBDP were up to 24% cheaper than SCDE and SCDP, but also that SBDP was 7% cheaper than SBDE. The culture of juvenile tilapia improved in SBF even with the use of the diet of rapid subsidence, but with high hydrostability as was the case of DP.

Keywords: Tilapia, pelleted diet, extruded diet, semi-closed system, biofloc system, partial cost-effectiveness

I. INTRODUCCIÓN

Hacia fines de la presente década (2010 al 2020), se estima que los productos procedentes de la actividad acuícola superen a aquellos procedentes de la captura (cerca de 52 por ciento de la producción total para consumo humano). Dicha estimación, señala una disminución en la tasa de crecimiento anual de 5,4 por ciento a 2,4 por ciento, pero proyecta una producción de 79 millones de toneladas de esta actividad. Dentro de varias limitantes importantes a superar se ha descrito a la escasez de agua, la disponibilidad de terreno y el control de efluentes (subproductos metabólicos y otros residuos) que sugieren analizar entre varios un ámbito importante como es la tecnología de producción (FAO 2012).

En la búsqueda de la optimización de sistemas productivos en acuicultura se han desarrollado distintas tecnologías que, aunque difieren en variables de diseño como el tipo de estructura para el cultivo, la renovación de agua y la intensidad del mismo, buscan obtener mejores tasas de crecimiento, reducir la mortalidad, producir en el menor tiempo y al más bajo costo (económico y ambiental). Por el lado de la intensificación, en acuicultura la misma es auto limitante, no sólo debido al alto costo del alimento formulado, sino también por su pobre utilización, lo que provoca el deterioro del medio de cultivo y el crecimiento deficiente (Tacon y Forster 2003).

El sistema biofloc (SBF) incluye entre otros beneficios, la limitada renovación de agua (a diferencia de un sistema semi-cerrado), reciclaje y reducción de vertimientos de compuestos nitrogenados que proceden principalmente del uso de dietas balanceadas. Las propiedades del balanceado a consecuencia del tipo de procesamiento, podrían interactuar con características propias del SBF como, por ejemplo, el incremento de la turbidez, pudiendo afectar los niveles de producción, debido a que reducirían la visibilidad y por ende el consumo de la dieta (Azim y Little 2008). Este efecto podría ser mayor en especies como la tilapia que son eficientes consumidores de distintas formas o tipos de dietas (flotantes o de hundimiento) cuya producción depende de su relación muy estrecha con el sistema de cultivo (El-Sayed 2006). Por tanto, las posibles interacciones entre las propiedades físicas de la dieta y el SBF, podrían afectar el balance de su aprovechamiento expresado en la productividad del cultivo de especies compatibles al sistema, mejoras en la calidad del agua, el aprovechamiento del costo proteico de la dieta formulada y la costo-efectividad parcial del

sistema de cultivo; así como también, a hacerle frente a aquellas limitantes a superar en esta actividad en vías de su sostenibilidad.

En acuicultura el alimento es el componente principal de los costos de producción y alcanza entre el 40 a 60 por ciento de dicho costo en peces de piscifactoría (Kaushik 2000). En los últimos años, las técnicas de procesamiento del alimento balanceado para acuicultura, han aumentado ampliamente y tienen influencia directa en la calidad del alimento en términos de propiedades físicas y de digestibilidad de los nutrientes (Güroy 2006; Hematzade *et al.* 2013). Estas técnicas otorgan granos comprimidos (*Compressed pellet*), granos expandidos o extruídos (*Extruded pellet*) (Houlihan 2001); los mismos que involucran características físicas muy particulares, tales como: densidad, hidroestabilidad, producción de sólidos, etc. Las técnicas de procesamiento del alimento, como estrategia para la mejora de la productividad (mejora de la composición, presentación y aprovechamiento), podrían resultar factores limitantes para la misma si al emplearse en nuevos sistemas productivos no maximizan sus beneficios.

El objetivo de la presente investigación es evaluar las dietas extruída y reprocesada (en adelante denominada peletizada) sobre los parámetros productivos del cultivo de juveniles de tilapia gris *Oreochromis niloticus* en los sistemas de cultivo biofloc y semicerrado, estableciendo a partir del mismo los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar las características físicas y contenido nutricional de las dietas extruída y peletizada para juveniles de tilapia gris *Oreochromis niloticus*.
- Evaluar las características fisicoquímicas de la calidad del agua del cultivo de juveniles de tilapia gris *Oreochromis niloticus* con el uso de las dietas extruída y peletizada en SC y el SBF.
- Determinar y comparar el crecimiento, la conversión alimenticia y la sobrevivencia en el cultivo de juveniles de tilapia gris *Oreochromis niloticus* con el uso de las dietas extruída y peletizada en SC y SBF
- Determinar y comparar el índice de conversión económico y el índice de costo-efectividad del cultivo de juveniles de tilapia gris *Oreochromis niloticus* con el uso de las dietas extruída y peletizada en SC y el SBF.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA TILAPIA GRIS (*Oreochromis niloticus*)

2.1.1. Distribución geográfica, biología y ecología

“Tilapia” es el nombre genérico de un grupo de cíclidos endémicos del África (SRAC 1999). Existen alrededor de 200 especies de tilapias, muchas nativas de ríos occidentales de África (Bhujel 2014; Anon 1984). Este grupo de peces de agua dulce, están distribuidos alrededor de África, excepto las montañas Atlas del norte y el suroeste de África. Fuera de África, están ampliamente distribuidas en América central y del sur, el sur de la India, Sri Lanka, el lago Kinneret, Israel. La diversidad de hábitats es uno de los mayores factores detrás de la amplia distribución de la especie (ecológica y geográficamente), desde ríos, pasando por, riveras, ríos tropicales, ríos subtropicales, pantanos poco profundos, lagos, estuarios, lagunas, etc. (Mc Andrew 2000; Philippart y Ruwet 1982 citados por El-Sayed 2006; El-Sayed 2006).

La familia Cichlidae es una de las cuatro incluidas en el suborden Labroidei. La clasificación taxonómica de la tilapia es aún confusa, causada por la similitud, superposición de las características morfológicas y por la hibridación libre en la naturaleza, y está sujeta a diversos cambios (El-Sayed 2006). Nueve especies son utilizadas en acuicultura alrededor del mundo, concentrados en tres géneros con distintas características (FAO 2002; Popma y Masser 1999). Las principales especies del género *Oreochromis* son: *O. niloticus* (variedades Stirling, Egipcia, Tailandesa, GIFT, Chitralada, Líneas: Gris y Roja.), *O. aureus* (Líneas: Gris, Roja, Azul, Blanca (Rocky Mountain White) y *O. mossambicus* (Líneas: Gris, Roja, Anaranjada) (Comité Sistema Producto Tilapia de México AC. 2012)

La tilapia puede ser fácilmente identificada por una línea lateral interrumpida, característica de los peces de la familia de los cíclidos. Poseen un cuerpo generalmente discoidal y comprimidos lateralmente con larga aletas dorsales. La parte delantera de la aleta dorsal es muy espinada. Estas espinas también se encuentran en la pelvis y en aletas anales. Por lo general en los alevinos y a veces en adultos, llevan barras anchas verticales a los lados, las

mismas que cambian de color (controlado por cromatóforos) muchas veces en respuesta a estrés. La tilapia tiene la boca protractil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos, tienen bien desarrollado sus órganos sensoriales, representados por nares prominentes, ojos relativamente grandes y la línea lateral antes descrita (El-Sayed 2006; Popma y Masser 1999; Saavedra 2006).

Tienen un ciclo de vida bien definido en las etapas de huevo, alevín, cría, juvenil y adulto. Las tilapias son hábiles para crecer y reproducirse tolerando extraordinariamente una variedad de rangos de condiciones ambientales (Bhujel 2014; El-Sayed 2006). Para reproducirse, necesitan temperaturas superiores a los 20°C, alcanzando la madurez sexual a un tamaño pequeño y edad temprana. En condiciones naturales favorables, algunas especies maduran sexualmente a los 20 – 30 cm (150 – 250g). Las tilapias se caracterizan por su baja fecundidad y relativo tamaño grande de sus huevos, siendo el número de huevos por desove así como el tamaño de los huevos proporcional al peso corporal de la hembra. Se podrían dividir en dos grupos genéricos acorde a su modo de reproducción, aquellos que desovan en sustratos “*Substrate spawners*” y los de incubación bucal “*Mouthbrooders*” con cuidados parentales muy específicos según género (Comité Sistema Producto Tilapia de México AC. 2012; El-Sayed 2006; FONDEPES 2007).

2.1.2. Hábitos alimenticios y factores que influyen en el consumo del alimento

En la naturaleza, dependiendo de la especie, la tilapia emplea una variedad de hábitos alimenticios (Stickney 2017). Son generalmente herbívoros / omnívoros y su requerimiento y tipo de alimento varían con la edad del pez (El-Sayed 2006; FONDEPES 2007). Durante estadios larvales, consumen inicialmente zooplancton, especialmente crustáceos (copépodos), mientras que en la fase juvenil pueden alimentarse tanto de fitoplancton, zooplancton, así como de pequeños crustáceos (El-Sayed 2006; FONDEPES 2007).

Los hábitos alimenticios y preferencias de las dietas de las tilapias dependen, entre otros factores, sobre la especie y tamaño de la tilapia, hora del día, fotoperíodo, profundidad del agua y ubicación geográfica (El-Sayed 2006). Respecto al tamaño de la especie, se describe que los peces pequeños son más activos en la ingesta que los adultos; y tanto la intensidad

de la alimentación y el consumo del alimento disminuyen con el incremento del tamaño del pez (El-Sayed 2006). Son conocidas por comer continuamente durante el día en su hábitat natural, teniendo poca actividad de alimentación por las noches (Suresh y Bhujel 2012).

a. Factores abióticos

La luz, que influye en el comportamiento alimenticio, recibe mucha atención por su multiplicidad de propiedades (espectro, intensidad, variación diaria y estacional de duración en el día) y sus interacciones con otros factores ambientales o fisiológicos (Kestemont y Baras 2001). Se desconocen los mecanismos de actuación por los cuales el fotoperíodo produce un efecto en la selección de macronutrientes, una posible explicación son los cambios hormonales que tienen lugar estacionalmente y a lo largo del día (Rubio 2009). La penetración de la luz en la columna de agua se ve afectada por la turbidez, profundidad y productividad primaria. En consecuencia, los patrones alimenticios de la tilapia pueden variar con diferentes masas de agua. Así mismo estos patrones de alimentación y su eficiencia pueden estar sujetos a cambios diurnos y estacionales (El-Sayed 2006). La intensidad de la luz es de crucial importancia, en las especies de peces que utilizan la visión para capturar el alimento, afecta la agudeza visual y a la percepción del contraste (Rubio 2009). En adultos de tilapia nilótica bajo condiciones de cultivo y uso de alimentadores se registró consumo solo en horas de luz (El-Sayed 2006). Respecto a las estaciones del año, específicamente en tilapia nilótica, se han registrado en cultivo mayor actividad en la alimentación en verano que en invierno. Para el caso de otras tilapias, se han encontrado diferencias debido al registro del contenido estomacal, los mismo que difirieron en invierno y primavera (prevalencia de dípteros) respecto al verano y otoño (prevalencia de zooplancton) (El-Sayed 2006).

La temperatura como principal factor medioambiental que determina los requerimientos metabólicos del alimento, rigiendo la tasa de reacciones metabólicas que afectan todos los procesos fisiológicos en animales ectotermos, determina el metabolismo, la ingesta del alimento, la eficacia nutricional así como la tasa de vaciado gástrico, siendo la ingesta máxima del alimento cuando la temperatura suele ser unos grados superior a la temperatura a la cual se obtiene el máximo crecimiento (Brett 1971; Jobling 1997; Koskela *et al.* 1997; Buentello *et al.* 2000 citado por Rubio 2009). Se considera para tilapia una temperatura superior a los 30°C (Mélard 1986 citado Kestemont y Baras 2001).

El oxígeno disuelto es potencialmente un factor ambiental limitante debido a la predominancia del metabolismo aeróbico en peces (Fry 1971 citado por Kestemont y Baras 2001) especialmente a altas temperaturas (Jobling 1997 citado por Kestemont y Baras 2001). En juveniles de tilapia nilótica se han reportado reducción de la alimentación y el crecimiento cuando estos permanecieron bajo condiciones de hiperoxia (200% saturación) en comparación con aquellos bajo condiciones de normoxia (90% saturación) (Tsadik y Kutty 1987 citados por Kestemont y Baras 2001).

Los compuestos nitrogenados además de ser perjudiciales para la salud de los peces podrían afectar la ingesta de alimento (Rubio 2009). Dependiendo de la temperatura, oxígeno y el pH, concentraciones no letales de compuestos nitrogenados (Amonio no ionizado, nitrito) pueden tener efecto sobre la estructura branquial y el mucus epidérmico (Kamstra *et al.* 1996 citado por Kestemont y Baras 2001). Los nitritos, que pasan fácilmente a través de las branquias, pueden llegar a la sangre y conformarse en metahemoglobina pudiendo reducir la captación de oxígeno y conducir a la muerte por anoxia (Ross 2000).

b. Factores bióticos

La densidad de carga en el cultivo de peces es considerada un factor de estrés con efectos negativos sobre la alimentación, crecimiento y un rango de procesos fisiológicos (Wedemeyer 1997 citado por Kestemont y Baras 2001), sin embargo las explicaciones difieren entre autores señalándose entre tantas a la competición, limitación de espacio, la disponibilidad de alimento y por tanto la ingesta de alimento aunque esta afectación puede estar determinada por la especie (Rubio 2009). Se describe también a las relaciones jerárquicas como factor que influye en el consumo el alimento, esta relación se define por la existencia de peces dominantes y otros subordinados que dificultan el acceso al alimento de estos últimos (Rubio 2009). Las perturbaciones humanas también son consideradas de afección con consecuencias sobre la ingesta de alimento en peces, aunque con menor efecto en especies del genero *Oreochromis* (Baras *et al.* 1996 citados por Kestemont y Baras 2001), estas perturbaciones pueden sustentarse por actividades de manipulación, limpieza de infraestructura, profilaxis y tratamiento de enfermedades y la administración de alimento de los peces (Kestemont y Baras 2001 citados por Rubio 2009). Por manipulación de peces se han reportado reducciones de ingesta por períodos de varias horas hasta días (Boujard *et al.* 1992 citados por Rubio 2009).

En la Figura 1, tomada de Kestemont y Baras (2001), se describen diversos factores asociados al consumo de alimento en peces. Como factores abióticos se consideran a la luz, temperatura, corrientes agua, velocidad del agua, oxígeno, compuestos nitrogenados, pH y salinidad; mientras que para los factores bióticos se incluyen a la densidad de carga, estructura social, predadores y los disturbios humanos.

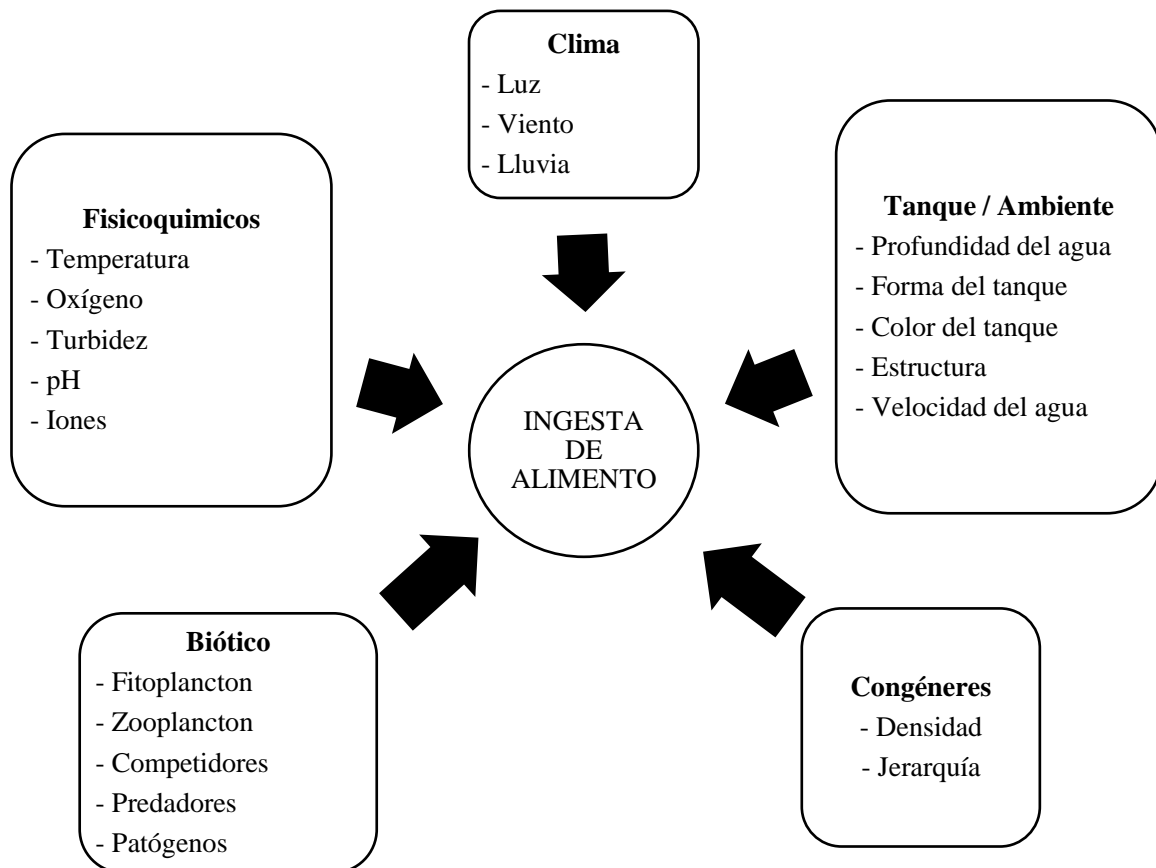


Figura 1: Variables de Influencia ambiental sobre el consumo de alimento de los peces. FUENTE: Kestemont y Baras (2001).

2.1.3. Cultivo de tilapia

Más de 5,38 millones de toneladas de tilapia se produjeron en el mundo al 2016. China sigue liderando la producción de esta especie con más del 50 por ciento del total producido. Después de las carpas, barbos y otros ciprínidos, las tilapias son las más producidas a nivel mundial y constituyen la especie acuícola más extendida del mundo con presencia en 135 países (FAO 2013; 2014; 2018). Seguido de China, países como Egipto, las Filipinas,

Indonesia y Tailandia son los mayores productores a nivel mundial (FAO 2013; 2018). Recientemente Bangladesh y Brasil han mostrado rápidamente el incremento de la producción de tilapia, la cual es consumida en el mercado local sin exportarse aún (Bhujel 2014). La tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* es la especie de mayor producción seguida de la tilapia Mozambique. La primera supera el 70 por ciento de todas aquellas producidas (más de 3,4 millones de toneladas), mientras que la segunda bordea apenas el 4 por ciento (FAO 2013). La expansión del cultivo de tilapia en el mundo, la escasa disponibilidad de agua dulce y la competencia por esta con la agricultura y actividades urbanas, tiende gradualmente a desplazar el cultivo tradicional de tipo semi-intensivo a sistemas intensivos (El-Sayed 2006).

Posicionada en el cuarto lugar de las especies de mayor producción en el Perú, como se observa en la Figura 2, la tilapia ha cuadruplicado su producción en casi 10 años (2005 al 2015). Más de 3200 toneladas métricas en el 2015 (PRODUCE 2017), representaron apenas el 3,77 por ciento de la cosecha total de recursos procedentes de la actividad acuícola. La tilapia, introducida en los años 50 como forraje, no es hasta los años 70 donde se empiezan investigaciones para su posterior producción (Baltazar 2007). Para el año 2004, como se observa también en la Figura 2, el Perú se ubicó entre los 10 países exportadores de filetes frescos de Tilapia, el mismo año a partir del cual las cosechas de tilapia superaron la media tonelada métrica anual, cuyo consumo fue principalmente local. Más de 350 hectáreas en el ámbito continental entre concesiones y autorizaciones sustentan la producción nacional de tilapias cuya mayor cosecha, en el 2015, se registró principalmente en los departamentos de Piura con más de 2173 toneladas métricas, San Martín (868 TM) y Lima (242 TM); destinándose en su mayoría hacia el consumo local (> 80%) (PRODUCE 2017).

En el año 2015, se han registrado importaciones que superan las 1845 toneladas, entre filetes congelados de tilapia, tilapia fresca o refrigerada, congelados de tilapia y filetes frescos o refrigerados de tilapia; procedentes de Ecuador, China y Vietnam (TradeMap 2017). En la actualidad, las especies que se vienen criando en diversas partes del país son *Oreochromis niloticus* (toda la costa y San Martín), *Oreochromis* sp variedad Chitralada (Piura, San Martín) y roja (Lima, La Libertad, Lambayeque, Ica y San Martín), y *Oreochromis aureus* (Baltazar 2009).

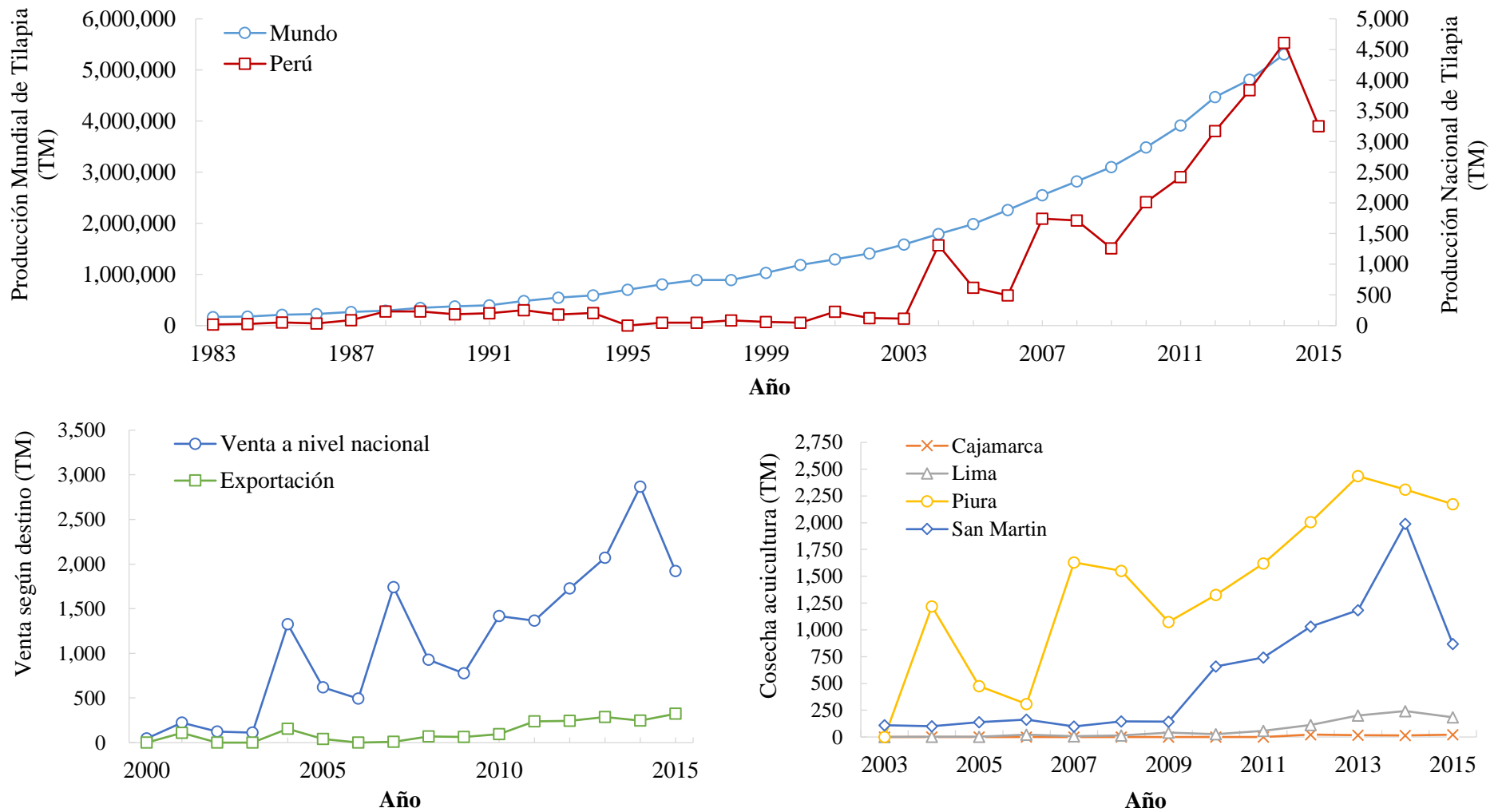


Figura 2: Producción mundial y nacional (a), venta y cosecha (b, c) de tilapia procedente de cultivo. FUENTE: FAO (2014); PRODUCE (2016)

Las tilapias son cultivadas en una amplia variedad de sistemas de cultivo (Suresh y Bhujel 2012), desde pequeños diques a grandes tanques y reservorios en agua dulce y salada; desde áreas peri-urbanas a rurales (Bhujel 2014). En décadas pasadas (1960 y 1970), el cultivo de tilapia, utilizó principalmente los métodos de cultivo extensivo o semiintensivos con un mínimo uso de fertilizantes o piensos (Watanabe *et al.* 2002). El sistema extensivo para el cultivo de tilapia incluye una amplia gama de unidades de cultivo, como son: estanques, cunetas, tanques de riego, embalses, campos de arroz y estanques de tratamientos de aguas residuales. El stock de peces es irregular, la fertilización y alimentación es natural y las producciones menores a $1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ (Suresh y Bhujel 2012).

Los avances tecnológicos relacionados con la intensificación del cultivo han llevado a la expansión rápida del mismo durante la última década. Estos incluyen el desarrollo de nuevas variedades e híbridos, el cultivo monosexo masculino, dietas formuladas, la utilización de invernaderos, geotérmica y/o el calor residual industrial, métodos avanzados de tratamiento de aguas y una variedad de sistemas de cultivo semiintensivo e intensivo (estanques, jaulas, tanques y *raceways*) (Suresh y Bhujel 2012). Tomando en cuenta el ratio ingresos/egresos (costo/beneficio), el sistema semiintensivo puede ser más conveniente y costo-efectivo para pequeños productores que para centros de producción intensiva.

El sistema semiintensivo es el nivel más común de manejo para productores pequeños y medianos con capital limitado y/o donde alimentos formulados de buena calidad no son fácilmente accesibles. Incluye la fertilización de estanques, monocultivos, policultivos y cultivos integrados (El-Sayed 2006). Generalmente pueden emplearse estanques de tierra (desde 2 ha hasta pocos metros cuadrados) que se puede llenar y drenar al gusto del productor; los insumos incluyen fertilizantes orgánicos e inorgánicos, alimentos suplementarios, sub-productos agrícolas (afrecho de trigo, semolina de arroz), maíz y/o algún alimento fabricado localmente. El objetivo de la fertilización en el cultivo de peces es una mayor producción de peces, y esto a través del aumento de la producción primaria o la producción secundaria y la mejora de la calidad del agua (Mischke 2012). Las tasas de siembra en estos sistemas varían de 50 000 a 100 000 peces por hectárea, generalmente ciclos de producción de cinco a seis meses, siembras de alevines de 5-20 gramos hasta la cosecha (Saavedra 2006). Típicamente los rendimientos son de $3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$, pero algunos sistemas bien administrados pueden producir hasta $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ (Suresh y Bhujel 2012).

El cultivo intensivo de tilapia tiende a expandirse a nivel mundial, de forma experimental y/o comercial, en los estanques, tanques, canales, jaulas, sistemas de recirculación y de acuaponía; más aún en zonas donde la tierra, el agua, o ambos son limitados, o condiciones climáticas restringen la estación de crecimiento para un período menor de 1 año, deseable para lograr una elevada productividad (El-Sayed 2006; Suresh y Bhujel 2012). Las tilapias crecen bien a altas densidades y en confinamiento de tanques cuando la calidad de agua es mantenida (De Long *et al.* 2009). El primer problema en sistemas intensivos en acuicultura es el deterioro en la calidad del agua causado por las altas concentraciones de metabolitos (Avnimelech 2007). Modificaciones sustantivas para el proceso de intensificación respecto al medio ambiente, dependencia total de alimento balanceado (dietas completas), control completo sobre el agua (aireación, renovación y reutilización) como en los sistemas semicerrados, control de enfermedades, describirán la capacidad de los sistemas de producción para producir más pescado con menos agua, menos comida y menos tiempo para bajar los costos de producción y reducir los contaminantes para el medio ambiente (Watanabe *et al.* 2002; Comité Sistema Producto Tilapia de México AC 2012). Los sistemas intensivos pueden alcanzar producciones de 100 a más de 500 t.ha⁻¹.año⁻¹ (El-Sayed 2006). Los rendimientos en jaulas y tanques, pueden ser de 10 a 40 kg.m⁻³ y en los estanques de 15 a 40 t.ha⁻¹, dependiendo de la intensidad del recambio de agua y la aeración (Comité Sistema Producto Tilapia de México AC 2012).

En el Perú, San Martín y Piura son las regiones con mayor producción de tilapia, por sus características ambientales, básicamente las temperaturas ideales, condiciones para el desarrollo de un buen cultivo y áreas apropiadas (PRODUCE 2009). El cultivo de esta especie se desarrolla en estanques de tierra y en algunas represas y lagunas (Hurtado 2002; Baltazar 2007). Existen 668 centros acuícolas que cultivan tilapia, y de estos 476 son de subsistencia o acuicultura de recursos limitados (AREL), 188 son de la micro y pequeña empresa (AMYPE) y 4 de la mediana y gran empresa (AMYGE). Los criaderos ocupan un total de 394,5 hectáreas destinadas a la producción, aunque cabe indicar que existen más criaderos de los que se indican y que no se encuentran autorizados (Baltaza 2015).

2.2. SISTEMAS DE CULTIVO EN ACUICULTURA

La acuicultura es un negocio de gestión intensiva. La necesidad de una gestión intensiva y especializada, se deriva desde el alto nivel de capital invertido en las instalaciones hasta los altos niveles de capital operativo necesarios para operar un negocio competitivo y rentable (Engle 2010). Un sistema de producción está compuesto de múltiples elementos, que interactúan entre ellos estableciendo un equilibrio dinámico, que generalmente se va a modificar al modificarse cualquiera de sus componentes (Comité Sistema Producto Tilapia de México AC 2012).

2.2.1. Principios de diseño

Los principios de diseño de sistemas de producción en acuicultura, podrían estar sujetos a distintas consideraciones de tipo general (relacionado al entorno) y específico (relacionado a la especie en cultivo). El entorno es básicamente el ambiente donde se pretende instalar el sistema y debe considerar aspectos físicos, económicos, legal / político, social y el potencial de comercialización; mientras que, por el lado de la especie en cultivo, debe existir una base biológica y tecnológica. Ambas consideraciones podrían contribuir a mejorar el rendimiento de los sistemas y a reducir los costos operativos iniciales (Gupta y Acosta 2004; Huguenin y Colt 2002). Desde un lado productivo, los sistemas en acuicultura pueden ser extensivos, semi-intensivos o intensivos, dependiendo del número de organismos cultivados por unidad de volumen y la fuente disponible de agua. La calidad y cantidad de agua influyen fuertemente la selección de la especie y el sistema de cultivo a emplear (Bhujel 2014). Según el número de especies podrían ser de monocultivo, policultivo y cultivo asociado. Según el nivel de producción pueden clasificarse en acuicultura de recursos limitados (AREL), acuicultura de la micro y pequeña empresa (AMYPE) y acuicultura de mediana y gran empresa (AMYGE); complementariamente, según por el medio en el cual se desarrolla puede ser acuicultura marina, continental y de aguas salobre. Finalmente, desde un lado tecnológico están clasificados en sistemas abiertos, semi-cerrados, cerrados e híbridos. La interacción del sistema productivo y la tecnología empleada es a distintos niveles y en función de los objetivos de producción (FONDEPES 2007; Timmons *et al.* 2009; Lekang 2013).

En las últimas décadas se han diseñado una serie de sistemas de producción de organismos acuáticos, cuyo desafío es desarrollar sistemas que maximicen la capacidad de producción por unidad de costo del capital invertido y están orientados a disminuir la utilización del agua y de espacio, aumentando considerablemente la densidad de cultivo (Crab *et al.* 2007; Timmons *et al.* 2002).

La intensificación en acuicultura implica altas densidades de población de especies cultivadas, maximizar la producción y minimizar el uso de agua, la intervención humana, los insumos externos en el sistema de producción e insumos energéticos. A medida que se asciende en la escala de la intensificación la cantidad de energía eléctrica invertida en cada kilogramo de producción también tienden a aumentar. A su vez como sistema, se caracteriza por las necesidades de alta calidad y cantidad de alimento artificial o generar costes aún más altos, debido a la necesidad de aumentar las tasas de renovación de agua; lo que conlleva a una pobre percepción de la acuicultura por las partes interesadas, percibiéndose como una amenaza ambiental (Avnimelech *et al.* 2008; El-Sayed 2006; Piedrahita 2003; Tidwell 2012a). Los sistemas abiertos, semicerrados, cerrados e híbridos, bajo un contexto de intensificación, están basados en el grado de control o intervención del acuicultor o por el mantenimiento del ecosistema (Tidwell 2012a).

2.2.2. Sistema semicerrado (SC)

Dentro de este tipo de sistema, todavía dependemos en gran medida de la naturaleza para proporcionar los tres servicios ecológicos básicos (temperatura adecuada, oxígeno suficiente, y remoción de desechos). En su mayoría las unidades de cultivo son de origen artificial (estanques y *raceways*), se tiene la habilidad para agregar o remover agua, la misma que puede ser tomada de una fuente natural y conducida por gravedad o por bombeo. El agua puede ser utilizada y descargada, o constantemente limpiada u oxigenada por procesos naturales, así mismo puede incluir una práctica y costo-efectiva aireación mecánica (Tidwell 2012).

2.2.3. Sistema biofloc (SBF)

Uno de los sistemas que permiten la intensificación a una inversión y costo de operación relativamente razonable es la tecnología biofloc, desarrollada a inicios de 1970, denominada

también como *Zero Exchange Autotrophic heterotrophic system*, *Active-sludge or Suspended bacterial-based system*, *Single-cell protein production system*, *Suspended-growth systems*, *Microbial floc systems*, (Burford *et al.* 2003; Wasielesky *et al.* 2016; Rakocy *et al.* 2004; Animelech *et al.* 1989; Hargreaves 2006; Avnimelech 2007; Ballester *et al.* 2010, citados por Emerenciano *et al.* 2013), “*Organic Detrit Algae Soup*” (ODAS) (Serfling, 2000) y *Activated suspension technique* (ASL) (Azim *et al.* 2008). Este sistema, como se observa en la Figura 3, puede denominarse “*in-situ*” cuando el agua donde se desarrolla el biofloc es la misma donde crecen los organismos en cultivo (peces, crustáceos, etc.) y “*ex-situ*” cuando el biofloc se desarrolla en biorreactores externos distintos a la unidad de cultivo como unidades de tratamiento de efluentes y/o productoras de recursos de valor para la industria (Avnimelech 2009; Leckang 2013).

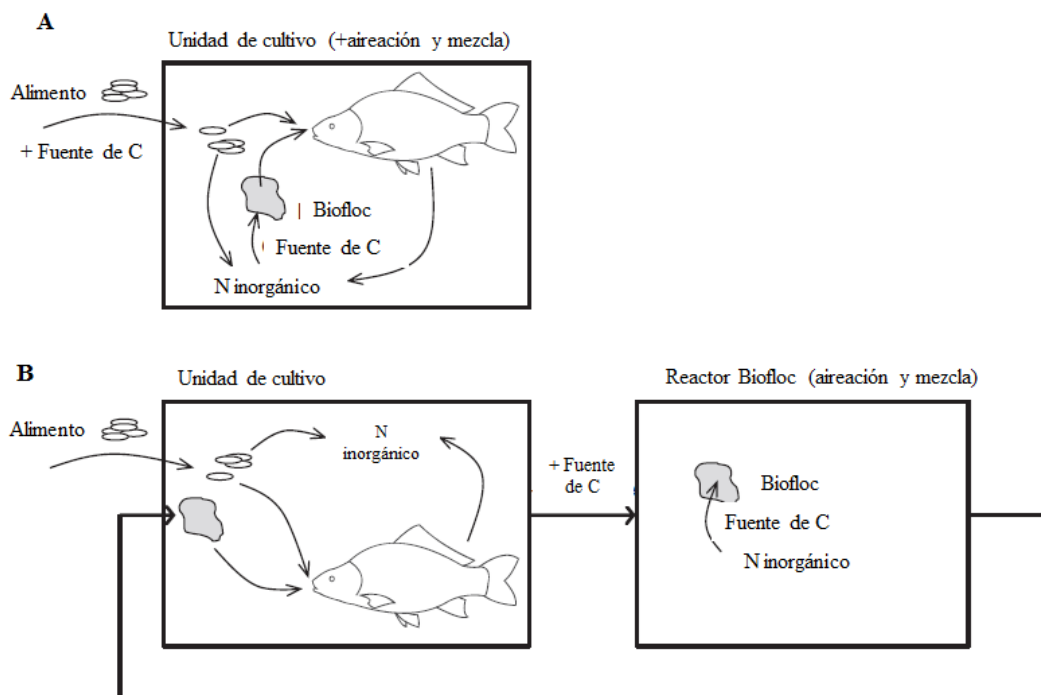


Figura 3: Implementación del biofloc en sistemas en acuicultura. (A) Utilizando alimento con un relativo bajo contenido de nitrógeno y/o la adición de una fuente de carbono y (B) uso separado de un reactor de *bioflocs*.

FUENTE: Crab *et al.* (2012).

La tecnología o SBF es una forma de cultivo acuícola que se centra en un uso más eficiente de la entrada de nutrientes con poco o cero recambio de agua. Además, puede proporcionar

comparativamente bioseguridad, menor impacto ambiental y una producción financieramente sostenible.

La base del SBF son los bioflocs, estos son conglomerados de microorganismo, algas, protozoos y otros, junto con detritus, partículas orgánicas muertas (Avnimelech 2012). El SBF no es completamente heterotrófico, incluso si este comprende la mayor parte, porque también habrá algunos componentes autotróficos (fotoautótrofos y quimioautótrofos) (Lekang 2013). El primer proceso es la asimilación del nitrógeno amoniacal total (NAT) por las bacterias heterotróficas para proteína microbiana (cuando el ratio C:N es mayor a 15, las concentraciones de NAT son bajas); el segundo proceso microbiano es la nitrificación (conversión de amoníaco tóxico a nitrito y a nitrato) (Avnimelech 2011a). El principio fundamental del SBF es reciclar nutrientes, manteniendo un alto contenido de carbono /nitrógeno (C/N) en el agua con el fin de estimular el crecimiento de bacterias heterótrofas que convierten el amoníaco en biomasa microbiana. Estas últimas, se encargan de captar los complejos nitrogenados liberados por los peces, los desechos procedentes de las dietas y utilizarlos en su crecimiento, lo que resulta en la absorción de nitrógeno del agua, eliminación de la toxicidad por amonio y nitritos y bajo ciertas condiciones, su transformación a bioflocs, los cuales pueden ser un suplemento alimenticio (Avnimelech 1999; 2011; De Schryver *et al.* 2008; Ebeling *et al.* 2006; Samocha *et al.* 2007; Tidwell 2012b). Siempre que haya suficiente mezcla y aireación para mantener un floc activo en suspensión, se puede controlar la calidad del agua. Por ello, la gestión del sistema biofloc demanda cierto grado de sofisticación técnica para que el sistema sea totalmente funcional y más productivo (Hargreaves 2013). Incluso, si el SBF es técnicamente simple, existe una serie de factores a considerar. No es un componente técnico ordinario adaptado a un número dado de peces. Es un ecosistema “artificialmente” creado que debe establecerse y controlarse para asegurarse de que se desarrolla de forma correcta, de lo contrario las consecuencias pueden ser catastróficas (Leckang 2013).

2.3. ALIMENTO EN ACUICULTURA

Hoy en día, en muchas operaciones acuícolas, la alimentación es la variable que representa más de la mitad de los costos operativos, alcanzando entre 40 y 60 por ciento en sistemas semi-intensivos e intensivos (National Research Council 1993; Shipton y Hasan 2013). El aumento de peso de los organismos cultivados en menor tiempo y en condiciones

económicamente ventajosas son objetivos de la producción acuícola. Cubrir las necesidades nutricionales con dietas conteniendo todos los requerimientos y proporciones de la misma contribuye a dichos objetivos; además sería incompleto considerar solo la cantidad y calidad de dicha dieta sin mencionar la importancia de la eficiencia con la cual debe ser suministrada (Vásquez 2004). Existen reportes de pérdidas de alimento del 5, 10, 20 por ciento en el cultivo de truchas, cultivo de salmón en jaulas marinas y cultivo de langostinos en estanques respectivamente, que podrían depender entre otros factores de, la hidroestabilidad, el método de distribución, tiempo de alimentación y el comportamiento alimentario del stock (Pillay 2004).

El suministro del alimento balanceado intenta resolver preguntas sobre cuándo y cómo alimentar, así como cuánto y que tipo de alimento suministrar. El período de alimentación contempla el ritmo de alimentación (temporal y estacional) y la sincronía que pueda generarse a partir del mismo, mientras la forma de entrega del alimento estará asociado al tipo de sistema a emplear para la entrega (boleo, dispensador por demanda, dispensador estacionario automatizado, etc.), las estrategias de alimentación, el efecto del sistema de alimentación sobre el crecimiento y eficacia alimentaria, el tipo de instalación o sistema de cultivo así como el registro del alimento no consumido (Madrid *et al.* 2009).

La cantidad de alimento, basada en la entrega de un número de raciones, tiempo de alimentación y dispersión del alimento (con el uso de frecuencias horarias y frecuencias horarias porcentuales), es una tasa de alimentación expresado como porcentaje de la biomasa que debe suministrarse dependiendo tanto de los requerimientos energéticos y nutritivos de los animales, así como de la energía y composición de la dieta. Finalmente, el tipo de alimento a entregar corresponde al diseño y la optimización de la dieta estudiando respuestas referidas al comportamiento alimentario (preferencias) y la selección dietaria (selección de macronutrientes) (Alanärä *et al.* 2001; Madrid *et al.* 2009; Vásquez 2004).

Las plantas acuáticas y los organismos filtradores (predominantemente especies de moluscos y carpas) constituyen cerca de la mitad de la producción total de la acuicultura y de este modo la alimentación de ellos es un problema menor. Sin embargo, el otro 50 por ciento de la producción proviene de animales que consumen alimentos acuícolas industrialmente compuestos o se alimentan directamente de pescado de bajo valor (Glencross 2007). Los peces en cultivo requieren de proteína, lípidos, energía, vitaminas y minerales en las dietas

para crecimiento, reproducción y otras funciones fisiológicas normales. Estos requerimientos varían entre especies y dentro de las mismas acorde al estadio de vida, sexo, estado reproductivo y ambiente (Akiyama 1999). Los ingredientes empleados en la formulación, que es un ejercicio en compromiso entre lo ideal y lo práctico (Hardy y Barrows 2002), constituyen las fuentes nutritivas (Ej. Proteínas, aminoácidos, etc.), fuentes energéticas (Ej. Carbohidratos, grasas, aceites, etc.), suplementos nutritivos (Ej. Premezclas vitamínicas, minerales, etc.) y aditivos (Ej. Carotenoides, hormonas, antioxidantes, fibra, agua, etc.) y deberán estar asociados a otros factores que no están asociados con el crecimiento del pez pero que deben ser considerados en la formulación: la sostenibilidad, seguridad alimentaria, el mercado y consumidor, la calidad óptima del producto final, la economía y la calidad física del pienso (Coolsaet 2009; Hardy y Barrows 2002).

2.3.1. Tecnología del procesamiento de los alimentos en acuicultura

Posterior a la formulación y dependiendo del tipo de alimento a ser fabricado, la tecnología de fabricación aplicada puede diferir en detalles; acorde al ciclo de vida de los peces que serán alimentados (inicio, postlavas, alevinos, juveniles en crecimiento y reproductores) (Vásquez 2004). Estos procesos deben otorgar hidroestabilidad, formas particulares para un eficiente consumo y minimizar su efecto en contra de la calidad de agua. El procesamiento, como se observa en la Figura 4, puede incluir en general etapas como: Molienda I, mezcla, molienda II, pre-acondicionamiento a vapor, compresión o expansión o extrusión, secado y refrigeración, tamizado, adición superficial (aceite de pescado, vitaminas, antioxidantes, etc.), ensacado y almacenamiento. Diversas fabricaciones de dietas para peces son procesadas por técnicas de granulación de compresión a vapor, expansión o extrusión; otras formas de fabricación incluyen alimentos húmedos, semihúmedos, microencapsulados y micropulverizados (NRC 1993; Jobling *et al.* 2001).

2.3.2. Características físicas de los alimentos

a. Color

Desde el punto de vista de la manufactura del alimento, el color es un indicativo de la composición de ingredientes y la calidad del proceso. Normalmente la coloración debe ser

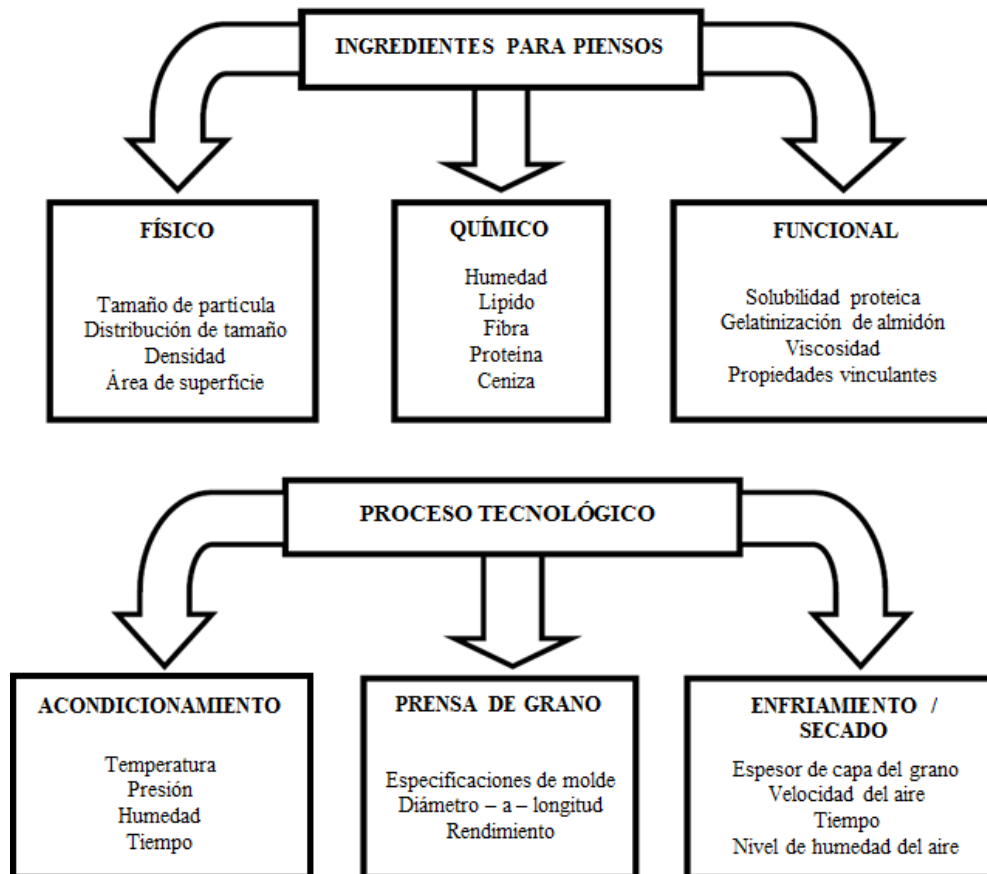


Figura 4: Propiedades de los ingredientes para piensos y condiciones de procesamiento que pueden influenciar en las características de la presentación final del alimento balanceado.

FUENTE: Jobling *et al.* (2001).

uniforme; las variaciones en color indican una molienda y un mezclado inadecuado de los ingredientes, variación en el cocimiento del alimento en la peletizadora, una mala distribución del agua al momento de peletizar o del aceite en el alimento terminado (Cruz-Suarez *et al.* 2006). Por otro lado, se espera que las preferencias de color de la alimentación varíen según el entorno ambiental (Ej. Color del tanque e intensidad de la luz) (Jobling *et al.* 2001), aunque estos podrían no ser importante en términos de atractabilidad o consumo eventual (Gurdian y Valverde 2010).

b. Tamaño

Al referirnos al tamaño, podemos contemplar el mismo desde dos ópticas, una referida al tamaño de las partículas que componen el grano final y que están referidos al grado de la molienda. Este grado de molienda de los ingredientes afecta: 1) la uniformidad del mezclado,

2) la capacidad de compactación en la peletización (hidroestabilidad del alimento), 3) la eficiencia del pre-acondicionamiento (grado de gelatinización) y 4) los rendimientos (digestibilidad, tasa de conversión, tasa de crecimiento) (Cruz-Suarez *et al.* 2006), un tamaño de partículas desigual en el alimento, es también un indicador de una mala molienda (Cruz-Suárez 1999 citado por Cruz-Suarez *et al.* 2006) además de que se puede lograr un mejor mezclado cuando el rango de diferencia de tamaño de partículas es menor (Bortone 2002). La segunda óptica se refiere al tamaño final del grano, el cual puede afectar también su consumo, este puede ser óptimo para un rango de especies de peces entre el 25 y 50% del tamaño del ancho de la boca (Jobling *et al.* 2001).

c. Flotabilidad

La flotabilidad se define como la capacidad de un cuerpo (pellet) para sostenerse en la superficie del agua debido a que la densidad del pellet es menor que la del agua (Cruz-Suarez *et al.* 2006). La flotabilidad por el efecto de expansión, es una característica física determinante para que el pez tenga más tiempo para consumir la dieta extruída y evitar pérdidas (Pokniak *et al.* 1999 citados por Berman 2007). El índice de flotabilidad es una variable de respuesta de mayor importancia en la alimentación acuícola, especialmente para las especies que se alimentan en la superficie como la tilapia (Ah-Hen *et al.* 2014 citado por Rosero *et al.* 2016). La mayoría de los alimentos se compran como gránulos extruídos, principalmente por su flotabilidad, aunque este no sea necesariamente la mejor opción y dependa de la instalación en donde será utilizado; ya que probablemente es más importante la calidad general del alimento y especialmente el porcentaje de finos que la decisión de si los gránulos se hundan o flotan (Timmons *et al.* 2002).

d. Velocidad de hundimiento (VH)

La VH, en función de la especie a la que se suministre, es una característica importante en alimentos acuícolas, ya que esta podría afectar el rendimiento productivo de los animales (Rodríguez *et al.* 2014). La VH está relacionada a la absorción de agua cuando el alimento flota sobre la superficie del agua (Chevanan *et al.* 2009). Para el caso de dietas extruídas, la VH determina su estabilidad en el agua (Umar *et al.* 2013). Una VH permite una mejor visualización de la dieta, evita excesos de entrega que significa mejor eficiencia alimenticia y mantenimiento de la calidad de agua (Castro *et al.* 1991 citado por Rodríguez *et al.* 2014).

e. Hidroestabilidad

Es una medida cuantitativa de la conservación de la integridad física y química (nutrientes) del alimento en el agua (Cruz-Suarez *et al.* 2006). Corresponde a la suficiente estabilidad que tiene un pellet una vez que se sumerge en el agua, a su capacidad de mantenerse íntegro y guardar su valor nutricional (Moreira y Cordoves 2003). Se expresa en términos de porcentaje de retención o de pérdida de materia seca o de nutrientes (Cruz-Suarez *et al.* 2006).

2.3.3. Alimento peletizado

Los granos comprimidos (*compressed pellet*) o gránulos producidos por vapor; se distinguen por la alta densidad de los mismos, alta producción de finos y polvo en el alimento terminado, menor energía eléctrica durante su fabricación y menor desnaturalización de nutrientes, la cantidad de lípidos incluidos en la mezcla no excede usualmente el 10 por ciento pudiendo elevarse los niveles y posterior a la granulación (16 a 20 por ciento) a través de un rociado superficial. Estos son sometidos normalmente a temperaturas que oscilan entre los 70 a 85°C con una humedad promedio del 9 a 20 por ciento y pueden mejorar sus características haciendo un re-peletizado del mismo (Houlihan *et al.* 2001).

2.3.4. Alimento extruído

Los granos expandidos (*expanded pellet*), a diferencia del comprimido, son procesados sobre condiciones altas de presurizado (20 – 30 bar/cm²; 120°C) y tienen un grado de gelatinización de almidón, superior al 60 por ciento. La expansión angular mejora la dureza y durabilidad del producto final y puede alcanzar niveles de hasta 20 a 22 por ciento de lípidos. Mientras que el grano extruído (*extruded pellet*) presenta una técnica de extrusión a mayor temperatura (80 – 200°C, 20 – 30 por ciento de humedad) y fue introducida para incrementar la digestibilidad de la energía por incremento de la incorporación de lípidos. Además, sustenta sus ventajas por la técnica de expansión, disminución de finos, mayor estabilidad en el agua, y lo más importante la completa gelatinización del almidón que se traduce en un pellet compacto, hidro-estable y de fácil asimilación para los peces; aunque puede también reducir la disponibilidad de algunos nutrientes como la lisina y algunas vitaminas sensibles a altas temperaturas (Timmons *et al.* 2002; Houlihan *et al.* 2001). La

expansión se produce a la salida del dado o cuando la masa amorfa es expuesta a la presión atmosférica. Este cambio súbito de alta presión, dentro del extrusor, a baja presión es lo que produce la expansión, que es básicamente la evaporación a altas velocidades del agua (Bortone, 2002).

En la Tabla 1, se observan las diversas características, ventajas y desventajas que algunos autores consideran para los distintos tipos de alimento referidos a su procesamiento.

2.4. CULTIVO DE TILAPIA EN SISTEMA BIOFLOC

La intensificación en acuicultura demanda el uso razonable de recursos (agua y tierras), reducción del impacto ambiental y proveer un equitativo ratio costo/beneficio en pro de la sostenibilidad económica y social y puede ser provisto a través del uso del sistema biofloc (Crab *et al.* 2012). El enfoque sostenible del sistema biofloc (SBF) se basa en el crecimiento de microorganismos en el medio de cultivo, beneficiados por el mínimo o cero recambio de agua. Estos microorganismos (biofloc) cuyo crecimiento es estimulado por la adición de carbohidratos, dan el mantenimiento de la calidad del agua, a través de la absorción de compuestos de nitrógeno y generando "*in situ*" proteína microbiana; y contribuyen en la nutrición, incrementando la viabilidad de cultivo mediante la reducción de la conversión alimenticia y la disminución de los costos de alimentación (Avnimelech, 1999; Emerenciano *et al.* 2012). La tecnología Biofloc (BFT) en acuicultura ha recibido considerable atención por altos rendimientos productivos, reciclado de proteína del alimento, control de la calidad de agua, mejoras en la utilización de los piensos, mejoras en el performance del crecimiento y de la infección bacteriana (Avnimelech 2006; Crab *et al.* 2007; Little *et al.* 2008 citados por Luo *et al.* 2014; Long *et al.* 2015). Esta tecnología sirve como una alternativa para centros de producción intensiva de tilapia por la reducción del impacto ambiental, el consumo de la productividad primaria natural en lugar de alimentos comerciales, y el menor uso de agua (Perez-Fuentes *et al.* 2016). Este reciclado del alimento y la minimización del intercambio de agua son contribuciones importantes para la economía de la producción de tilapias (Avnimelech 2011a).

Tabla 1: Comparativa de las características físicas de las dietas empleadas en acuicultura con diferentes técnicas de procesamiento.

Parámetros	Dietas peletizadas	Dietas extruídas	Dietas expandidas	Referencia
Densidad	Mayor que la del agua	Menor que la del agua		Vásquez, 2004
	590 g/L	400 - 550 g/L		Hardy y Barrows, 2002
		267,1 a 711,3 kg.m ⁻³		Khater <i>et al.</i> , 2014
Flotación	Ninguna	Flota durante horas		Vásquez, 2004
Estabilidad en el agua	< 10 minutos	> 30 minutos		Vásquez, 2004
	Baja	Alta		Hardy y Barrows, 2002
		54,1 a 91,7 %		Khater <i>et al.</i> , 2014
Desintegración de gránulos por transporte	Variable	Ninguna		Vásquez, 2004
Tiempo de almacenamiento	30 días máximo	Más de 45 días		Vásquez, 2004
Manejo de alimentación	Normal	Facilitada (dispensadores)		Vásquez, 2004
Control del consumo	Difícil	Por simple observación		Vásquez, 2004
Forma de suministrar el alimento	Uso tablas de alimentación	Efectiva a saciedad		Vásquez, 2004
Impacto sobre la calidad de agua	Alto	Muy bajo		Vásquez, 2004
Eficiencia del alimento	Normal	Mayor aprovechamiento		Vásquez, 2004
Pérdidas por no consumo	Altas	Muy baja o nula		Vásquez, 2004
Pérdidas de nutrientes por lixiviación	Altas	Muy baja o nula		Vásquez, 2004

Continuación.

Parámetros	Dietas peletizadas	Dietas extruídas, extruidizadas	Dietas expandidas	Referencia
Precio por kg	Normal	Más costoso		Vásquez, 2004
	Bajo	Alto		Hardy y Barrows, 2002
Gelatinización de almidón (%)	< 40	> 80	60 - 80	Timmons <i>et al.</i> , 2009
	< 40	> 80		Hardy y Barrows, 2002
Temp. Máx. (°C)	82	149	149	Timmons <i>et al.</i> , 2009
	95		150	Hardy y Barrows, 2002
Nivel máximo de grasa (%)	20	40	30	Timmons <i>et al.</i> , 2009
	18	38		Hardy y Barrows, 2002
Digestibilidad	Buena	La mejor	Mejor	Timmons <i>et al.</i> , 2009
Disponibilidad a que se hunda	Si	Si	Si	Timmons <i>et al.</i> , 2009
Disponibilidad a que flote	No	Si	Posiblemente	Timmons <i>et al.</i> , 2009
Disponibilidad al hundimiento lento	No	Si	Posiblemente	Timmons <i>et al.</i> , 2009
Finos a la recepción (%)	1 a 6	< 1	< 1	Timmons <i>et al.</i> , 2009
	2 a 3	< 1		Hardy y Barrows, 2002
Degradación de Vitaminas y nutrientes	La más baja	La más alta	intermedia	Timmons <i>et al.</i> , 2009
	Baja	Media		Hardy y Barrows, 2002
Conversión del alimento	la peor	la mejor	intermedia	Timmons <i>et al.</i> , 2009
Uniformidad del alimento	variable	excelente	buenas	Timmons <i>et al.</i> , 2009
Disponibilidad	en la mayoría de molinos	en algunos molinos	en pocos molinos	Timmons <i>et al.</i> , 2009

La tilapia es una especie en acuicultura que se está produciendo intensivamente alrededor del mundo (Ekasari *et al.* 2015). Una característica intrínseca de los sistemas intensivos es el incremento del nitrógeno inorgánico en el agua. Este nitrógeno es disuelto en el agua como nitrógeno amoniacal total (NAT). El NAT liberado a diario, si no es tratado y se deja en el agua, puede ser suficientemente alto como para llevar a la mortalidad al pez (Browdy *et al.* 2012). El SBF es idealmente adecuado para tratar el amoniaco, puede tomar rápidamente el NAT excretado y prevenir que la concentración de este alcance niveles peligrosos a través de la abundante comunidad microbiana (Avnimelech 2011). El alimento artificial, la aireación adicional del agua y la alta densidad de peces resultan en altas concentraciones de nitrógeno inorgánico como amoniaco (NH_3) el cual es transformado a nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) en el estanque por bacterias nitrificantes (Leckang, 2013). En altas tasas de alimentación que acompañan altas densidades de carga, la asimilación heterotrófica y los procesos de nitrificación quimioautotróficos se verán favorecidos. Los organismos heterotróficos llegan a predominar cuando la adición diaria de alimento incrementa, estableciendo los mismos como componentes del cultivo, a través del denso desarrollo y control, el manejo de la calidad del agua. Esta transición es muy rápida en el cultivo en estanques de tilapia con alta biomasa y alimentación (Avnimelech 2007; Browdy *et al.* 2012).

2.4.1. Principales parámetros de calidad de agua

La disponibilidad de una buena calidad de agua es uno de los factores más importantes para el éxito en acuicultura. Un número de parámetros de la misma, incluyendo los factores físicos, químicos y biológicos, afectan la supervivencia, crecimiento y reproducción de organismos acuáticos (Yusoff *et al.* 2011). Además, la calidad de agua es el primer atributo para clasificar los peces como materia prima, si esta es de pobre condición recae en un problema para la producción, puede generar problemas zootécnicos y de salud pública, puede interferir con características sensoriales del pez, favoreciendo la aparición de indeseables olores o sabores que afectan la apariencia final del pez y por ende su comercialización (Da Silva *et al.* 2014). En la Tabla 2 se describen algunos parámetros de calidad de agua descrito por varios autores para el cultivo de tilapias.

Tabla 2: Parámetros de calidad de agua para el cultivo de tilapia gris

Parámetro	Unidad	Valor y/o rango	Fuente
Temperatura	°C	27 a 32	Justi <i>et al.</i> (2005)
		27 a 29	De Long <i>et al.</i> (2009)
		29 a 31	Shelton <i>et al.</i> (2006) citado por Da Silva <i>et al.</i> (2014); National Council of Agricultural (2001)
		28 a 32	Bhujel (2014)
Oxígeno disuelto	mg L ⁻¹	5 a 7,5	De Long <i>et al.</i> (2009)
		> 5	Stickney (2017)
pH		6 a 8,5	Shelton <i>et al.</i> (2006) citado por Da Silva <i>et al.</i> (2014)
		6 a 9	Popma y Masser (1999)
		6,5 a 8	National Council of Agricultural (2001)
Alcalinidad	mg CaCO ₃ L ⁻¹	150	National Council of Agricultural (2001)
		200 a 300	Toledo <i>et al.</i> (2001) y Buttner <i>et al.</i> (1993) citados por Da Silva <i>et al.</i> (2014)
Turbidez	ppm	< 50	National Council of Agricultural (2001)
Salinidad	ppt	0 a 36	National Council of Agricultural (2001)
		5 a 10	Payne y Collison (1983) citados por El-Sayed (2006)
		15	Alfredo y Hector (2002) citados por El-Sayed (2006)
		30	Beamish (1970) citado por Stickney (2017)
NAT	mg L ⁻¹	0,004 a 0,05	El-Sherif y El-Feky, 2009
		< 0,1	El-Sayed (2006)
Nitritos	mg L-1	< 0,5	National Council of Agricultural (2001),
		< 27	Popma y Masser (1999)
Nitratos	mg L-1	< 50	National Council of Agricultural (2001),
Fosfatos	mg L-1	0,06	Stone <i>et al.</i> (2013)
		0,6 a 1,5	Alicorp-Perú (2012)

a. Nitrógeno amoniacal total (NAT)

El nitrógeno amoniacal total (NAT) existe en dos formas: el amoniaco (NH_3) no ionizado (tóxico) y el ion amonio (NH_4) (no tóxico), la suma de las dos formas se denomina nitrógeno amoniacal total. Por cuestiones de cálculo es común expresarlo químicamente en términos del nitrógeno que contienen: Nitrógeno amoniacal ionizado ($\text{NH}_4\text{-N}$), Nitrógeno amoniacal no ionizado ($\text{NH}_3\text{-N}$), Nitrógeno de nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) y Nitrógeno de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$). La concentración relativa de las formas de nitrógeno amoniacal es principalmente función del pH, de la salinidad y la temperatura (Timmons *et al.* 2009). La toxicidad del amoniaco depende del oxígeno disuelto, CO_2 y el pH. Niveles cercanos a $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ son considerados seguros en el cultivo de peces tropicales (Kubitza 2009; Boyd 1997). Niveles mayores a 2 mg.L^{-1} de NAT, en tilapia del Nilo, deben evitarse pues generan daño tisular que puede generar e incrementar susceptibilidad a enfermedades (Benli *et al.* 2008). Especialmente para tilapia, la concentración letal de amoniaco (LD_{50}) es $2,3$ a $2,6 \text{ mg L}^{-1}$ (Boyd 1990).

El mayor objetivo del manejo de la calidad de agua en cualquier sistema de producción de animales acuáticos es el mantenimiento de la concentración del amoniaco por debajo de los niveles tóxicos (Hargreaves 2013). En sistemas sin reemplazo de agua, el amoniaco resulta un obstáculo potencial en el mantenimiento de una densa biomasa de peces (Crab *et al.* 2009). Concentraciones de NAT por debajo de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ significan que el SBF está funcionando adecuadamente (Avnimelech 2011).

La idea detrás del SBF es asegurar que el ratio C/N en el estanque este por encima de 10, lo cual puede estimular el crecimiento de microorganismos heterotróficos. Por cada kilogramo de nitrógeno removido, 20 kilogramos de carbohidratos son empleados (Lekang 2013), aunque los requerimientos de carbohidratos, como fuentes de carbono, para minimizar el NAT necesitan de mayor investigación (Azim y Little 2008). Perez-Fuentes *et al.* (2016) recomiendan ratios de carbono/nitrógeno (C/N) entre 10 y 15 conteniendo un alto contenido de oxígeno disuelto para promover eficiente crecimiento, conversión alimenticia y calidad de agua en el cultivo intensivo de tilapia en SBF.

b. Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad de neutralización del pH o la capacidad del agua de neutralizar ácido (Timmons *et al.* 2009). Valores bajo los $20 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$

corresponden a aguas con baja capacidad amortiguadora, que pueden tener significantes fluctuaciones en el pH (Toledo *et al.* 2001; Buttner *et al.* 1993 citado por Da Silva *et al.* 2014). Para tilapias se han recomendado valores sobre los 150 mg.L⁻¹ (NCA 2001).

Como el NAT es removido del sistema para proveer energía a las bacterias, los iones de oxígeno y bicarbonato son consumidos. La nitrificación consume más alcalinidad que el metabolismo heterotrófico, lo cual requiere de iones bicarbonato para ser adicionados al sistema, usualmente en forma de NaHCO₃, en orden para mantener el pH y tolerar continuamente el funcionamiento de ambos mecanismos (Browdy *et al.* 2012). La alcalinidad debe mantenerse entre 100 y 150 mg.L⁻¹ como CaCO₃ a través de adiciones regulares de bicarbonato de sodio. En SBF intensivos, dominados por la nitrificación, cada kilogramo de alimento agregado al sistema debe ser suplementado con 0,25 kilogramos de bicarbonato de sodio (Hargreaves 2013).

c. Nitrito

El Biofloc puede promover estabilidad en el cultivo de peces aun cuando el pH y los nitritos estén sobre los niveles recomendados (Pérez-Fuentes *et al.* 2016). Los nitritos pueden afectar negativamente a las tilapias, el mismo puede indicar el incremento de zonas anaeróbicas (Avnimelech 2011). La adición de sal (1% w.w⁻¹) en los tanques con sistema BFT puede compensar el estrés causado por los nitritos a las tilapias (Luo *et al.* 2014). En el caso de un incremento de nitrito, se deben verificar cuidadosamente cúmulos de lodo y, si se encuentran, reposicionar los aireadores (Avnimelech 2011).

d. Volumen de floc (VF)

Avnimelech (2012) señala que el VF (o sólidos sedimentables) típico en estanque de peces alcanza los 100 mL.L⁻¹. Leckang (2013) señala que sobre los 30 mL.L⁻¹ el estanque puede necesitar ser drenado, y si este fuese bajo, más carbono orgánico puede ser añadido. Para el caso de tilapias Avnimelech (2011) señala que el VF debe mantenerse en un rango de 5 a 50 mL.L⁻¹. Es aconsejable correlacionar los sólidos suspendidos totales (SST) con el VF, lo cual puede habilitar, para cada granja una estimación de los SST a través de una determinación sencilla del VF (Avnimelech 2012). Aunque, las partículas del biofloc son beneficiosas para los peces en sistemas intensivos, y debido al suministro intensivo de alimento balanceado,

pueden alcanzar niveles alrededor de los 1000 mg.SST L⁻¹ (Browdy *et al.* 2012). En peces en estanques los SST podrían estar limitados a 400 mg SST.L⁻¹ (Avnimelech 2012) pero se han asociado mejores crecimientos en SBF para algunos peces en concentraciones de 200 mg SST.L⁻¹ (Poli *et al.* 2015). El aumento de la turbidez del sistema, que puede generar interferencias con la penetración de la luz, puede reducir la visibilidad y como consecuencia el consumo del alimento artificial (Avnimelech 2011; Azim y Little 2008; Hargreaves 2006). Widanarni *et al.* (2012) señalan que en el sistema BFT el consumo de alimento puede verse reducido por la alta concentración de sólidos suspendidos, que reduciría la visualización del mismo, y por el continuo consumo de Biofloc que reduce la respuesta a la alimentación.

2.4.2. Alimentación de tilapia en SBF

Hacia el 2010, la producción mundial de tilapia fue en base al aprovisionamiento de alimentos comerciales (85 por ciento) y se estima que para el 2020 incremente a un 95 por ciento (FAO 2011 citado por Ng y Romano, 2013). La industria del cultivo de la tilapia ha crecido y con ello los métodos para una mayor producción con alimentos completos para reemplazar el uso de fertilizantes y alimentos naturales. Probablemente casi un 50 por ciento de tilapias en el mercado provenga de la acuicultura intensiva y el uso de alimentos complementarios o completos, lo que pudiese otorgar una desventaja en el proceso de intensificación; es decir, dejar de emplear fuentes de nutrientes bastante baratas y ampliamente disponibles (Diana 2012). Para la formulación de dietas, las tilapias han sido cultivadas exitosamente con dietas preparadas para otras especies como las carpas y el bagre (*catfish*). Estas requieren proteínas/aminoácidos, ácidos grasos esenciales, carbohidratos, vitaminas y minerales (Swick 2001). Las formulaciones prácticas comúnmente consisten de solo tres o cuatro ingredientes, mayormente de origen vegetal (Shiau 2002). La Tabla 3 describe algunos de los requerimientos nutricionales de la tilapia para su cultivo.

La captación e ingestión de la dieta en peces, puede estar regulada por características físicas, propias de las condiciones de transformación, como la densidad de pellets (velocidad de hundimiento), tamaño (forma, diámetro y longitud), color (contraste) y textura (dureza) (Tucker 1998). En cultivo, las tilapias son conocidas por ser tolerantes a diversas formas de dietas. Esta aceptación es afectada por el tamaño de los peces, densidad de carga, sistema de cultivo y disponibilidad de alimento natural (El-Sayed 2006). En forma de harina y granos húmedos, de hundimiento y flotantes, las dietas de alta calidad son procesadas en granos

(*pellets*) y/o extruídos para minimizar la separación de ingredientes, alimentación selectiva sobre un simple ingrediente, pérdida de nutrientes hidrosolubles y residuos (Shiau 2002;

Tabla 3: Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia gris

Requerimiento	Inclusión	Fuente	Observaciones
Proteína (%)	24 - 28	Shiau (2002)	
	40	Swick (2001)	
	40 - 45	Suresh y Bhujel (2012)	Para estadio larval
	25 - 30		Para engorde
	25 - 35		Para reproductores
Energía	8,2 – 9,4	Bhujel (2014)	Kcal de ED* / g de proteína
	110 – 120	Suresh y Bhujel (2012)	Para estadios iniciales en mg proteína / kcal de energía
	100		Para engorde en mg proteína / Kcal de energía
Lípidos (%)	10 – 15; 5 a 12	El-Sayed (2006)	Rango general; rango ideal
	6 – 8	Suresh y Bhujel (2012)	
Fibra (%)	< 5		

(*) ED: *Energía digerible*.

Suresh y Bhujel 2012). Entre las propiedades físicas de las dietas peletizadas para tilapias, el tamaño y la hidroestabilidad son especialmente importantes (NRC 1993). Para la alimentación de tilapias hasta un tamaño comercial, el tamaño de *pellet* más común es de aproximadamente 3 a 4 mm de diámetro y de 6 a 10 mm de longitud (NRC 1993). La hidroestabilidad es un importante parámetro de calidad en las dietas y resume la habilidad del mismo para mantener su integridad física y química con mínima pérdida de nutrientes por lixiviación en el agua hasta que sea consumido (Cruz-Suarez *et al.* 2006; Obaldo *et al.* 2002; Halver and Hardy 2002 citado por Obirikorang *et al.* 2015). El alimento para que sea ingerido en su totalidad y para obviar las pérdidas por lixiviación de los nutrientes, debe permanecer el menor tiempo posible expuesto al agua; es durante este tiempo que el alimento debe ser bien estable; ésta es la verdadera estabilidad que determina la eficiencia de un alimento (FAO 1994). Las raciones extruidizadas deben mantener su integridad y flotabilidad por varias horas, mientras que las peletizadas deben mantener una estabilidad en el agua de por lo menos veinte minutos después de entrar en contacto con ella (Vásquez 2004; INPA 2001). En general una hidroestabilidad superior a las tres horas es considerada satisfactoria (FAO 1995).

La tilapia puede consumir eficientemente pellets flotantes y de hundimiento (El-Sayed 2006). Se pueden obtener buenos resultados con pellets de hundimiento, pero demanda un cuidado extra para que no terminen siendo desperdiciados. La desintegración rápida de estos en el agua crea la tendencia de ser barridos hacia los lados de la infraestructura de cultivo (McGuinty y Rackocy 1999). El uso de dietas extruídas sustenta ventajas en aspectos como la flotabilidad, verificación de consumo, inocuidad y digestibilidad (aumenta la cantidad de energía disponible); siendo este último aún controversial en la tilapia nilótica. Al parecer existen interacciones entre la fuente de energía y el procesamiento para el mejor aprovechamiento en diferentes estadios de la tilapia; siendo ésta muy superior en fase inicial de crecimiento y con el uso de dieta peletizada (Aguilar *et al.* 2010; Riche y Garling 2003). Dependiendo del clima, se puede alimentar más de dos veces al día, o restringir la alimentación una vez al día (Liu *et al.* 2013). La tilapia responde a más frecuencias de alimentación que los salmónidos y el bagre de canal (*catfish*) por el comportamiento continuo de alimentación y la capacidad estomacal pequeña (NRC 1993). Es importante señalar que la frecuencia de alimentación tiene un impacto significativo en el crecimiento de la tilapia (Liu *et al.* 2013). Los niveles y frecuencia de alimentación de la tilapia disminuyen con el incremento del tamaño. Las tasas de alimentación para tilapias están afectadas por las especies, tamaño, nivel de energía en la dieta, calidad de agua, frecuencia de alimentación, y la disponibilidad de alimento natural (Lovell 2002). Durante estadios larvales, requieren cerca del 20 a 30 por ciento de su peso corporal dividido en 6 a 8 raciones, los alevinos requieren de 3 a 4 por ciento de su peso corporal suministrados en 3 a 4 raciones (El-Sayed 2006), en reproductores resultan mejor dos raciones por día con bajas tasa de alimentación (0,5 a 1,0 por ciento de la biomasa) (Bhujel 2000). El intervalo de la alimentación depende del retorno del apetito y debiendo considerarse que el alimento consumido por la tilapia puede moverse directamente hacia el intestino si el estómago esta aún lleno (Riche y Garling 2003). Los métodos de alimentación (manual, por sopladores, alimentadores automáticos y por demanda) pueden afectar el rendimiento de la tilapia (El-Sayed 2006). El suministro manual del alimento se recomienda en producciones de tilapia de pequeña escala, los sopladores en estanques con grandes superficies (Shiau 2002; El-Sayed 2006). Los alimentadores automáticos y por demanda proveen mejor crecimiento y conversión alimenticia en cultivo de tilapias en jaulas, aunque también son empleado en estanques (Shiau 2002; Suresh y Bhujel 2008).

En el sistema biofloc, el alimento balanceado es la parte más significativa de los costos variables de operación (Hanson *et al.* 2009), por ello existe la necesidad de mayor investigación sobre optimización de los componentes y racionamiento de la dieta (Avnimelech 2011b). El uso de bioflocs como un alimento producido in situ puede ser aprovechado por especies en cultivo, pero su consumo depende de la especie, hábitos alimenticios, tamaño de la especie, tamaño y densidad del floc (Avnimelech 2009; Crab 2010; Crab *et al.* 2009; 2010a citado por Crab *et al.* 2012). La tilapia es una especie ideal para poder adaptarse al SBF, siendo detritívora y filtradora para su alimentación, tiene adaptaciones fisiológicas que le permiten tolerar alta concentración de sólidos, consumir biofloc y digerir proteína microbiana (Avnimelech 2011a; Azim y Little 2008; Hargreaves 2006). Esta abundante población microbiana proporciona nutrición para la tilapia y mejoran la eficiencia de conversión (Rakocy *et al.* 2000). Los flóculos microbianos en estanques de mínimo recambio de agua, son una fuente potencial de alimento para la tilapia, y posiblemente también para otros peces, llegando a contribuir aproximadamente con el 50 por ciento de la proteína que necesita la tilapia (Avnimelech 2007). En la Tabla 4, se describen los reportes de inclusión de macronutrientes determinados en el biofloc procedentes de distintos cultivos. En tilapias cultivadas en SBF, se han reportado mejoras en la utilización de las dietas (Long *et al.* 2015). Puede estimarse que la ración del alimento se reduce al menos en un 20 por ciento en comparación a sistemas convencionales (Avnimelech 2011).

Tabla 4: Macronutrientes en biofloc reportados en cultivos de diferentes especies.

Nutriente	Contenido (%)	Cultivo	Fuente
Proteína	30	Tilapia*	Luo <i>et al.</i> (2014)
	30,4	<i>Shrimp</i> **	Khatoon <i>et al.</i> (2016)
	34	<i>Catfish</i> ***	Ekasari <i>et al.</i> (2016)
	41,1	Tilapia	Long <i>et al.</i> 2015
	41,2	-	Wei <i>et al.</i> (2016)
Lípido	1,27	Tilapia	Luo <i>et al.</i> (2014)
	4,83	<i>Catfish</i>	Ekasari <i>et al.</i> (2016)
	4,2	<i>Shrimp</i>	Khatoon <i>et al.</i> (2016)
	1,03	Tilapia	Long <i>et al.</i> (2015)
	6,1	-	Wei <i>et al.</i> (2016)
Carbohidrato	18,5	<i>Shrimp</i>	Khatoon <i>et al.</i> (2016)
	37,7	-	Wei <i>et al.</i> (2016)
Fibra	8,22	<i>Catfish</i>	Ekasari <i>et al.</i> (2016)

Porcentaje de Peso seco: Proteína cruda, lípido crudo, carbohidrato crudo. (*) *Oreochromis niloticus* var. GIFT, (**) *Litopennaeus vanamei*, (***) *Clarias gariepinus*.

Luo *et al.* (2014) consideran que las tilapias en SBF exhiben alta actividad de proteasa y amilasa, que podría facilitar la digestibilidad, absorción del alimento y así complementar la nutrición. Esta mejora en la asimilación de nitrógeno de desecho por el biofloc microbiano y la reingestión por la especie en cultivo pueden incrementar significativamente la eficiencia de conversión, mejorar la sostenibilidad ambiental e incrementar potencialmente la rentabilidad (Browdy *et al.* 2012).

2.4.3. Costo-efectividad parcial del cultivo de tilapia en SBF

Existen limitaciones para la producción de tilapias, restricciones medulares para una producción eficiente y de alta productividad, algunas de ellas son la falta de aprovisionamiento de semillas, alimento de calidad y el alto costo de insumos (Antwi *et al.* 2016). El SBF puede tener ventajas significativas en términos de retornos económicos comparados a los sistemas convencionales (Browdy *et al.* 2012). Los costos de producción en el SBF respecto a aquellos convencionales (altas tasas de recambio o renovación de agua) son bajos (0,4 USD\$.kg⁻¹), 50 por ciento de esto debido al menor costo del alimento (dieta con 20 por ciento de proteínas) (Farrell 2006). En el SBF, con dietas de inclusiones proteicas del 20 por ciento frente a otras del 30 por ciento, puede disminuirse el precio del alimento de 0,85 a 0,55 USD\$ para la producción de 1 kg de peces (Avnimelech *et al.* 1994). El SBF demanda inclusiones de fuentes de carbono como la melaza, la cual en algunos lugares puede ser limitante por su costo (Vilani *et al.* 2016). Además de la fuente de carbono, la aireación es otro costo importante en la ejecución del SBF (Luo *et al.* 2014). Altas concentraciones de partículas de biofloc implican elevadas tasas de respiración de los organismos asociados a ello, por ello, para muchos el biofloc puede incrementar la demanda de oxígeno, incrementando los costos de aireación/oxigenación y eventualmente alcanzando un nivel inseguro que es estresante para el animal en cultivo (Browdy *et al.* 2012). Esta concentración de oxígeno del agua depende de la intensidad de mezcla, que al ser de baja a moderada puede ser cubierta por mecanismos o dispositivos de aireación que consumen energía entre 0,1 a 10 W.m⁻³ hasta los 100 W.m⁻³ en sistemas super intensivos (De Schryver *et al.* 2008).

En el SBF, también se consideran reducciones de los costos del agua por no necesitar de tratamientos para el uso de la misma en los cultivos (De Schryver *et al.* 2008), por la reducción significativa de agua utilizada (Bossier y Ekasari 2017), la mínima renovación de agua y el reuso de agua para muchos ciclos de producción (Browdy *et al.* 2001; Hargreaves,

2013 citados por Malpartida *et al.* 2018). Este reuso de agua en múltiples ciclos de producción con SBF puede considerarse como altamente benéfico (Krummenauer *et al.* 2014). Hargreaves (2006) citado por Bossier y Ekasari (2017) concluye que en los cultivos de langostinos el SBF pueden demandar menos del 0,5 por ciento del total del agua requerido por los sistemas convencionales para la producción de un kilogramo.

En la parte productiva, la tasa de crecimiento y la eficiencia de conversión alimenticia también juegan un rol importante en la variación total de los costos de producción (Browdy *et al.* (2012). La parte sanitaria, específicamente en el control de patógenos, no está exenta del valor agregado que adiciona el uso del SBF, y la importancia de ello se debe a la implicancia de la supervivencia en las mejoras del rendimiento económico y productivo. Las enfermedades son consideradas causas importantes de mortalidad masiva de la industria y pérdidas económicas (Crab *et al.* 2010). Hanson *et al.* (2009) citados por Browdy *et al.* (2012), establecieron que una mejora del 20 por ciento en la supervivencia en cultivo de langostinos incrementa la tasa interna de retorno en 97 por ciento, mientras que Ekasari *et al.* (2015) describen el incremento de la supervivencia de tilapias en SBF, infectadas con bacterias patógenas, hasta en un 25 por ciento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se llevó a cabo en uno de los invernaderos del Centro de Investigaciones Piscícolas (CINPIS) de la Facultad de Pesquería (FAPE) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en un período distribuido en dos etapas: la parte pre-experimental en un período de 60 días y la parte experimental por un período de 57 días (Julio a Setiembre del 2015).

3.1. ETAPA PRE-EXPERIMENTAL

3.1.1. Procesamiento de la dieta

Con la finalidad de mantener similares características nutricionales, la dieta comercial de tipo extruída (DE), con 40 por ciento de inclusión proteica, recomendado para el peso, por la marca NALTECH (Tilapia 40), se sometió a un reprocesamiento para la obtención de la dieta peletizada (DP). Se realizó una molienda empleando una moledora del tipo martillo (marca FERTON®) llevando al grano a un tamaño de partícula entre las 200 y 400 μm . Obtenido el rango de tamaño de partícula deseado, el balanceado pulverizado se mezcló con agua temperada (aproximadamente a 60°C) a razón de 1 L de agua por cada 2,5 kg de pulverizado con ayuda de una mezcladora (marca BRIMALI®) por un lapso de 15 minutos. Luego, se pasó la mezcla a través de una moledora comercial (marca FERTON®) con tamaño de criba de aproximadamente 2,5 mm y se puso a secar (a 60° x 3 h) en una secadora de flujo ascendente para obtener el diámetro de grano deseado. Finalmente se llevó a dimensiones similares (longitud) del producto original a través de una fracturación simple con ayuda de un rodillo convencional de cocina y separando los finos obtenidos con ayuda de una malla de 300 μm .

3.1.2. Análisis nutricional y física de las dietas

En ambas presentaciones de la dieta (Extruída y peletizada) se realizaron evaluaciones de tipo proximal, a fin de contrastar la información de inclusión de los macronutrientes descritos por el fabricante (tipo extruído) y verificar la distribución de los mismos en la dieta peletizada, incluyendo: Contenido de proteína bruta, Lípidos, Carbohidratos, Fibra, Ceniza y humedad. Las evaluaciones físicas tales como: Tamaño de grano (Longitud y diámetro),

unidades por gramo, densidad, velocidad de hundimiento, flotabilidad e hidroestabilidad, se realizaron en el laboratorio de acuicultura (Tabla 5).

Tabla 5: Parámetros de manejo y control del SBF en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica

Variable	Unidades	Fórmula	Descripción para la determinación	Fuente o Cita
Suministro de melaza para BFT	kg.kg ⁻¹	$\Delta CH (g) = [(C/Ns - (C/N)) \times F \times \%P \times \%N \times \%E] / \%C$	C/Ns: Relación Carbono/Nitrógeno del medio de cultivo, C/N: Relación Carbono/Nitrógeno del alimento (considerando el contenido de C en el alimento, ver anexo 5), F: Alimento suministrado diariamente (g), %P: Porcentaje de proteína en el alimento, %N: Porcentaje de Nitrógeno en el alimento, 16 por ciento de la proteína es nitrógeno (Craig y Helfrich, 2002), %E: Porcentaje de nitrógeno en el agua producto de la amonificación del alimento no consumido + excreción del cultivo. Aparentemente el 75 a 80% del N del alimento suministrado es excretado (Hepher, 1988 citado por Avnimelech y Kochba, 2009) y %C: Porcentaje de pureza de la melaza (Anexo 4).	Modificado de Olvera-Olvera <i>et al.</i> (2009)
Sólidos totales en suspensión (SST)	mg.L ⁻¹	$SST = ((P2 - P1) \times 1000) / V$	P1: Peso del filtro preparado (mg.L ⁻¹), P2: Peso del filtro más el residuo seco a 103-105°C (mg.L ⁻¹), P3: Peso del filtro más el residuo calcinado a 550±50°C (mg.L ⁻¹) y V: Volumen de la muestra (L).	APHA (1998)
Volumen del floc (VF)	mg.L ⁻¹		Volumen del floc en 1 L de agua del estanque con SBF después de 15 a 20 minutos de sedimentación en el cono de Imhoff.	Crab <i>et al.</i> (2009)
Alcalinidad (medición)	mgCaCO ₃ .L ⁻¹		Determinación por titulación de una solución de Ácido Sulfúrico e indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol).	Alcalinidad Total (ASTM 2002)
Alcalinidad (corrección)	mgCaCO ₃ .L ⁻¹		Adición de NaHCO ₃ disuelto en agua de grifo y/o del medio de cultivo según método.	Método de Loyless y Malone (1997)

3.2. ETAPA EXPERIMENTAL

3.2.1. Estabulación en unidades experimentales y manejo de juveniles de tilapia gris

Se obtuvieron 408 juveniles masculinizados de tilapia gris *Oreochromis niloticus* del Centro de investigaciones piscícolas (CINPIS) con $25 \pm 1,2$ g y $11 \pm 0,3$ cm de peso y longitud total promedio, respectivamente. En un total de 12 tanques (8 de concreto y 4 de fibra de vidrio) de $0,5 \text{ m}^3$ de volumen total y $0,35 \text{ m}^3$ útil, provistos de aireación constante, los juveniles fueron subdivididos aleatoriamente en 12 lotes de 34 juveniles (densidad de siembra promedio de $2,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), añadiéndose los mismos a los tanques con sistema semi-cerrado y SBF (6 lotes para el SBF y 6 para el sistema semi-cerrado); conformando así las unidades experimentales. Se realizó una biometría de partida de los lotes conformados de la población inicial, estableciendo a través de un histograma de frecuencias los pesos y tallas, así como la correlación entre ambas variables. En la Figura 5, se observa la distribución de tratamientos en las unidades experimentales.

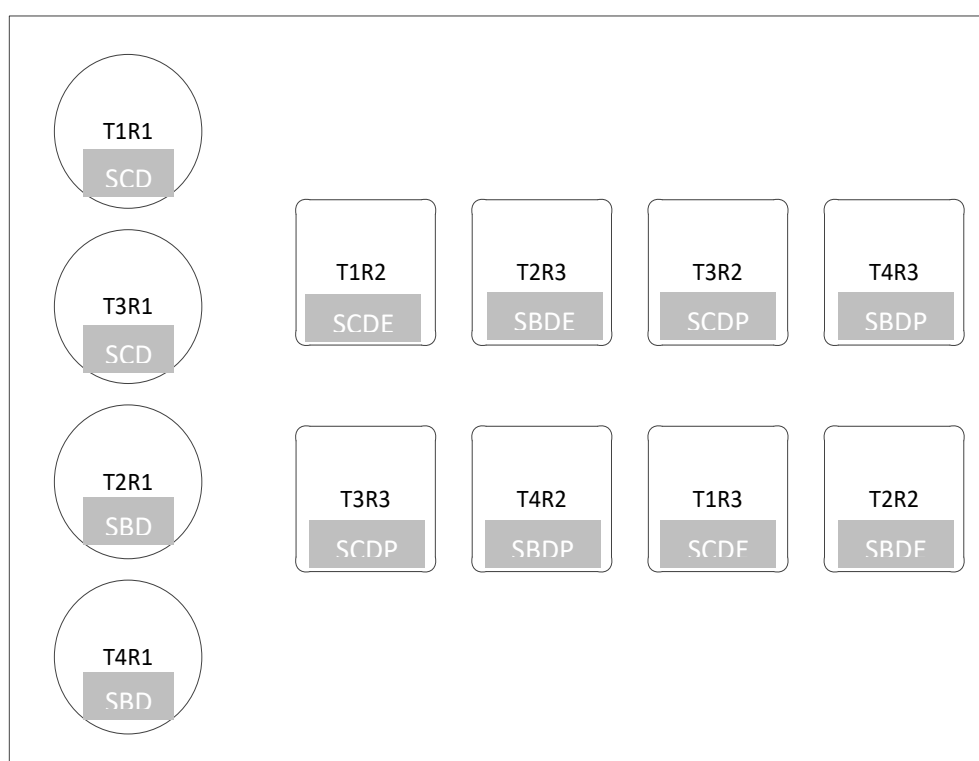


Figura 5: Distribución aleatoria de tratamientos y réplicas en las unidades experimentales para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica con dos tipos de procesamiento de dietas en sistemas SC y SBF (*T*: Tratamiento, *R*: Réplica, *SC*: Sistema semicerrado, *SB*: Sistema biofloc, *DE*: Dieta extruída y *DP*: Dieta peletizada).

Semanalmente se realizaron biometrías de los juveniles de tilapia gris a fin de determinar el crecimiento a través de la evaluación de los parámetros productivos. Estas incluyeron el muestreo de talla y peso de los juveniles de los lotes conformados. La medición del peso se llevó a cabo con ayuda de una balanza digital OHAUS® (precisión $\pm 0,01$ g), mientras que la medición de la talla se llevó a cabo de forma directa con ayuda de un ictiómetro.

Las estabulaciones de los lotes según densidad poblacional y/o de carga se llevó a cabo registrando los parámetros de calidad de agua. En cada unidad experimental se instalaron termostatos (300 W) marca SERA® y SOBO® a fin de mantener la temperatura aproximadamente a $27 \pm 1^\circ\text{C}$. La aireación fue constante y a un caudal promedio de 5 a 7 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$.

La dieta extruída y la dieta peletizada, ambas descritas en el punto 3.1.1. y con características acorde a la especie y estadio biológico, fueron suministradas manualmente (al boleo) empleándose una tasa de alimentación diaria (TAD) del seis por ciento y fue ajustándose en el tiempo de cultivo acorde al peso unitario promedio y el número total de peces. Se empleó una frecuencia de alimentación de 4 veces al día, en horario diurno (9:00 am, 1:00 y 5:00 pm). Los días que se llevaron a cabo las biometrías, el suministro de alimento fue reducido debido al tiempo empleado en la actividad y por la recuperación de los peces post-manipulación.

a. Sistema semi-cerrado

El sistema semicerrado incluyó renovaciones parciales de agua del orden del 10 al 50 por ciento. Las renovaciones parciales de agua, como medio de cultivo, se realizaron con agua almacenada un día previo a su utilización para la renovación, a fin de reducir la concentración de algunos gases que podrían ser perjudiciales para los peces en cultivo, así como para alcanzar la temperatura ambiental promedio dentro del invernadero.

b. Sistema biofloc (SBF)

El SBF fue activado en la etapa pre-experimental con la puesta de juveniles de tilapia, alimentación, incremento de los niveles de compuestos nitrogenados, adición de sustrato carbonado (melaza) hasta la obtención de un volumen de floc (VF) entre 20 y 25 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$,

volumen recomendado para tilapia según Hargreaves (2013), este último cuantificado con ayuda del cono de Imhoff.

El mantenimiento del sistema BFT, considera lo descrito en la Tabla 5, empleando melaza (con contenido aproximado del 40 por ciento de carbono) como sustrato carbonado, se realizó en función de la cantidad del alimento balanceado suministrado, contenido proteico, y el porcentaje de nitrógeno en el agua producto de la amonificación del alimento no consumido y la excreción de la especie en cultivo. Esta se adicionó acorde al procedimiento descrito por Avnimelech (2012) y Olvera-Olvera *et al.* (2009) entre comidas según las condiciones de cultivo y del ajuste promedio del ratio C:N a manejar en el sistema (C:N=15). Asimismo, por el consumo de la alcalinidad del sistema BFT en el proceso de nitrificación, el mantenimiento de los niveles deseados de alcalinidad ($130 \text{ mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$) se realizó empleando bicarbonato de sodio (NaHCO_3), ajustándose según consumo del sistema a través de la compensación según el método descrito por Loyless y Malone (1997).

Para el control de los sólidos suspendidos totales (SST) y VF se diseñaron y emplearon sedimentadores, según los sistemas de cultivo, distribuidos en cada unidad experimental con SBF y descargados de sólidos a razón de su demanda.

i. Diseño y operación del sistema de sedimentación

Basado en el sistema descrito por Ray *et al.* (2010), considerando el principio de los “*Settling Chambers*¹”, el sedimentador fue diseñado específicamente bajo tres propósitos:

1) Ayudar a mantener los niveles de VF en un rango deseable para los tratamientos con SBF,

2) Emplear el menor espacio posible para llevar a cabo la actividad (ajuste del volumen de floc), debido a que en anteriores experiencias se emplearon envases plásticos cilíndricos de capacidad promedio de 55 galones, estos ocupaban mucho

¹ El agua es transportada con ayuda de aire a una cámara de sedimentación a través de un deflector central, donde la velocidad del fluido transportado es ralentizada y los sólidos asentados en el fondo de la cámara (Ray *et al.* 2010).

espacio dentro del laboratorio llegando también a obstaculizar el libre tránsito en el mismo y,

3) Reducir el tiempo de la actividad para fines de manejo, al realizar la actividad con los mencionados cilindros, se demandaban varios de estos y al mismo tiempo varias bombas eléctricas para la succión y devolución del agua (medio de cultivo) hacia los cilindros para la sedimentación, resultando no solo en una mayor demanda de tiempo sino también en mayor gasto de energía eléctrica.

Construido con piezas de material plástico, piezas de cloruro de polivinilo (PVC) y algunos accesorios de polietileno (HDPE), el sedimentador contó con una capacidad promedio de almacenamiento de $0,007 \text{ m}^3$ (2 por ciento del volumen de la unidad experimental destinada para el cultivo). La masa de agua, trasladada de la unidad experimental hacia el sedimentador o cámara de sedimentación (CASE), se realizó con el uso de una bomba elevadora de aire ó “*airlift*” (BEA), esta se sustentó en la inyección de aire a través de una manguerilla de silicona (tipo acuario), de 4 mm de diámetro, conectado al tubo de elevación a una altura de sumergimiento en promedio de 0,20 m (20 cm) que le dio una razón de sumergimiento del 50 por ciento en promedio.

En función del VF y la relación relativa con la concentración de SST, se estableció el caudal de salida de agua del sedimentador (Q_s), este fue regulado a través del caudal de aire inyectado, considerando un mayor Q_s para una menor retención de sólidos sedimentables y un menor Q_s para una mayor retención de sólidos sedimentables. Al alcanzar el promedio de VF establecido, el sedimentador dejó de operarse, removiéndose lo retenido en los mismos hasta una nueva operación. Para mayor detalle acerca del diseño ver el Anexo 15.

La compensación de agua en las unidades experimentales fue acorde a las pérdidas por evaporación, volumen retirado de los sedimentadores, así como lo perdido en las biometrías semanales. El sistema de aireación comprendió un soplador de aire (*Blower*) de 1/2 HP marca *Sweetwater*®, cuya distribución fue a través de una red principal de tuberías de Cloruro de polivinilo (PVC) en color gris de 1½ pulgadas de diámetro (1,5” Ø) y redes secundarias de ¾ y ½ pulgada de diámetro reguladas por llaves tipo bola de ½ pulgada de diámetro. La distribución hacia las unidades experimentales se hizo a través de manguerillas

de silicona (3/16" Ø ó 4 mm de diámetro) y piedras difusoras distribuidas (8 cm de largo) de a 2 a 3 unidades por unidad experimental y colocadas en el fondo de los mismos.

3.2.2. Determinación de las características físicas y contenido nutricional del alimento

Se realizó el análisis proximal del alimento que incluyó el contenido de proteína bruta, grasas totales, fibra, ceniza y humedad, los métodos para el análisis proximal son descritos en la Tabla 6. Los métodos de evaluación de las características físicas del alimento son descritos en la Tabla 7, estas incluyen la evaluación del tamaño de grano, unidades por gramo, densidad, flotabilidad, velocidad de hundimiento, pérdida de materia seca e hidroestabilidad.

Tabla 6: Análisis y método empleado en la evaluación de contenido nutricional de las dietas para el cultivo de juveniles de tilapias en sistema SC y SBF.

Análisis	Unidad	Método y descripción	Referencia
Humedad	%	AOAC (2005), 950.46; AOAC (2005), 984.13; AOAC (2005), 942.05; AOAC (2005), 2003.05; AOAC (2005), 962.09	http://www.eoma.aoc.org
Proteína N x 6.25	%		
Grasa	%		
Fibra cruda	%		
Ceniza	%		
Extracto libre de N	%		

Tabla 7: Análisis y métodos empleados en la evaluación física de las dietas para el cultivo de juveniles de tilapias en sistema SC y SBF.

Análisis	Unidades	Método y descripción	Referencia
Tamaño	mm	Medición de la longitud promedio de 50 pellets y el diámetro de 25 pellets	Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)
Unidades por gramo	Nº <i>pellet.g⁻¹</i>	Pesaje de una muestra de alimento formulado en promedio de 1,0 g y se contabilizó el número de partículas presentes. El procedimiento se realizó por triplicado.	Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)
Unidades por gramo	Nº <i>pellet.g⁻¹</i>	Pesaje de una muestra de alimento formulado en promedio de 1,0 g y se contabilizó el número de partículas presentes. El procedimiento se realizó por triplicado.	Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)
Densidad	g.cm^{-3}	Medir 30 mL de agua en una probeta de 100 mL, registrar el volumen (v1), pesar 15 g de muestra (Ms) con una precisión mínima de 0,01 g (registrar peso, ms), depositar la muestra de alimento en la probeta con agua utilizando un embudo, golpear la probeta con las manos aproximadamente unas 10 veces por segundo hasta eliminar las burbujas formadas, registrar el volumen alcanzado (v2) y calcular la densidad del pellet empleando la siguiente fórmula $\rho = Ms / (v2 - v1)$.	Wender Manufacturing, Inc. (2000) citado por Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)

«Continuación»

Análisis	Unidades	Método y descripción	Referencia
Flotabilidad	%	Cuantificar la permanencia de un número determinado de pellets (de similares longitud y diámetro) en la superficie de una probeta graduada de 500 cm ³ (con agua de grifo) por un tiempo determinado. Transformar las unidades a un valor porcentual.	Modificado de Toledo (2003)
Velocidad de hundimiento o caída	cm.s ⁻¹	Tomar dos o tres pellets (de similar longitud y diámetro) y colocarlos en una probeta graduada de 1000 cm ³ , llenarla con agua de grifo, medir el tiempo que tarda en caer el pellet desde la superficie al fondo de la probeta. Determinar la velocidad de caída en cm.s ⁻¹ .	Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)
Pérdida de materia seca (PMS)	%	Pesar el alimento y colocar en tamices de malla mosquitera (muestra), secar en una estufa a 60°C por 24 h. Extraer muestras de la estufa y mantener en desecador hasta obtener peso constante. Pesar la muestra secada en una balanza analítica de ±0.0001 de precisión. % PMS = $100 \times ((P_i - P_c) \times [MS]_A - (P_f - P_c)) / (P_i - P_c) \times [MS]_A$; donde: Porcentaje de pérdida de materia seca (%PMS), P _c : peso de tamiz seco, P _i : peso de tamiz seco + alimento inicial, [MS] _A : concentración de materia seca en el alimento inicial, P _f : peso del tamiz + alimento lixiviado.	Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)
Hidroestabilidad	%	Hidroestabilidad = 100 - % PMS	Cruz-Suarez <i>et al.</i> (2006)

3.2.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua

El registro de los parámetros de calidad de agua (frecuencia), se llevó a cabo según lo descrito en la Tabla 8. La medición de la temperatura ambiental dentro del invernadero se realizó con ayuda de un termómetro ambiental de máxima y mínima, mientras que, para el registro de la temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, potencial de hidrógeno y la conductividad del medio de cultivo se empleó un equipo multiparámetro HACH HQ 40D de diferentes sondas.

Tabla 8: Frecuencia, registro (diaria y horaria) de la medición, instrumentos de medición y método de análisis de los parámetros de calidad de agua evaluados en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en sistema semicerrado y biofloc.

Parámetro	Unidad	Hora de muestreo	Frecuencia	Instrumentos y otros de medición	Método
Temperatura	°C	9:00 13:00 17:00	Diaria	Multiparámetro	HACH HQ 40D Directo (electrodo y/o sonda)
Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹				
pH					
Conductividad	mS.cm ⁻¹				
Volumen de floc (VF)*	mL.L ⁻¹	08:00	Diaria	Cono de Imhoff	
SST	mg.L ⁻¹	17:00	2 veces por semana	Balanza analítica, Bomba de vacío, estufa, etc.	Modificado de APHA (1998)
NH ₃ -N	mg.L ⁻¹	17:00	2 veces por semana	Espectrofotómetro	HACH 8038 (Nessler)
NO ₂ -N	mg.L ⁻¹				HACH 8507 (Diazotización)
NO ₃ -N	mg.L ⁻¹				HACH 8039 (Reducción de Cadmio)
Alcalinidad (medición)	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	15:00	2 veces por semana	Sol. de Ácido Sulfúrico e indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol)	Alcalinidad Total (ASTM 2002)
Alcalinidad (corrección)	mgCaCO ₃ .L ⁻¹		3 veces por semana	NaHCO ₃	Método de Loyless y Malone (1997)

(*) Sólo en tratamientos con sistema biofloc.

La sonda para la medición del oxígeno disuelto, se basó en el principio de medida LDO (*Luminescent Dissolved Oxygen*). Para el caso de la alcalinidad total, y a través del análisis volumétrico, se determinó por titulación con una solución estándar de un ácido fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico. Finalmente, por análisis gravimétrico se determinó los sólidos suspendidos totales, basado en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105°C. El aumento de peso del filtro representó los sólidos suspendidos totales.

3.2.4. Determinación de los parámetros productivos

La determinación de los parámetros productivos se realizó semanalmente y mediante las fórmulas descritas en la Tabla 9. El aumento de peso promedio registrado en los diferentes lotes estabulados y para los tratamientos experimentales, se determinó a partir de las biometrías realizadas semanalmente y por las diferencias de pesos y tallas en función al tiempo de cultivo, dando lugar a la ganancia de peso diaria y a la tasa de crecimiento específica. Por otro lado, según la diferencia de pesos finales e iniciales y su relación con los grados efectivos acumulados se determinó el coeficiente térmico de crecimiento, variable de gran importancia al momento de hacer proyecciones del crecimiento.

Tabla 9: Parámetros productivos evaluados en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica.

Parámetro	Unidad	Fuente
Ganancia diaria de peso	$\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	Asasa <i>et al.</i> (2007)
Tasa de crecimiento específica (TCE)	$\% \cdot \text{d}^{-1}$	Vásquez (2004)
Coeficiente térmico de crecimiento (CTC)	$\text{g}^{1/3}(\text{°C}_{\text{ef}} \cdot \text{d})^{-1}$	Cho (1992)
Factor de Condición	k	Aguilar <i>et al.</i> (2010)
Supervivencia (S)	%	
Factor de conversión alimenticia (FCA)		
Eficiencia de conversión alimenticia (ECA)	%	Delgado-Vidal <i>et al.</i> (2009)
Tasa de eficiencia proteica	%	Vásquez (2004)

3.2.5. Determinación de los parámetros costo-efectivos

Los parámetros costo-efectivos, cuyos métodos de determinación se describen en la Tabla 10, fueron determinados al final del período experimental. La evaluación de los parámetros costo-efectivos parciales de los tratamientos, incluyeron todos aquellos consumos en función de la biomasa de peces producida.

a. Consumo de energía de aireación

Los sistemas empleados demandaron aireación para la transferencia de oxígeno y suspensión del floc (según tratamiento). El equipo a emplearse ofertó la aireación a un costo energético (Kw), el cual se cuantificó a partir de la diferencia entre los litros por segundo ($L \cdot s^{-1}$) de aire capaz de ofertar y aquellos cuantificados (como consumo) en los sistemas de cultivo. Finalmente, el costo energético por parte del soplador de aire o *Blower* según el tiempo útil del mismo se relacionó con la biomasa producida al final del experimento ($kW \cdot kg^{-1}$).

b. Consumo de energía para calentamiento

Los termostatos empleados para el calentamiento del agua de los sistemas de cultivo (por tratamiento) demandaron de energía eléctrica, la cual se cuantificó a partir de la demanda para mantener los sistemas a la temperatura promedio estipulada y el tiempo útil de encendido de los mismos para finalmente relacionarse con la biomasa producida al final del experimento ($kW \cdot kg^{-1}$).

c. Consumo de agua

Los sistemas empleados demandaron volúmenes de agua (por tratamiento), este consumo empleado para renovación y/o compensación de agua por evaporación, se cuantificó acorde a dicho consumo (m^3) y se relacionó con la biomasa producida al final del experimento ($m^3 \cdot kg^{-1}$).

Tabla 10: Descripción para la determinación de parámetros productivos y de costo-efectividad en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica.

Variable	Unidades	Fórmula	Descripción para la determinación	Fuente o Cita
Ganancia diaria de peso	g.d ⁻¹	$(P_f - P_i)/t$	Pf: promedio de peso corporal final de los peces en cada tanque, Pi: promedio de peso corporal inicial en cada tanque y t: tiempo de duración de la fase en días	Asasa <i>et al.</i> (2007)
Tasa específica de crecimiento (TEC)	% .d ⁻¹	$100 \times (\ln P_f - \ln P_i) / t$	Pf: promedio de peso corporal final de los peces en cada tanque, Pi: promedio de peso corporal inicial en cada tanque, T: promedio de temperatura efectiva (°C) registrada durante cada fase y t: tiempo de duración de la fase en días	Aguilar <i>et al.</i> (2010)
Coeficiente de crecimiento térmico (CTC)	$(g^{1/3}(\text{°C d})^{-1})$	$100 \times (P_f^{1/3} - P_i^{1/3}) / T \times t$		Cho (1992)
Factor de conversión alimenticia (FCA)		CAL / GBT	CAL: consumo de alimento por cada tanque, GBT: ganancia de biomasa total (biomasa final del tanque + biomasa retirada por mortalidad + biomasa extraída para el estudio de composición corporal)	Aguilar <i>et al.</i> (2010)
Tasa de eficiencia proteica (TEP)		$GBT/(CAL \times PCDF/100)$	PCDF: contenido proteico del alimento	Jover <i>et al.</i> (1998)
Factor de condición (FC)		$100 \times (P/L^3)$	P: peso corporal de cada uno de los peces muestreados al final de cada fase y L: longitud total de cada uno de los peces muestreados al final de cada fase	Aguilar <i>et al.</i> (2010)
Índice de conversión económica (ICE)	S/. /kg	FCA x S/. kg de alimento		Velazco (2014)
Índice de costo-efectividad parcial	S/. .kg pez ⁻¹	$S/.(F^*+A+Ec+Ea+M+B).kg^{-1}$	A: Agua, Ec: Energía para el calentamiento, Ea: Energía para aireación, M: Melaza, B: Bicarbonato de Na y F: Alimento balanceado.	Elaboración propia

d. Consumo de melaza y bicarbonato de sodio

La cantidad de melaza y bicarbonato (kg) que se empleó en los tratamientos que incluyeron el sistema Biofloc para los ajustes del ratio C:N y la Alcalinidad (mg.L^{-1}) respectivamente, fueron registrados y cuantificados. Esta demanda de ambos compuestos (kg) fue relacionada con la biomasa producida al final del experimento (kg.kg^{-1}).

3.2.6. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos y análisis estadístico se utilizó un diseño experimental de tipo factorial 2×2 , como se observa en la Tabla 11, que incluyó tres réplicas por tratamiento (Tratamientos: SBDE: sistema biofloc dieta extruída, SBDP: sistema biofloc dieta peletizada; SCDE: sistema semicerrado dieta extruída y SCDP: sistema semicerrado dieta peletizada). Previa evaluación de la normalidad de datos, se aplicó un análisis de varianza (ANVA) a las variables de los parámetros de calidad de agua, parámetros productivos y costo-efectivos (comparación de medias). Se analizaron los efectos principales (Dieta y Sistema) y aquellos de interacción (Dieta 1, Dieta 2, Sistema 1 y Sistema 2). El manejo de los datos se llevó a cabo empleando hojas de cálculo y herramientas de Microsoft Excel 2016 en el entorno Windows 10. Histogramas de frecuencia, análisis exploratorio de datos, análisis de correlación, análisis multivariado, ANVA modelo lineal general y la prueba de *Tukey*, fueron manejados utilizando el programa IBM® SPSS® *Statistic* 20 (versión 20), con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$ ($\alpha = 0,05$; 95 por ciento de nivel de confianza).

Tabla 11: Factores y niveles del diseño experimental

Factor (variables principales)	Nivel (variables secundarias)
Sistema	Semicerrado
	Biofloc
Dieta (Alimento)	Extruído
	Peletizado

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NUTRICIONALES DE LAS DIETAS

4.1.1 Análisis proximal de las dietas extruída y peletizada

Las dietas, extruída (DE) y peletizada (DP), mostraron menos del 1 por ciento de diferencias en la composición proximal (proporción de inclusión de los macronutrientes), las mismas que no fueron significativas. Los resultados se muestran en la Tabla 12 (y en los anexos 2 y 3), donde se observa que la dieta peletizada (DP) respecto a la dieta extruída (DE), para el caso del contenido porcentual de humedad, grasa y proteína total, registró una diferencia de 0,96; 0,68 y 0,28 por ciento respectivamente; siendo apenas de 0,06; 0,14 y 0,2 por ciento, para el caso de la grasa, fibra cruda y ceniza respectivamente. El menor contenido de humedad en la DP podría responder a la ligera pero mayor proporción de inclusión de los otros macronutrientes.

Según la tabla de alimentación sugerida por el fabricante del alimento (NALTECH®) y para el estadio y rango de peso unitario para la especie empleada, se establece, para un rango de peso entre los 15 y 88 g, una dieta con 40 por ciento de proteína, contenido proteico que difiere, considerando el uso de un sistema semicerrado, según lo descrito como requerimiento por Jauncey (2000), quien describe que para tilapias de un rango de peso entre los 10 a 30 g, se recomienda que el contenido óptimo de proteína en la dieta sea de 25 a 30 g, mientras que El-Sayed (2006) considera para juveniles un requerimiento entre el 30 a 40 por ciento. Chou y Shiau (1996); Jauncey (2000) citados por Luo *et al.* (2014), sugieren que las dietas que contienen 25 a 30 por ciento de proteína cruda y de 5 a 12 por ciento de lípidos son adecuadas para tilapias. Mientras en SBF, Avnimelech (1999), Milstein *et al.* (2000) y Serfling (2006) citados por Azim y Little (2008) señalan que la tilapia puede crecer bien con dietas de baja proteína y alimentarse de las partículas suspendidas del SBF, aunque al parecer la calidad de los flóculos es independiente de la calidad el alimento (Azim y Little 2008). Este consumo del floc, y la proteína contenida

en este, indica que la proteína del alimento puede ser reducida (Lekang 2013) promoviendo una ganancia nutricional, como parte de la dieta de los organismos cultivados y como contribuyente sustancial sobre la conversión alimenticia (Emerenciano *et al.* 2013 citados por Oliveira *et al.* 2017).

Tabla 12: Análisis químico proximal de los macronutrientes en la dieta extruída y dieta peletizada empleada en la alimentación del cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.

Ítem	Análisis (%)	Dieta		
		Extruída	Peletizada	AE
1	Humedad	9,57	8,61	12%*
2	Proteína total (N x 6,25)	40,91	41,19	40%**
3	Grasa	6,12	6,80	5-16%**
4	Fibra cruda	3,06	3,12	4%*
5	Ceniza	9,84	9,98	12%*
6	Extracto Libre de Nitrógeno (ELN)	30,50	30,30	-

AE: Valores de etiqueta de producto extruído, (*) Valor máximo, (**) Valor o rango mínimo.

4.1.2. Evaluación física de la dieta extruída y peletizada

a. Tamaño del alimento

Al evaluar el tamaño de la dieta extruída y peletizada, como muestra la Figura 6, se observó que el diámetro promedio en la DE fue de $2,18 \pm 0,25$ mm y en la DP fue de $2,25 \pm 0,25$ mm; en cuanto a la longitud promedio se observó que en la DE fue de $2,32 \pm 3,36$ mm y en la DP fue de $3,39 \pm 1,01$ mm, mostrando que entre ambas se tuvo una diferencia promedio de 1,07 y 0,07 mm para el caso de la longitud y el diámetro respectivamente. La *National Research Council* (NRC) (1993) describe para la alimentación de tilapias que el tamaño de *pellet* más común es de aproximadamente 3 a 4 mm de diámetro y de 6 a 10 mm de longitud; es decir una relación longitud/diámetro en un rango de 2 a 2,5. Comercialmente, la presentación de una DP para tilapias no guarda la mejor relación longitud/diámetro por la forma de procesamiento. Esta relación longitud/ diámetro, que podría describir qué alimento es más uniforme en el tamaño de sus granos, fue para las DE y DP de 1,06 y 1,50 respectivamente, esto es hasta un 40 por

ciento menos, para el caso de la DP, respecto a lo distribuido comercialmente, como se muestra en la Figura 6 y 7. Considerando que, el tamaño de partícula de la dieta puede afectar la cantidad consumida (Jobling *et al.* 2014), Toledo (1993) propuso como una forma de optimizar este cociente, establecer relaciones entre las dimensiones del pellet, el tamaño bucal y la longitud de los peces de acuerdo a cada situación de cultivo en particular. La uniformidad del tamaño del grano podría ser menos relevante teniendo en cuenta que lo principal es que el mismo pueda ser ingerido en función al tamaño promedio de la boca (abierta) de la especie en cultivo, considerando los diferentes estadios y su relación sea con la longitud o el diámetro de la dieta.

Los 2,18 y 2,25 mm de diámetro de las DE y DP, respectivamente, constituyeron aproximadamente un 20 por ciento del tamaño de la boca de los juveniles de tilapia (medida realizada al inicio del experimento), porcentaje dentro del rango sugerido por Craig y Helfrich (2002) quienes señalan que el tamaño del gránulo debe ser de aproximadamente 20 a 30 por ciento de tamaño de la boca de las especies de peces; pero diferente al óptimo de 25 a 50 por ciento del ancho de la boca recomendado por Jobling *et al.* (2014). Para tilapia, como estándar de calidad, se describe un diámetro de grano de 4 mm para tilapias comprendidas entre los 20 a 200 g de peso (FAO 2007) que distó de los promedios trabajados para ambas dietas con los juveniles de 25 g. Los tamaños de ambas dietas se acercaron más al estándar sugerido por Riche *et al.* (2003), quien considera para tilapias, entre los 40 a 100 g, un tamaño de grano de 3/32" (2,38 mm). Por tanto, las dietas, fueron adecuadas en ambas presentaciones para los juveniles de tilapia.

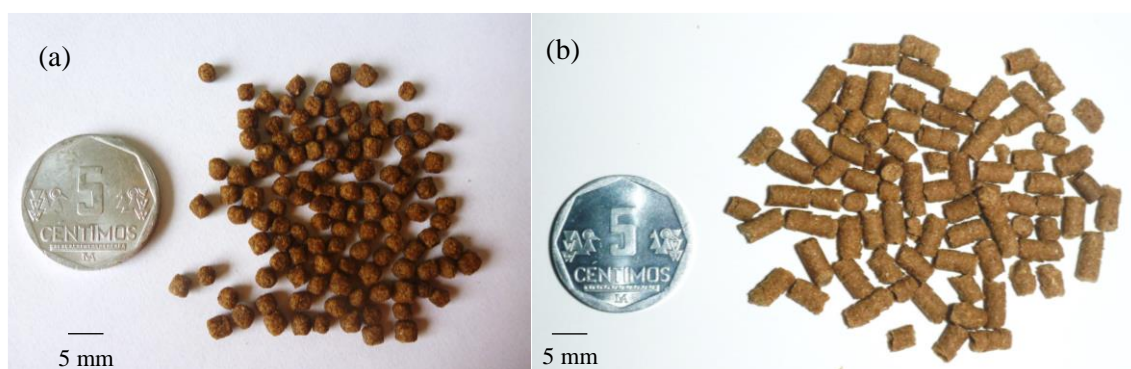


Figura 6: Tamaño de las dietas extruída (a) y peletizada (b) para la alimentación de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos durante el período experimental.

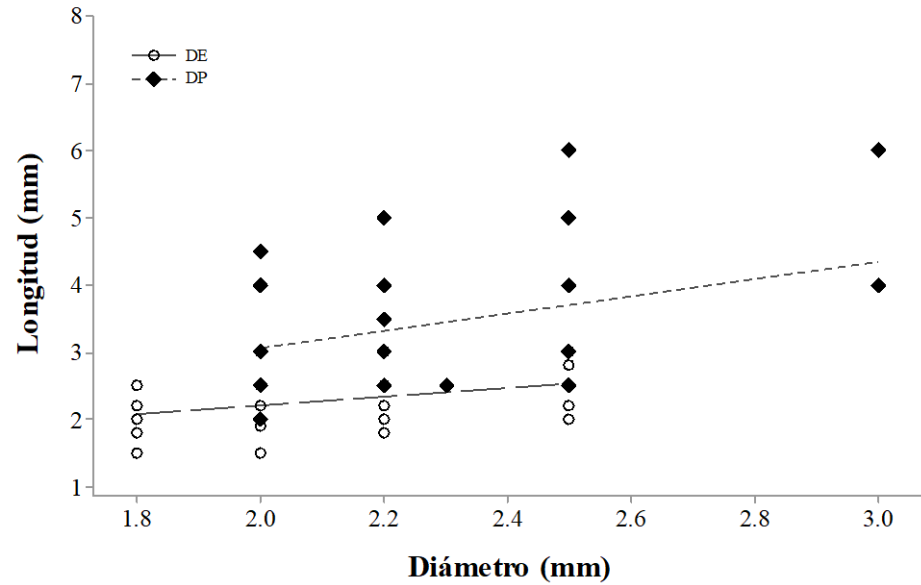
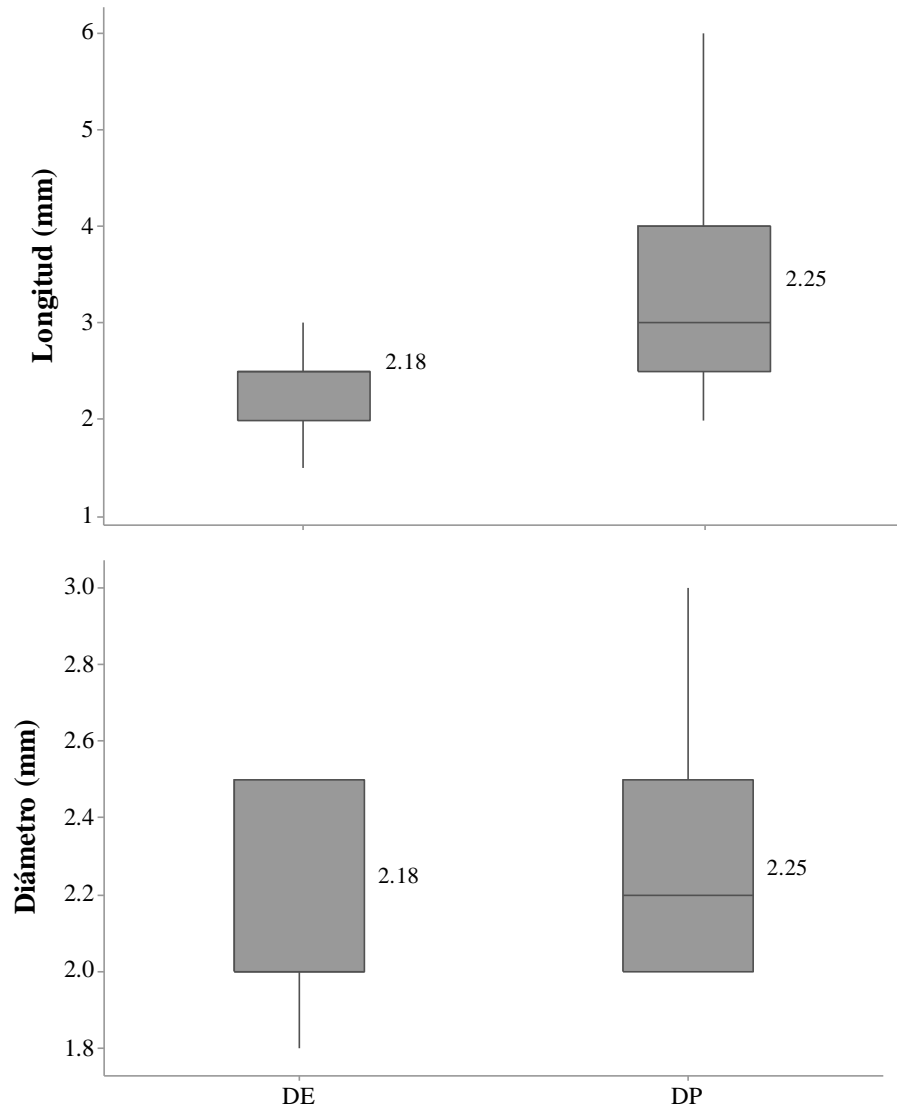


Figura 7: Longitud, diámetro y relación longitud - diámetro de la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento.

b. Unidades por gramo

Las unidades por gramo, como se muestran en la Figura 8, fueron menores para el caso de la DP (48 unidades en promedio) que para la DE (116 unidades en promedio), y presentaron un peso unitario promedio por grano mayor (0,02 g) frente a la alcanzada por cada gramo de la DE (0,009 g). Akiyama y Chwang 1998 citados por Cruz-Suarez *et al.* (2006) consideran que, el hecho de suministrar una mayor cantidad de granos (*Pellet*) por kilogramo da como resultado un menor gasto de energía en la búsqueda de alimento y un crecimiento uniforme en todos los animales ya que se asegura que el alimento esté disponible para todos los animales.

Considerando que se alimentaba con una frecuencia de 4 veces por día, entregando en promedio 15 g por vez, se entregaron 1720 y 714 granos de las dietas DE y DP respectivamente. Esto resultó en aproximadamente 50 y 21 granos entregados por pez (n=34), de las dietas DE y DP respectivamente, lo cual fue superior, y por tanto adecuado, a lo descrito por Cruz-Suarez *et al.* (2002) quienes consideran que lo ideal es que se ofrezca en cada alimentación al menos un grano (*Pellet*) por animal.

c. Densidad

La densidad de la DE (analizada por grano), como describe la Tabla 13, se encontró en un rango de 1,03 a 1,17 g.cm⁻³ (1030 a 1170 g.L⁻¹), densidad muy superior a los descrito por algunos autores y que normalmente ha sido cuantificada por litro, así Kearns (1989) señaló que la densidad típica de estos alimentos (extruídos) está entre 400 y 600 g.L⁻¹; mientras que Bortone (2002) señala que una densidad de 320 a 400 g.L⁻¹ corresponde a alimentos flotantes y superiores a 500 g.L⁻¹ para alimentos sumergibles. La densidad obtenida pudo ser incrementada por condiciones de almacenamiento, como lo describe Vargas (2003), pero la misma no resultó desfavorable, manteniendo así mismo condiciones de flotabilidad consideradas favorables para la evaluación de consumo del alimento como se describe en el ítem siguiente donde se resume y analiza la flotabilidad.

Tabla 13: Densidad de la dieta extruída empleada en la alimentación del cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos (SBDE y SCDE).

Muestra	Materia seca	Volumen	Volumen	Densidad
N°	Ms (g)	(v1)	(v2)	g.cm ⁻³
1	15,0039	30	43,0	1,1541
2	15,0042	30	44,0	1,0717
3	15,0051	30	44,5	1,0348
4	15,0036	30	43,5	1,1114
5	15,0034	30	43,5	1,1114
6	15,0028	30	42,8	1,1721
7	15,0031	30	43,5	1,1113
8	15,0034	30	43,5	1,1114
9	15,0038	30	43,5	1,1541
10	15,0029	30	42,8	1,1721
Promedio				1,1204

d. Flotabilidad

La flotabilidad por el efecto de expansión, es una característica física determinante para que el pez tenga más tiempo para consumir la dieta extruída y evitar pérdidas (Pokniak *et al.* 1999 citados por Berman 2007). El índice de flotabilidad es una variable de respuesta de mayor importancia en la alimentación acuícola, especialmente para las especies que se alimentan en la superficie como la tilapia (Ah-Hen *et al.* 2014 citados por Rosero *et al.* 2016).

La DE, como se muestra en la Figura 8, a diferencia de la DP que no pudo sostener granos flotando ni siquiera unos segundos, mantuvo un 89 por ciento de granos flotando transcurridos los 2 minutos de haber tenido contacto con agua, posterior a los 5 minutos se redujo a 82 por ciento y finalmente más del 50 por ciento de granos flotando se mantuvieron después de haber transcurridos 10 minutos. Resultados que estarían considerados como favorables según Vargas (2003), quien considera como un tiempo de flotabilidad, adecuado para dietas extruídas, de al menos por diez minutos como parte favorable de una práctica alimentaria para determinar el consumo del alimento. Oquist (1999) describe que un buen "*Pellet*" flotante para tilapia debe tener entre 95 y 100 por ciento de flotabilidad durante seis a ocho horas en el agua sin llegar a perder su integridad

física. Contrariamente, Buxade (1997) menciona que la flotabilidad y la estabilidad de los piensos en el agua no son de mucha importancia debido a una ingestión rápida y al consumo de la dieta tanto a flote como cuando está descendiendo por parte de la mayoría de especies cultivadas.

e. Velocidad de hundimiento

La dieta peletizada, como se observa en la Figura 8, tuvo una velocidad de hundimiento (VH) de $7,26 \text{ cm.s}^{-1}$, 1,7 veces más rápida que la dieta extruída ($4,30 \text{ cm.s}^{-1}$) siendo esta última 2,4 veces más liviana (peso promedio por grano) respecto a la DP. Estos resultados difieren de lo reportado por Rodríguez *et al.* (2014) quienes obtuvieron una VH de $2,60 \text{ cm.s}^{-1}$ para una dieta extruída con un porcentaje de humedad y temperatura de extrusión de 22 por ciento y 150° C respectivamente, mientras que Kannadhason *et al.* (2009) obtuvieron una VH de hasta $12,5 \text{ cm.s}^{-1}$ en dieta extruída (con 30 por ciento PB) con mayor porcentaje de humedad, menor temperatura de extrusión y mayor velocidad de tornillo en el procesamiento (45 por ciento, 100°C y 200 rpm respectivamente).

Los valores obtenidos, resultaron favorables considerando aquellos antes descritos como rangos, los mismos que al extrapolar a una altura de columna de agua de 0,55 m (altura de columna de agua de las unidades de cultivo), la dietas peletizada y extruída tardarían en promedio unos 7,88 y 13,9 segundos respectivamente para llegar a tocar el fondo de la unidad de cultivo (Figura 14); por ello la VH es considerado como un indicador que proporciona al pez mayor oportunidad de consumo (Maghaydah 2003) y debe ser ajustada a los hábitos alimenticios de la especie en cultivo (Lovell, 1989; Baeverfjord *et al.* 2006; Sorensen, 2012 citados por Obirikarang *et al.* 2015); aunque Schewerther *et al.* (2003) citados por Kamarudin *et al.* (2014) observaron que la velocidad de hundimiento es un indicador insatisfactorio ya que algunos de los extruídos flotan hasta desintegrarse.

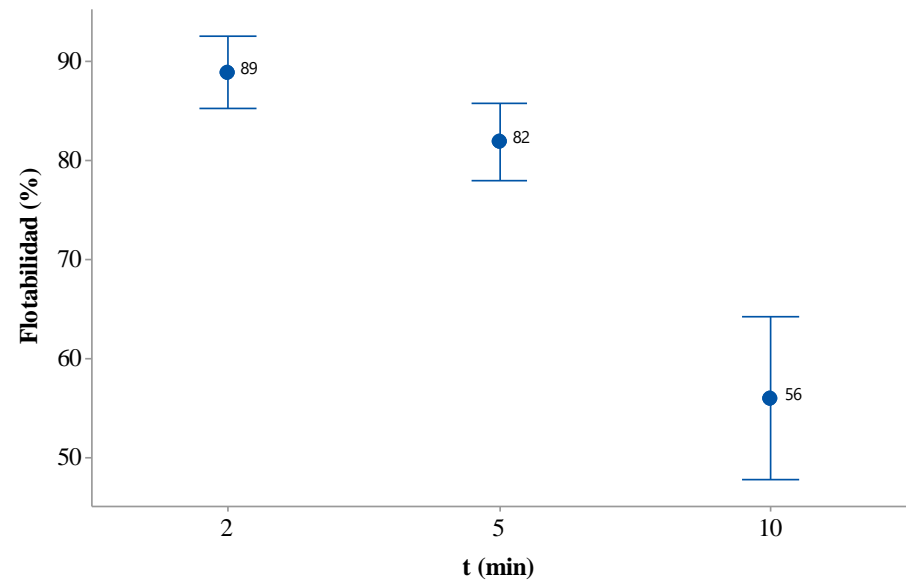
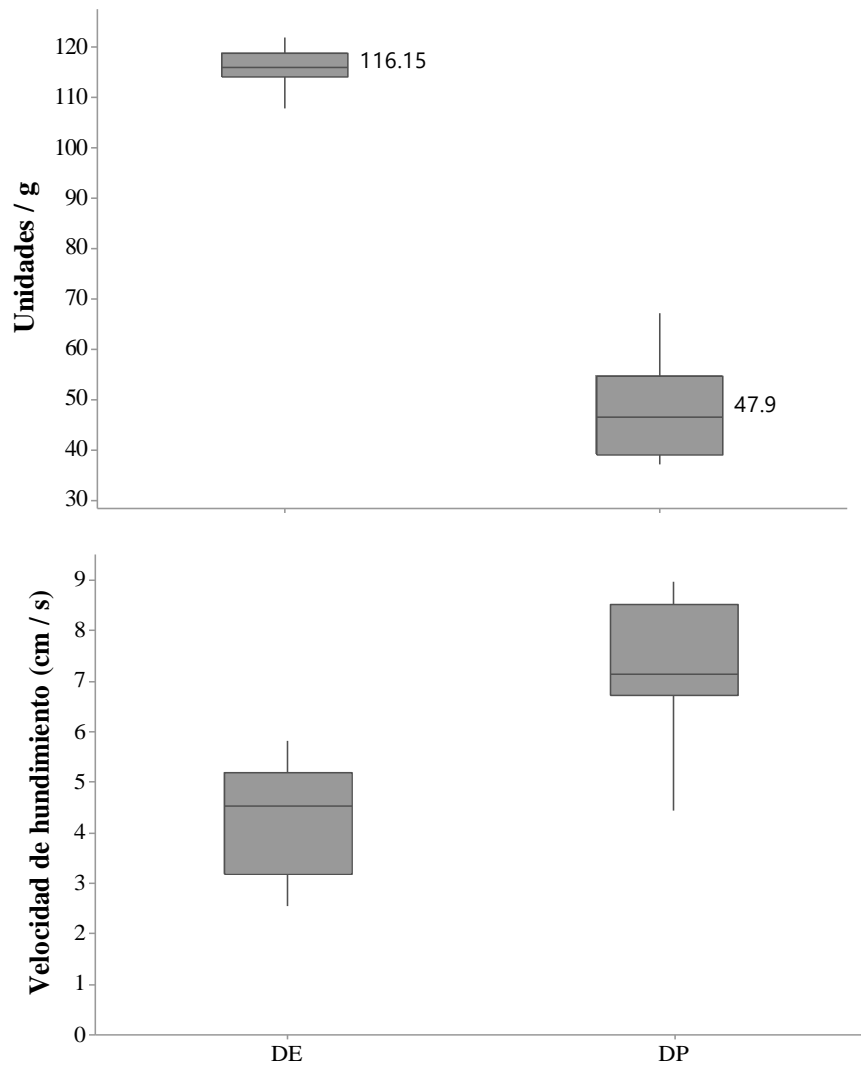


Figura 8: Unidades por gramo (a), flotabilidad (b) y Velocidad de hundimiento ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) de la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica según tratamiento ($n=12$) durante 56 días de experimento.

f. Pérdida de materia seca e hidroestabilidad

Las dietas extruída y peletizada, como se observa en la Figura 9, mantuvieron las mismas tendencias en cuanto a la pérdida de materia seca e hidroestabilidad. La dieta extruída tuvo pérdidas de materia seca de 8,39; 9,85; 11,94 y 13,90 por ciento a los 5, 10, 15 y 30 minutos respectivamente, es decir perdió 0,53; 0,28; 1,03 y 0,32 por ciento más de materia seca que la dieta peletizada para los mismos períodos de tiempo luego de haber sido sumergida en agua, lo que se tradujo, pero sin llegar a ser significativo, en una mayor hidroestabilidad para esta última en casi un 0,54 por ciento en promedio.

El reprocesado de la dieta extruída para la obtención de la dieta peletizada asemejó a esta última, al parecer, solo en la densidad en relación a las dietas peletizadas convencionales ya que en términos de hidroestabilidad esta distó de las mismas. El procesamiento inicial como DE, de la dieta DP, pudo ser benéficamente complementado con el reprocesamiento (en cuanto a la gelatinización de los almidones), teniendo en cuenta que el grado de estabilidad del alimento está directamente relacionado con el grado de gelatinización (Jarayam y Shetty 1981 citados por Ighwela, 2013). Para el caso de dietas extruídas, el grado de gelatinización, mejora la expansión promedio respecto al peso hectólitro², aumentando la flotabilidad y mejorando su hidroestabilidad (Berman 2007). Por otro lado, se sabe que los *pellets* con una estabilidad muy alta en el agua afectan la preferencia y aceptabilidad por los animales que, con *pellets* más blandos, prefiriéndose usualmente a los *pellets* más duros (Aas *et al.* 2011; Skock *et al.* 1983 citados por Obirikarang *et al.* 2015).

Ambas dietas superaron el 85 por ciento de hidroestabilidad, valor que considera Kamarudin *et al.* (2014) como un extruído de calidad para tilapias pero que debe ir acompañado con un bajo porcentaje de finos (<0,10 por ciento), característica de las dietas experimentales. Una gran cantidad de finos (>1 por ciento) repercute negativamente en el desempeño de los peces, por la pérdida de estos finos en el fondo del estanque (Cruz *et al.* 2009), aunque los mismos en el SBF, tomados como partículas, pueden ser aeróbicamente metabolizados y conducidos a una eficiente cadena alimenticia y reciclaje (Browdy *et al.* 2012).

² Peso hectólitro es el peso de una masa de granos que ocupa el volumen de 100 litros. Por ser el hectólitro un volumen muy grande, en el laboratorio se determina utilizando un recipiente de 1 litro.

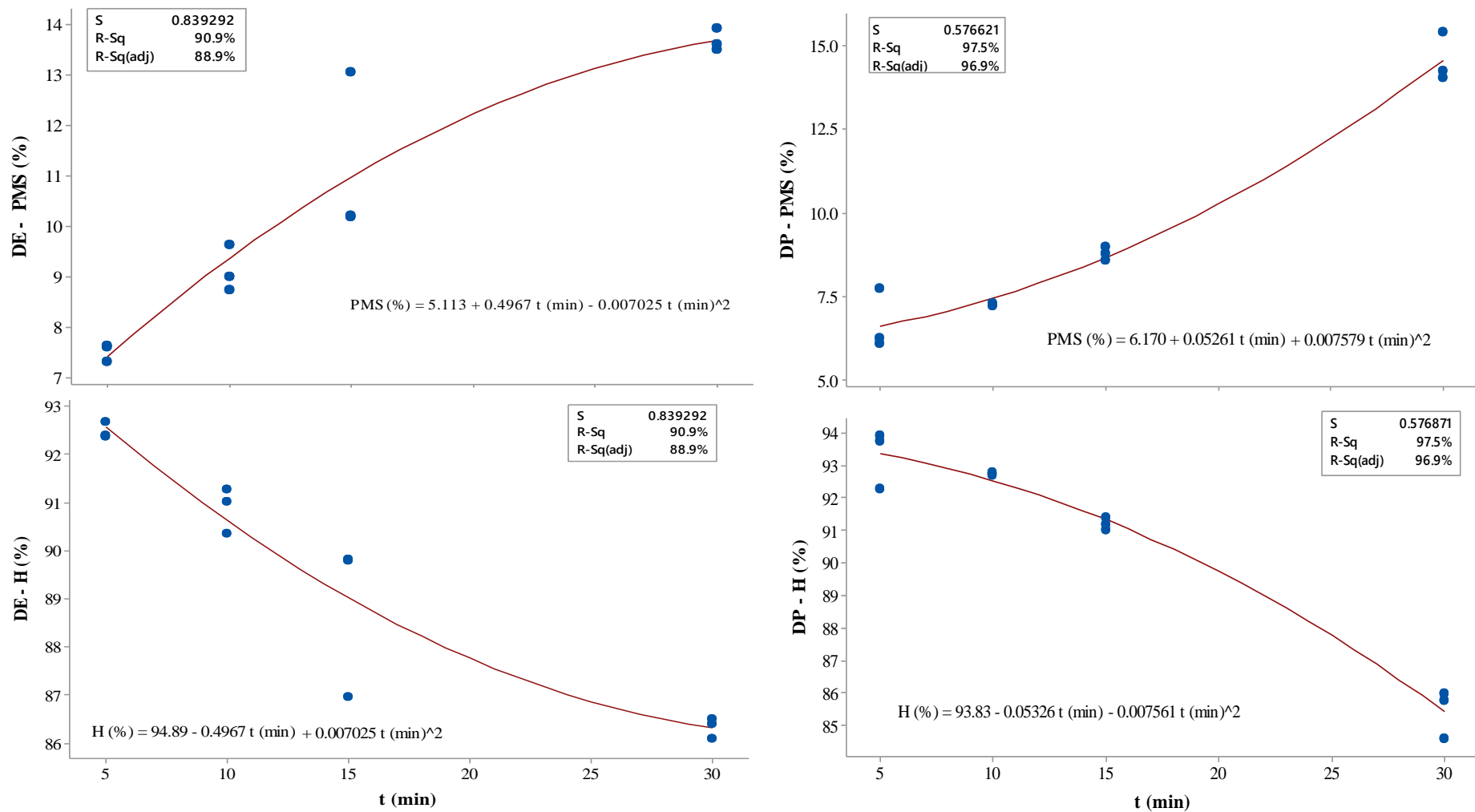


Figura 9: Pérdida de materia seca (Izquierda) e Hidroestabilidad (Derecha) de la dieta DE y DP empleadas en la alimentación de juveniles de tilapia nilótica según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento.

4.2. Parámetros de calidad de agua en el cultivo

En la Tabla 14 se muestran los valores promedio (\pm desviación estándar), mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos registrados en el cultivo de los juveniles de tilapia gris a lo largo de todo el experimento. Los valores mostrados corresponden al promedio de los tres registros horarios que se especificaron en la Tabla 8. La temperatura ambiental correspondió a aquella que se registró dentro del invernadero.

4.2.1. Temperatura

La temperatura promedio en los tratamientos durante el período experimental fue de $27,1 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$; $27,3 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$; $27,0 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ y $27,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ para los tratamientos SCDE, SBDE, SCDP y SBDP respectivamente. Estas temperaturas que se observan en la Figura 10, fueron mantenidas en los estanques dentro de un invernadero y contaron con termostatos para reducir la fluctuación de la temperatura ambiental, la que estuvo en un rango de $25,3$ a $28,2^{\circ}\text{C}$.

4.2.2. Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno

En la Figura 10 (c y d) se observan los valores promedio del oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno para todos los tratamientos, siendo estos de $6,0 \pm 0,1$ mg.L^{-1} y $77,8 \pm 1,3$ por ciento respectivamente. El oxígeno disuelto promedio para los tratamientos SCDE, SBDE, SCDP y SBDP fue de $78,9 \pm 2,4$; $77,6 \pm 2,9$; $78,6 \pm 2,7$ y $76,0 \pm 3,3$ mg.L^{-1} respectivamente.

4.2.3. Potencial de hidrógeno (pH)

En la Figura 11 a, se muestra el registro semanal promedio del pH, el mismo que muestra una fluctuación en un rango de 7,63 a 8,45 para todos los tratamientos y según los tratamientos SCDE, SCDP, SBDE y SBDP el pH promedio registrado fue de $8,14 \pm 0,18$; $8,16 \pm 0,20$; $8,08 \pm 0,18$ y $8,09 \pm 0,15$ respectivamente. El mejor crecimiento de tilapias se encuentra entre un pH de 7 a 9 (Ross 2000) y como una vía para mejorar el performance de la tilapia en SBF, la formación del biofloc debe realizarse con un pH cercano a 8 y sostenerse hasta los 6,5 (Bernardes 2016).

Tabla 14: Registro promedio, mínima y máximas de los parámetros de calidad de agua (\pm desviación estándar) del cultivo de juveniles de tilapia nilótica según tratamientos.

Parámetro	Valor	Unidad	SCDE	SCDP	SBDE	SBDP
Temperatura ambiental (invernadero)	Promedio	°C	26,7 \pm 2,03			
	Máxima		28,2			
	Mínima		25,3			
Temperatura del medio de cultivo	Promedio	°C	27,1 \pm 0,70	27,0 \pm 0,70	27,3 \pm 0,50	27,4 \pm 0,60
	Máxima		30,5	29,2	29,3	30,3
	Mínima		25,1	25,0	25,7	25,7
Oxígeno disuelto	Promedio	mg.L ⁻¹	6,13 \pm 0,56	6,09 \pm 0,59	5,97 \pm 0,49	5,84 \pm 0,48
	Máxima		7,60	7,60	7,07	7,11
	Mínima		4,96	4,49	4,40	4,68
Saturación de oxígeno	Promedio	%	78,9 \pm 2,40	78,6 \pm 2,7	77,6 \pm 2,90	76,0 \pm 3,30
	Máxima		90,7	96,5	91,5	92,8
	Mínima		64,8	56,1	57,0	60,5
pH	Promedio		8,14 \pm 0,18	8,16 \pm 0,20	8,08 \pm 0,18	8,09 \pm 0,15
	Máxima		8,39	8,45	8,40	8,37
	Mínima		7,63	7,67	7,66	7,77
Conductividad	Promedio	mS.cm ⁻¹	3,38 \pm 0,22	3,37 \pm 0,21	4,96 \pm 0,41	4,93 \pm 0,35
	Máxima		3,94	3,87	5,61	5,40
	Mínima		3,13	3,13	4,08	4,09

SCDE: sistema semicerrado y dieta extruída; SCDP: sistema semicerrado y dieta peletizada; SBDE: sistema biofloc y dieta extruída; SBDP: sistema biofloc y dieta peletizada.

Continuación de la tabla 14.

Parámetro	Valor	Unidad	SCDE	SCDP	SBDE	SBDP
Volumen de floc (VF)	Promedio	mL.L ⁻¹	-	-	23,4 ± 6,4	23,4 ± 7,1
	Máxima		-	-	37,5	37,9
	Mínima		-	-	17,7	15,9
Sólidos suspendidos totales (SST)	Promedio	mg.L ⁻¹	49,4 ± 29,4	47,8 ± 24,0	417,1 ± 107,0	415,9 ± 109,9
	Máxima		97,7	83,7	495,3	502,0
	Mínima		15,7	13,0	299,7	301,3
Alcalinidad (Alk)	Promedio	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	88,2 ± 15,7	88,6 ± 19,8	95,1 ± 16,7	97,9 ± 19,2
	Máxima		105,7	111,2	108,9	124,3
	Mínima		78,1	72,5	75,2	84,5
Nitritos (NO ₂ -N)	Promedio	mg.L ⁻¹	0,53 ± 0,40	0,59 ± 0,67	1,34 ± 1,19	1,74 ± 1,71
	Máxima		1,36	1,35	4,41	4,96
	Mínima		0,11	0,13	0,21	0,36
Nitratos (NO ₃ -N)	Promedio	mg.L ⁻¹	16,82 ± 4,47	16,93 ± 4,70	112,29 ± 35,09	111,56 ± 33,13
	Máxima		25,00	24,88	176,33	157,0
	Mínima		14,50	12,67	68,89	71,50
Nitrógeno Amoniacal total (NAT)	Promedio	mg.L ⁻¹	5,20 ± 2,40	5,84 ± 2,35	2,89 ± 0,99	2,96 ± 1,01
	Máxima		8,2	9,2	5,0	5,5
	Mínima		3,4	3,4	2,5	2,4

SCDE: sistema semicerrado y dieta extruída; SCDP: sistema semicerrado y dieta peletizada; SBDE: sistema biofloc y dieta extruída; SBDP: sistema biofloc y dieta peletizada.

4.2.4. Conductividad

Los valores promedio semanal para la conductividad se muestran en la Figura 11 b, estos mostraron similares registros y tendencias para los tratamientos que compartieron el mismo sistema de cultivo, estos fueron de $3,4 \pm 0,2 \text{ mS.cm}^{-1}$ y $4,9 \pm 0,3 \text{ mS.cm}^{-1}$ para los tratamientos con SC (SCDE, SCDP) y SBF (SBDE, SBDE) diferencias que fueron estadísticamente diferentes ($P < 0,05$) como los valores promedio registrados en cada semana y solo para una variable principal (sistema de cultivo).

4.2.5. Volumen de floc

El valor promedio para el volumen de floc (sólidos sedimentables) durante todo el período experimental, como se observa en la Figura 12a, fue de $23,4 \pm 6,4 \text{ mL.L}^{-1}$ y $23,4 \pm 7,1 \text{ mL.L}^{-1}$ para los tratamientos SBDE y SBDE respectivamente. Estos valores estuvieron dentro del rango (25 a 50 mL.L^{-1}) y proveen un buen funcionamiento del sistema BFT en el cultivo de tilapias (Hargreaves 2013). Además, no existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los valores del VF registrados para los tratamientos con SBF y los rangos registrados para ambos tratamientos fueron de $17,7$ a $37,5 \text{ mL.L}^{-1}$ y $15,9$ a $37,9 \text{ mL.L}^{-1}$ para SBDE y SBDE respectivamente.

4.2.6. Sólidos suspendidos totales

Se registraron valores promedio en la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) de $49,4 \pm 29,4$ y $47,8 \pm 24,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para los tratamientos SCDE y SCDP respectivamente como se observa en la Figura 12b; mientras que para los tratamientos SBDE y SBDE fueron de $417,1 \pm 107,0$ y $415,9 \pm 109,9 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente. Así mismo, los rangos registrados para los tratamientos fueron de $15,7$ a $97,7$ (SCDE y SCDP) y de $299,6$ a $490,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (SBDE y SBDE). Estos rangos dan cuenta de la diferencia significativa ($P < 0,05$) que alcanzaron los promedios semanales entre los tratamientos que incluyeron diferentes sistemas de cultivo mas no entre dietas ni entre variables de interacción.

4.2.7. Alcalinidad

Los promedios de alcalinidad total obtenidos para los tratamientos SCDE, SBDE, SCDP y SBDP fueron de $88,2 \pm 15,7$; $95,1 \pm 16,7$; $88,6 \pm 19,8$ y $97,9 \pm 19,2$ mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ respectivamente. Así mismo, se registraron fluctuaciones de la alcalinidad de 78,1 a 105,7 mg.L⁻¹ y de 72,5 a 111,2 mg.L⁻¹ para los tratamientos SCDE y SCDP respectivamente. Por otro lado, pese a la compensación para el mantenimiento de la alcalinidad total a 130 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ en los tratamientos que incluyeron el SBF, aunque de forma interdiaria, la fluctuación de los valores registrados estuvo comprendida en un rango de 75,2 a 108,9 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ y 84,5 a 124,3 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ para los tratamientos SBDE y SBDP respectivamente.

4.2.8. Nitrógeno amoniacal total

En la Figura 14 a, se muestran los valores promedio obtenidos para el Nitrógeno amoniacal total (NAT) los cuales fueron superiores para los tratamientos que incluyeron el sistema SC. Rangos de NAT de 3,4 a 8,2 mg.L⁻¹ y 3,4 a 9,2 mg.L⁻¹ fueron registrados para los tratamientos SCDE y SCDP respectivamente a diferencia de los registrados para los tratamientos SBDE y SBDP (2,5 a 5,0 mg.L⁻¹ y 2,4 a 5,5 mg.L⁻¹ respectivamente).

El nitrógeno amoniacal total (NAT) está constituido por las sumas de NH_3 y NH_4 (Forma no ionizada tóxica y forma no ionizada relativamente no tóxica, respectivamente) (Soderberg 2017; Komer *et al.* 2001 citados por Crab *et al.* 2007), estas formas están en equilibrio en el agua y el mismo depende del pH (Lekang 2013) y en menor medida de la temperatura (Soderberg 2017). Aunque ambos compuestos pueden ser tóxicos para los peces (NH_3 y NH_4), el amonio no ionizado es la forma más tóxica atribuido a que no posee carga y es liposoluble, en consecuencia, atraviesa más fácilmente membranas biológicas que el ion cargado e hidratado como lo es el amonio (NH_4^+) (Körner *et al.* 2001).

Para la primera semana de cultivo se registró diferencias significativas solo para una variable principal (sistema de cultivo), se registraron niveles de 4,79 y 2,69 mg.L⁻¹ de NAT para los tratamientos que incluyeron SC y SBF respectivamente. Para la segunda semana, las diferencias significativas estuvieron en ambas variables principales (dieta y

sistema de cultivo) y también existieron efectos de interacción. Los tratamientos con una DP alcanzaron niveles de 4,5 mg.L⁻¹ de NAT frente a los 3,78 mg.L⁻¹ de NAT alcanzados por los tratamientos con DE. Según el tipo de sistema, los tratamientos con SC alcanzaron niveles de 5,16 mg.L⁻¹ de NAT frente a los 3,21 mg.L⁻¹ de NAT alcanzados por los tratamientos con SBF. Los efectos de interacción se registraron entre todos los tratamientos a excepción de los tratamientos SBDE y SBDE que no presentaron diferencias significativas entre si (3,23 y 3,01 mg.L⁻¹ de NAT). Similar a la segunda semana, en la tercera semana se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) tanto en las variables principales (dieta y sistema) mientras que en asociación con las secundarias solo se registró diferencias significativas entre el tratamiento SCDP frente a SCDP, SBDE y SBDE (5,45 mg.L⁻¹ de NAT frente a 3,85; 3,26 y 3,13 respectivamente).

De la quinta hasta la séptima semana se registraron diferencias significativas solo entre una de las variables principales (sistema de cultivo), mientras que para la octava semana se registraron diferencias significativas entre las dos variables principales y además cuando interaccionaron con las variables secundarias; solo no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos SBDE y SBDE que alcanzaron niveles de 2,46 y 2,38 mg.L⁻¹ de NAT respectivamente.

Los mayores valores de NAT registrados, coincidieron con ligeros incrementos en las temperaturas, disminución del oxígeno disuelto, cambio en la tasa de alimentación mas no en la frecuencia y mayores índices de conversión que podrían señalar un menor aprovechamiento de la dieta que pudieron devenir en incrementos del NAT.

En los tratamientos con SC las renovaciones del medio de cultivo del 40 por ciento en estos picos de NAT, según las otras variables antes descritas, resultaron al parecer insuficientes. Los mayores valores obtenidos en los tratamientos con SC fueron distintos a los obtenidos con SBF, y aunque este último provee una más rápida inmovilización del amonio (Hargreaves 2006 citado por Crab *et al.* 2007), los registros observados pudieron estar relacionados a la caída de los VF donde si tiene incidencia directa una disminución del oxígeno disuelto. Finalmente, el incremento al 50 por ciento de las renovaciones de agua para los tratamientos con SC y el incremento del VF con mejores tenores de oxígeno disuelto en aquellos con SBF, redujeron los niveles de NAT para el cultivo de tilapia.

4.2.9. Nitritos

Los valores promedio de nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$), como se observan en la Figura 14 c, fueron casi de 1,5 veces mayores en los tratamientos que incluyeron el SBF ($1,34 \pm 1,19$ y $1,74 \pm 1,71 \text{ mg.L}^{-1}$ de $\text{NO}_2\text{-N}$ para los tratamientos SBDE y SBDP respectivamente) frente a lo registrado para los tratamientos SCDE y SCDP ($0,56 \text{ mg.L}^{-1}$ en promedio). Para todos los tratamientos, indistinto del sistema y la dieta empleada, las concentraciones fueron disminuyendo desde el inicio del experimento hacia el final de la tercera semana. A inicios de la cuarta semana se incrementaron las concentraciones, aunque de forma distinta para los tratamientos que compartieron sistemas de cultivo. Los tratamientos con SC alcanzaron concentraciones de $0,93$ y $1,28 \text{ mg.L}^{-1}$ (SCDE y SCDP respectivamente), mientras que los tratamientos con SBF alcanzaron mayores concentraciones pero en tiempos distintos. Un incremento de los nitritos puede estar asociado por diferentes causas como la baja relación C:N y bajo redox (Avnimelech 2012).

Los mayores valores alcanzados corresponden en principio a una baja en los tenores de oxígeno ya que se observa una similar tendencia entre los tratamientos que incluyeron el SC y aquellos con SBF, complementariamente y en especial para los tratamientos con SBF los niveles bajos de alcalinidad, disminución del pH y recuperación del volumen de floc incidieron en el aumento de los nitritos. El tratamiento SBDE registró $4,41 \text{ mg.L}^{-1}$ como mayor valor de $\text{NO}_2\text{-N}$ hacia finales de la quinta semana, donde se registró en consecuencia y como promedio semanal, mayor índice de conversión alimenticia (ICA) y menor tasa específica de crecimiento (TEC) frente a los demás tratamientos; mientras que los $4,56 \text{ mg.L}^{-1}$ fue obtenido por el tratamiento SBDP pero hacia finales del sexta semana, donde se registró la menor concentración de oxígeno disuelto como promedio semanal para todos los tratamientos y a los largo de todas las semanas del período experimental.

Hacia el final del experimento las concentraciones de $\text{NO}_2\text{-N}$ disminuyeron, registrándose valores promedio de $0,205$ y $0,60 \text{ mg.L}^{-1}$ como promedio semanal para los tratamientos con SC y SBF respectivamente, donde se registró y para todos los tratamientos mayor temperatura, mejor estabilidad del oxígeno disuelto, mejor estabilidad del pH y mayores valores de VF para los tratamientos con SBF específicamente como promedios semanales.

4.2.10. Nitratos

Los valores registrados para los $\text{NO}_3\text{-N}$, como se observa en la Figura 14 d, siguieron tendencias similares para aquellos tratamientos con igual sistema de cultivo e indistintamente de la dieta. Los tratamientos SCDE y SCDP partieron con 19,78 y 18,44 mg.L^{-1} , y siempre con tendencia a la baja, finalizando con 14,50 y 12,67 mg.L^{-1} respectivamente. A diferencia de estos últimos, los tratamientos SBDE y SBDEP, partieron con concentraciones de 69,89 y 71,50 mg.L^{-1} respectivamente y hacia fines de la quinta semana de cultivo alcanzaron picos de concentraciones de 176,33 y 157 mg.L^{-1} para luego mantener una tendencia a la baja y alcanzar hacia el final del experimento una concentración de 123,33 y 118,5 mg.L^{-1} .

La reducción de los nitritos hasta la tercera semana, el incremento de los nitratos indicó que la captura de N a través de la tasa de nitrificación o la asimilación bacteriana heterotrófica siguieron patrones normales, apoyados en una mayor estabilidad del VF, mayor concentración y estabilidad del oxígeno disuelto y la temperatura. A inicios de la cuarta semana, el registro de los incrementos de la concentración de nitratos persiguen la misma tendencia en simultáneo que los nitritos específicamente en aquellos sistemas que compartieron el SBF, lo cual podría indicar, y debido a la velocidad de transformación, que la captura del N inorgánico fue en su mayoría por la actuación de bacterias nitrificantes y una menor participación de bacterias heterotróficas, considerando que la asimilación de N y la nitrificación tienen lugar en todos los SBF (Browdy *et al.* 2012), donde la disminución de las temperaturas en el cultivo pudo repercutir sobre la acción de la biomasa microbiana.

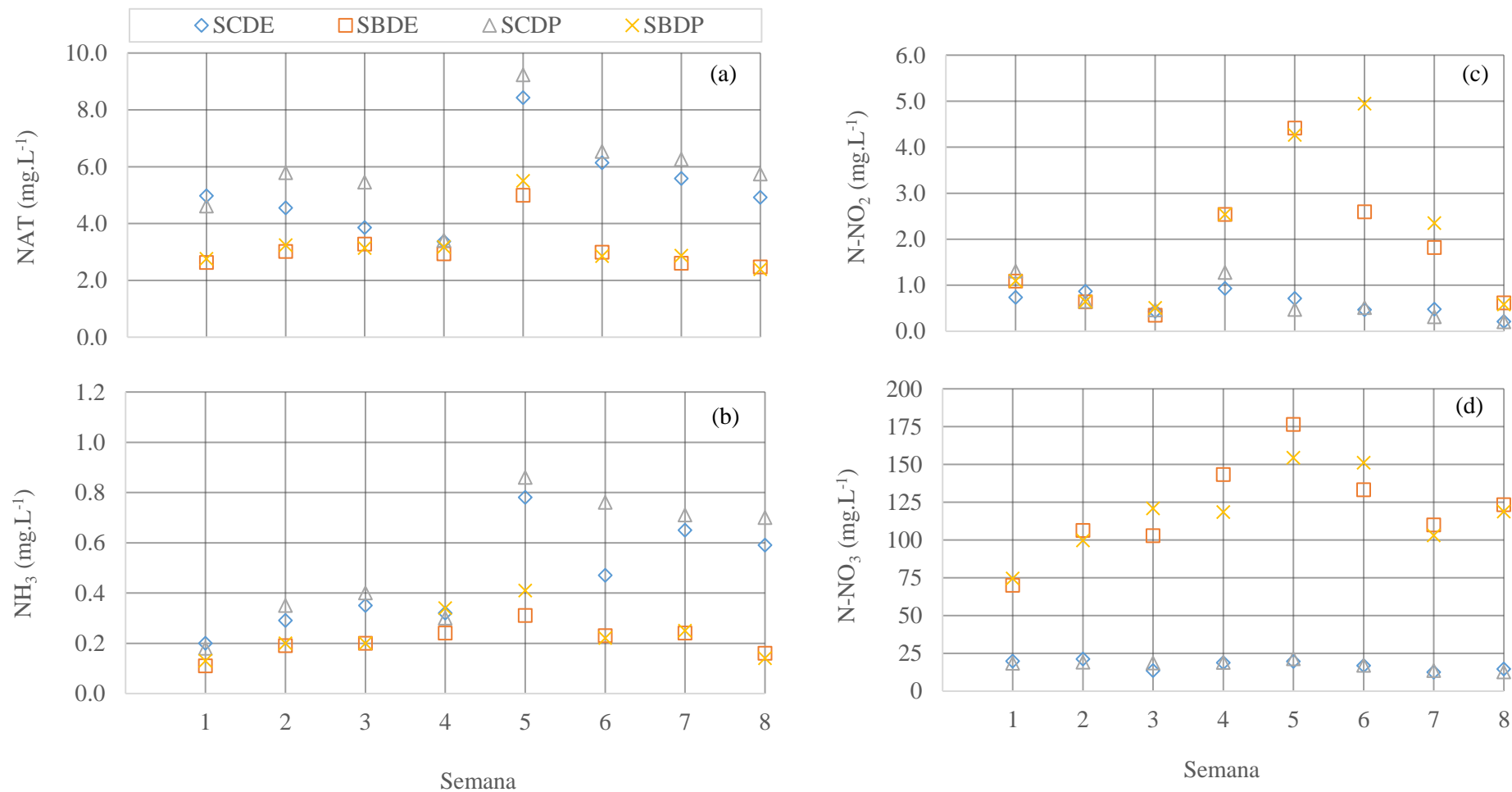


Figura 10: Variación promedio semanal de la concentración de nitrógeno amoniacal total (a), amoniacado (b), nitritos (c) y nitratos (d) según tratamiento (n=12) durante 56 días de experimento en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica.

Para la quinta semana, el incremento de las concentraciones de los nitratos siguió la misma tendencia que en la cuarta semana para los tratamientos con SBF pero con mayor notoriedad para el tratamiento SBDE, donde la inestabilidad de la temperatura, reducción del VF y una ligera disminución de la concentración del oxígeno disuelto se hicieron presentes. Pese a haber intentado mantener un alto ratio C:N (15), no se alcanzó lo descrito por (Luo *et al.*, 2013 citados por Luo *et al.*, 2014) quienes manifiestan que una alta relación C:N, puede inhibir el proceso de nitrificación haciendo que los nitratos sean tomados por bacterias.

En el caso de aquellos tratamientos con SC, no se observó la acumulación de nitrato debido a las renovaciones, mientras que para aquellos tratamientos con SBF se observa una acumulación con una tendencia creciente y similar hacia finales de la quinta semana donde se observa el mayor pico, para el tratamiento SBDE, y luego una tendencia a la baja en las concentraciones que podría indicar, y en este período, un menor grado de nitrificación (Kamilya *et al.* 2017), o una reducción de los niveles de nitrato en SBF por el ratio C:N manejado. Xu *et al.* (2016), mencionan que, con un alto ratio C:N (de 15 a 18), las concentraciones de nitratos se reducen, infiriendo que la producción de bacterias heterotróficas es la principal vía de eliminación de amoníaco.

4.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DEL CULTIVO

4.3.1. Crecimiento

a. Peso final, incremento de peso y biomasa producida

En la Tabla 15, se observa que no existieron diferencias significativas en los pesos finales alcanzados, el incremento en peso y la biomasa final producida entre tratamientos. Los mejores tratamientos (SBDP y SCDE) no solo difirieron en dietas sino también en cuanto a sistema de cultivo. El tratamiento SBDP alcanzó el mayor peso final, como se observa en el anexo 15, con $72,56 \pm 8,19$ g, siendo este superior en 0,26; 5,15; y 5,40 por ciento para los tratamientos SCDE, SCDP y SBDE respectivamente.

Para el caso de la ganancia de peso, como se observa en la Figura 15 a, el tratamiento SCDE fue superior con $47,98 \pm 3,67$ g, frente a los $46,74 \pm 8,80$ g, $44,36 \pm 2,43$ g y $43,08 \pm 3,86$ g obtenidos por los tratamientos SBDP, SCDP y SBDE respectivamente.

Finalmente, la biomasa producida, como se observa en la Figura 15 c, fue mayor para el tratamiento SCDE con $1,63 \pm 0,12$ kg, superior en más del 10,4 por ciento al tratamiento SBDE quien resultó con la menor biomasa producida ($1,46 \pm 0,13$ kg).

Los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Aguilar *et al.* (2010), quienes obtuvieron desempeños productivos de tilapias hasta los 118 g sin verse afectado por el tipo de procesamiento de la dieta (extruída y peletizada). Por el contrario, Baccarin (2002) tuvo efecto sobre el rendimiento productivo de tilapia del Nilo, según el tipo de procesamiento de la dieta, obteniendo mayores producciones con dietas peletizadas que extruídas (10 por ciento más en los kg.Ha^{-1} producidos) hacia el final de un ciclo productivo de tilapias de 339 a 379 g; aunque los primeros 44 días de cultivo (con tilapias entre los 30 y 150 g), el crecimiento no se vió afectado por el tipo de procesamiento de la dieta empleada. Por su parte Swick (2001), menciona que al emplear dietas flotantes en cultivo de tilapias en jaulas flotantes mejora el desempeño en kg.m^{-3} hasta en un 5 por ciento, concluyendo que el uso de la misma, frente a una dieta de rápido hundimiento, no solo da un crecimiento superior si no también un mejor performance económico.

Cruz y Ridha (2001) citados por Kamarudin *et al.* (2014), reportaron que juveniles de tilapia alimentados con extruídos que se hunden tienen significativamente mejor crecimiento y conversión alimenticia comparados con aquellos alimentados con extruídos flotantes. Finalmente, Massamitu *et al.* (1998) concluyen que una dieta extruída genera mayor crecimiento (5,2 por ciento más) mientras una dieta peletizada es más eficiente en cuanto al costo por kilogramo de peso ganado (hasta un 25,5 por ciento) en la fase final del cultivo de tilapias revertidas.

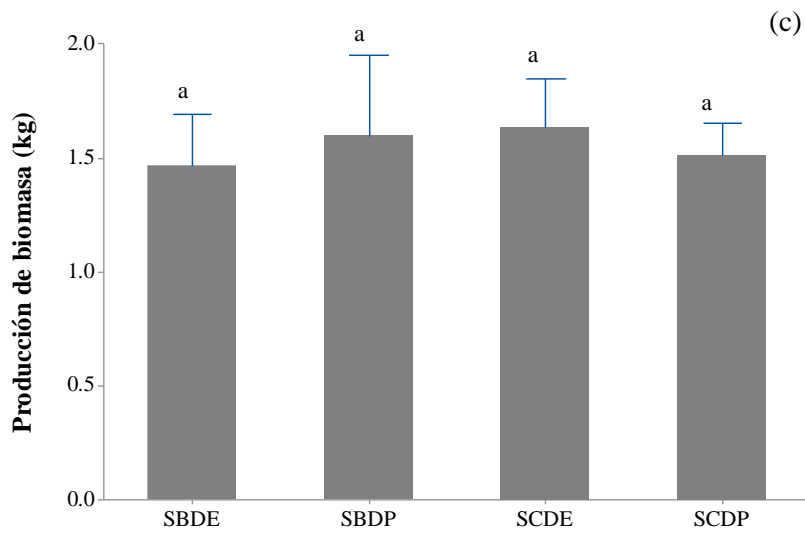
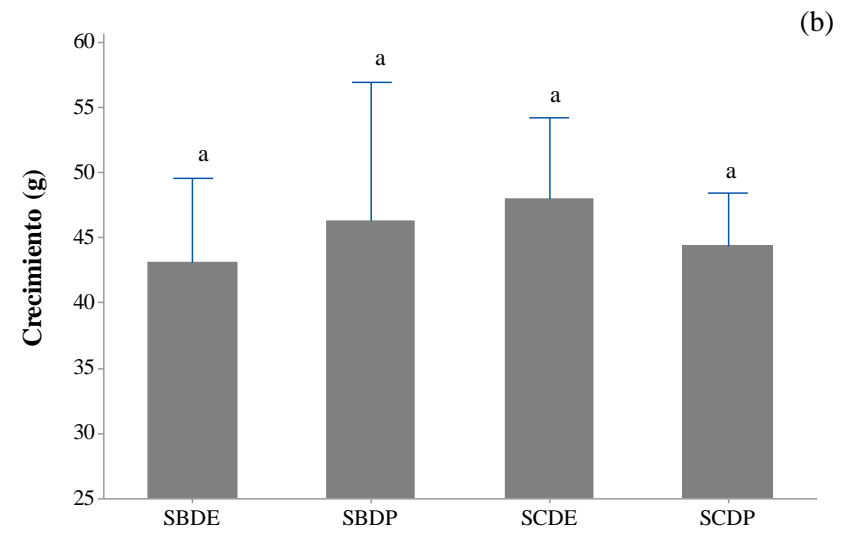
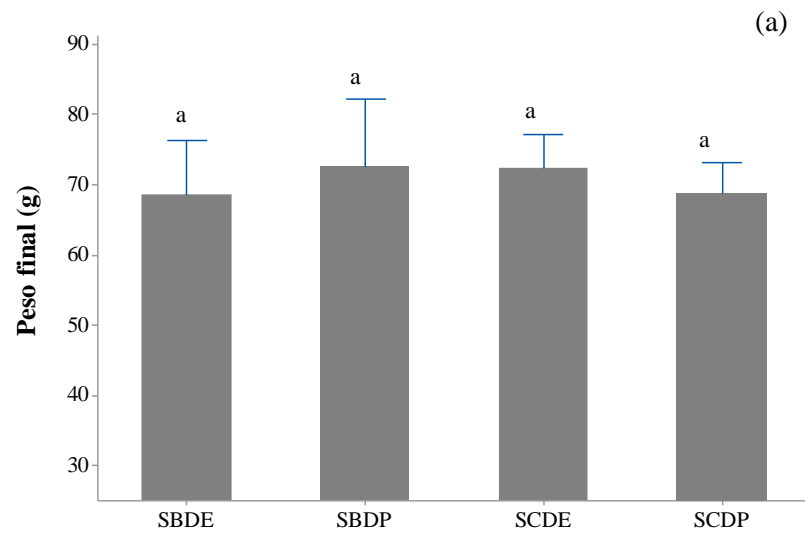


Figura 11: Peso final (a), crecimiento (b) y producción de biomasa (c) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

b. Ganancia de peso diario y tasa específica de crecimiento

Las mayores ganancias de peso diarias, como se observa en la Figura 16 a, sin diferencias significativas, se registraron para los tratamientos SCDE y SBDP con $0,84 \pm 0,06 \text{ g.d}^{-1}$ y $0,82 \pm 0,15 \text{ g.d}^{-1}$ respectivamente, siendo estas superiores hasta en 10,7 por ciento respecto a los tratamientos SCDP ($0,77 \pm 0,04 \text{ g.d}^{-1}$) y SBDE ($0,75 \pm 0,06 \text{ g.d}^{-1}$). Las ganancias de peso diarias obtenidas fueron superiores a las reportadas como máximas por Bowerbank (2015) con tilapias nilóticas ($0,69 \text{ g.d}^{-1}$) en SBF, mientras que Bru (2016) reporta ganancias diarias de peso en el cultivo de tilapia con 24 por ciento de proteína de origen vegetal en SBF de $0,7 \text{ g.d}^{-1}$, valor que fue similar a los menores valores obtenidos en el experimento. Las tilapias tienen altas tasas de crecimiento y supervivencia que producen una rotación rápida en cultivo (Bhujel 2014), tasas de crecimiento y producción neta que pueden ser incrementadas con el uso del SBF (Long *et al.* 2015).

La mayor tasa específica de crecimiento, como se observa en la Figura 16 b, se registró para el tratamiento SCDE con $1,91 \pm 0,12 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$ seguida del tratamiento SBDP con $1,81 \pm 0,10 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$, mientras que la menor la obtuvo el tratamiento SBDE con $1,73 \pm 0,06 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$, sin que ninguna de estas sean significativas entre sí. Long *et al.* (2011) obtuvieron mejores tasas de crecimiento específico en juveniles de tilapia en SB que en sistemas con renovación de agua ($33\% \cdot \text{d}^{-1}$), con dieta extruída de 46% de proteína bruta alcanzó los 2,04 y $1,92 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$ en SB y SC respectivamente.

c. Factor de condición

Aunque no fueron significativamente diferentes, como se observa en la Figura 17, los tratamientos que compartieron el sistema de cultivo SBF obtuvieron valores para el factor de condición (K) superiores en hasta un 4 por ciento respecto a aquellos con SC. Se obtuvieron valores de K de hasta $1,90 \pm 0,009$ para el tratamiento SBDP, seguido del tratamiento SBDE con $1,86 \pm 0,03$, mientras los valores más bajos fueron para los tratamientos que incluyeron el SC ($1,81 \pm 0,01$ para SCDP y $1,80 \pm 0,01$ para SCDE).

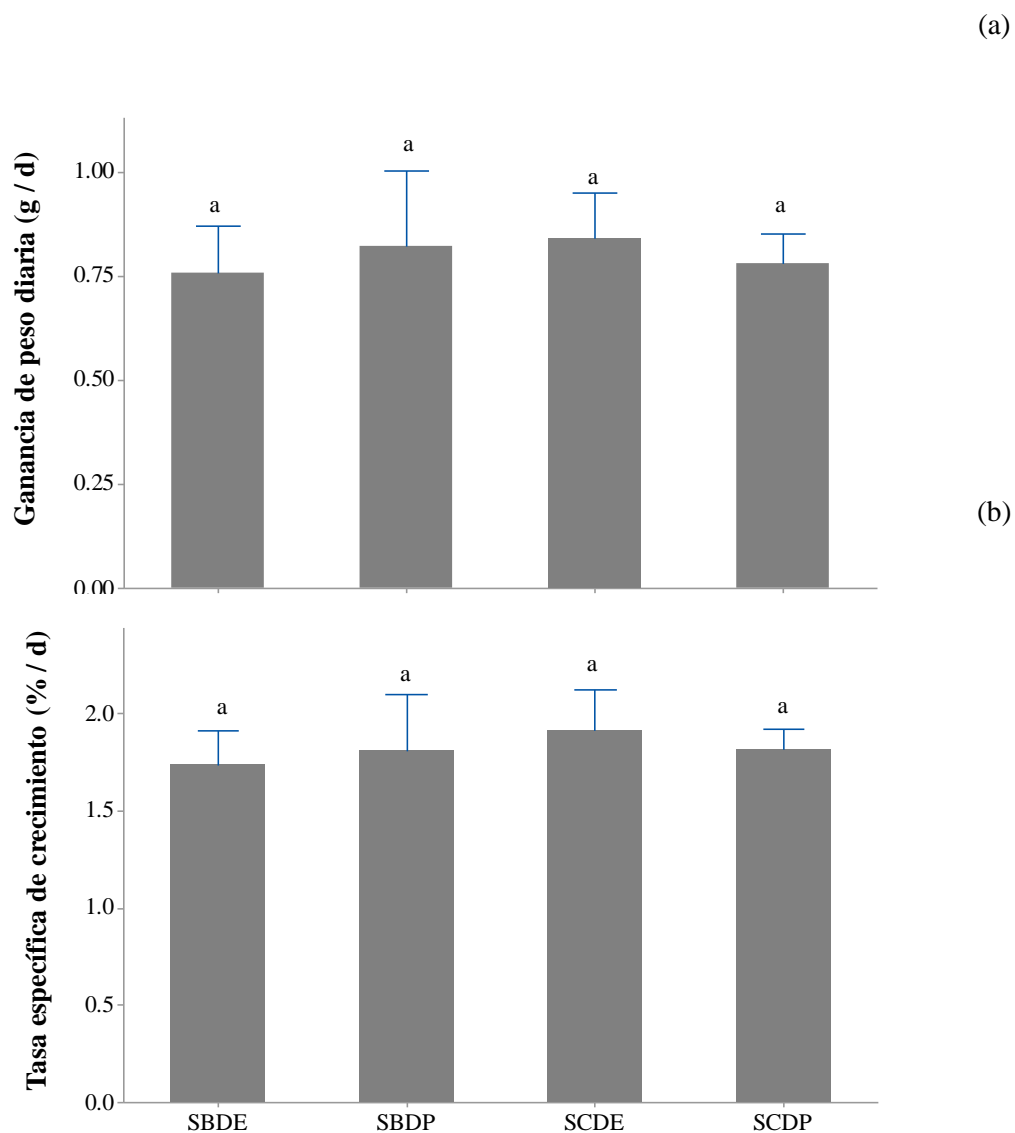


Figura 12: Ganancia de peso diaria (a) y tasa específica de crecimiento (b) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

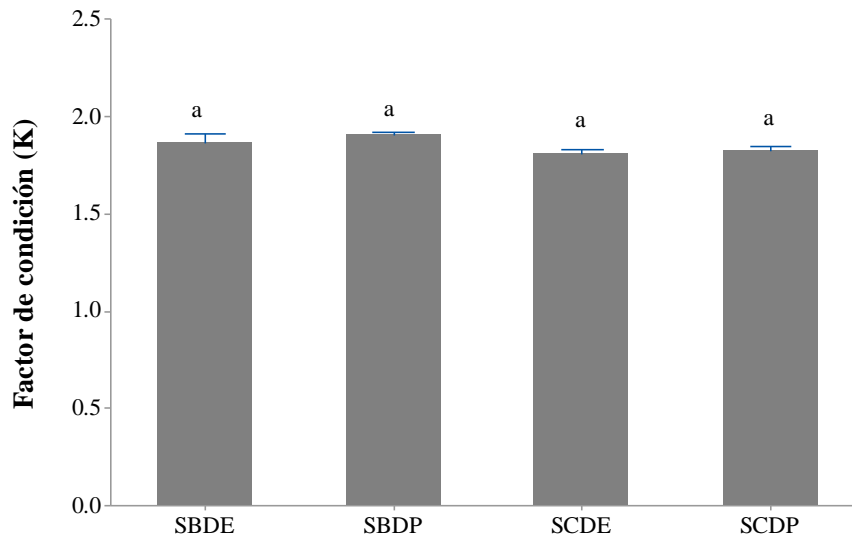


Figura 13: Factor de condición (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Aguilar (2010), en juveniles de tilapia nilótica, obtuvo valores para K de $1,81 \pm 0,02$ y $1,83 \pm 0,02$ sin diferencias significativas con el uso de dietas extruídas y peletizadas respectivamente. Los valores obtenidos para K podrían considerarse normales, considerando que valores de K inferiores a 1,8 indican pobres condiciones de cultivo y superiores a 2,0 indican que están en un buen estado fisiológico según la *Fish Breeding Association* (2003) citado por Crab *et al.* (2009) en experiencias con híbridos de tilapia *O. niloticus* x *O. aureus*) en Israel. Por otro lado, Timmons *et al.* (2009) consideran que el valor de K para tilapia (> 1 g) debe estar en un rango de 2,08 a 2,50, mientras que Crab *et al.* (2009), al obtener valores para K de 2,2, en alevinos y juveniles de tilapias en SB, consideraron que las mismas se mantienen en buenas condiciones con mínimos síntomas de estrés. Finalmente, en tilapia nilótica, variedad chitalada, Cedano-Castro *et al.* (2013), al alcanzar un valor de K de 2,3, consideraron en buen estado de salud los ejemplares de 110 g que alcanzaron los 826 g en SBF con dieta extruída de 24 por ciento de proteína.

d. Coeficiente térmico de crecimiento

El coeficiente térmico de crecimiento (CTC) como alternativa para estimar el crecimiento, puede variar según la especie, stock (genética), alimento, crianza, factores ambientales y otros (Cho 1990 citado por Alanärä *et al.* 2014).

Como se observa en la Figura 18, se obtuvieron diferentes CTC entre tratamientos con distinto sistema de cultivo y entre tratamientos con diferentes dietas. A partir de los sistemas de cultivo, los tratamientos con SB obtuvieron los valores más bajos ($0,0017 \pm 0,0001$ y $0,0018 \pm 0,0002$ para los tratamientos SBDE y SBDP respectivamente); mientras que, a partir de las dietas suministradas, la dieta extruída alcanzó el mayor valor ($0,0020 \pm 0,0001$) pero al emplearse sólo en el sistema semicerrado (Figura 18).

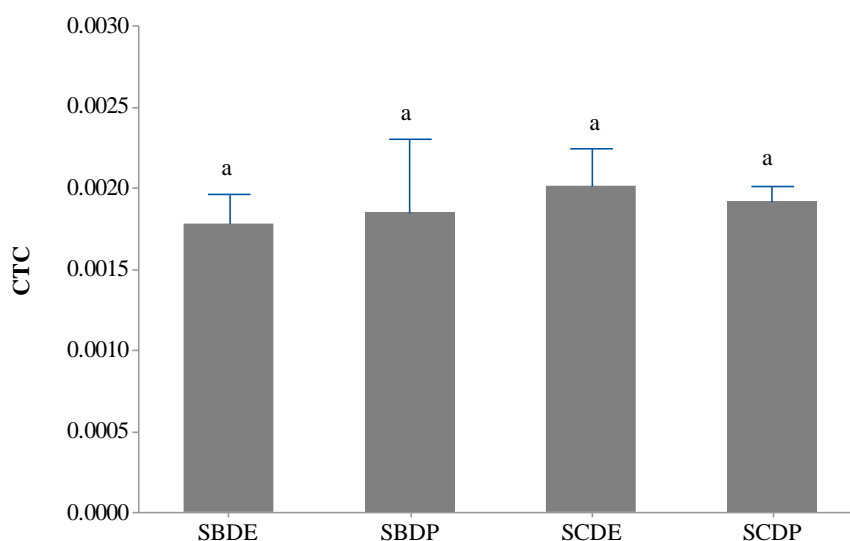


Figura 14: Coeficiente térmico de crecimiento (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Los valores obtenidos fueron superiores a los descritos por Kaushik (1998) quien propuso, y según condiciones genotípicas, ambientales y de cultivo, un rango de CTC de 0,0010 a 0,0014 para tilapia. Por otro lado, Kang'ombe y Brown (2008) obtuvieron valores de CTC de 0,0025; 0,0018; 0,0028 y 0,0024 en alevinos de tilapia rendalli cultivados a 0, 5, 10 y 15 ‰ de salinidad. Así mismo, Aguilar *et al.* (2010) registraron

para tilapia un rango de CTC de 0,0020 hasta 0,00043 para un rango pesos de 40 g hasta los 606 g. Los menores valores de CTC obtenidos en el experimento fueron similares a los máximos obtenidos por Aguilar *et al.* (2010) quienes en un rango más amplio de pesos y alimentados con dietas extruída y peletizada, obtuvieron CTC de 0,001709 y 0,001657 según las dietas respectivamente, tendencia que fue similar a lo obtenido en los tratamientos con SC pero diferente a los tratamientos con SBF, aun considerando las menores fluctuaciones de temperatura en estos últimos siendo esta una variable muy influyente en la obtención del coeficiente. Por tanto, los valores obtenidos pueden considerarse también para estimaciones futuras referidas a crecimiento considerando las condiciones de cultivo, más aun considerando que estas diferencias en los rangos de CTC podrían deberse a que el CTC para un stock de peces dado puede ser relativamente estable alrededor de un rango de pesos corporales y temperaturas (Alanärä *et al.* 2014).

4.3.2. Conversión alimenticia

a. Índice de conversión alimenticia (ICA), eficiencia de conversión alimenticia y tasa de eficiencia proteica

La eficiencia de la utilización del alimento por los peces se reporta usualmente como la eficiencia de conversión alimenticia o la tasa de conversión alimenticia, evaluaciones que son hechas sobre la base del peso seco del alimento y el peso vivo de los peces (Glencross *et al.* 2007). La medición del peso ganado, combinado con la medición de la cantidad de alimento utilizado para producir la ganancia de peso, son utilizados para determinar la tasa de conversión alimenticia (Goddard 1996). Los menores índices de conversión alimenticia, como se observa en la Figura 19 a, se obtuvieron en tratamientos de diferente dieta y sistema. Para el tratamiento SCDE el ICA obtenido fue $1,56 \pm 0,08$, seguido del tratamiento SBDP con $1,69 \pm 0,23$.

Han sido reportados valores de ICA por debajo de 1 para juveniles de tilapia, aunque generalmente el rango está entre 1,2 y 1,5 en peces alimentados con dietas preparadas (De Silva y Anderson 1995 citado por Ogunji *et al.* 2008). Por su parte, Watanabe *et al.* (2002) señalan que en el cultivo de tilapias en sistema ODAS (*Organic detritus algae soup*) se obtiene un ICA de 1,3. El tratamiento SCDE obtuvo un ICA menor hasta en un 9 por

ciento respecto a SCDP, mientras que el tratamiento SBDP alcanzó un ICA menor hasta de un 8 por ciento respecto al SBDE. Aunque no se obtuvieron significativas reducciones en los ICA en los tratamientos con SBF, se pudo apreciar que la mejor compatibilidad se da con la dieta peletizada. Los resultados obtenidos difieren a lo obtenido por Long *et al.* (2015) quienes obtuvieron en tilapias GIFT, con dieta extruída, un ICA menor (17,5 por ciento menos) en SBF que en sistema con renovación de agua. Aguilar *et al.* (2010) obtuvo un mejor ICA con dieta extruída en juveniles tilapia (7,4 por ciento menor) en sistema de recirculación, mientras que Luo *et al.* (2014) obtuvo un ICA 18 por ciento menor en tilapias cultivadas en SBF que en SRA con dieta extruída.

Los tratamientos SBDE y SCDP resultaron con los mayores ICA que significaron menores eficiencias de conversión ($54,37 \pm 1,40$ y $58,27 \pm 2,53$ por ciento respectivamente), como se observa en la Figura 19 b, y menores tasas de eficiencia proteica ($1,36 \pm 0,03$ y $1,45 \pm 0,06$ por ciento respectivamente), como se observa en la Figura 19 c; aunque estadísticamente no fueron diferentes para los tres indicadores antes mencionados. Estas tasas de eficiencia proteica, aun siendo las más bajas, resultaron muy similares a las obtenidas por Labib y Ha (2012), en el cultivo de tilapias también con dietas de 40% de inclusión proteica, las cuales estuvieron en un rango de 1,35 a 1,44. Mientras que Aguilar *et al.* (2014) reportaron mayores TEP (> 3) en juveniles de tilapia con el uso de dietas extruídas y en un rango de pesos de 40 y 120 g aproximadamente. Finalmente, Zapata (2014) reportó mayor retención proteica, en el cultivo de tilapia con SBF, con ratios C:N de 10 y 15 (1,82 y 1,58 respectivamente), este último muy similar a lo registrado en el experimento considerando el ratio C:N empleado (15), concluyendo que el aumento de la tasa de eficiencia proteica es debido a que el SBF proporciona nutrientes esenciales, como las proteínas, aunque en nuestro experimento la dieta reprocesada tuvo una mayor TEP en SBF al igual que la DE en sistema SC. Un resumen de los valores obtenidos referidos a parámetros productivos se muestra en la Tabla 15.

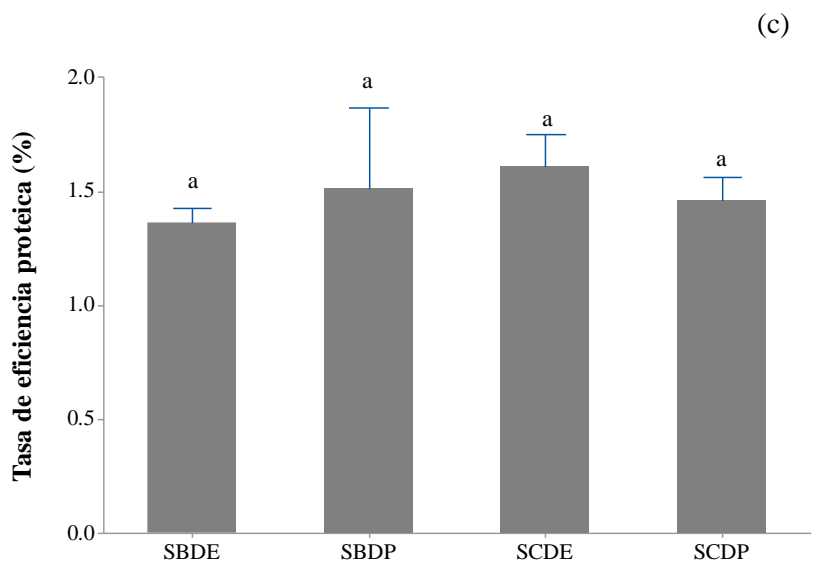
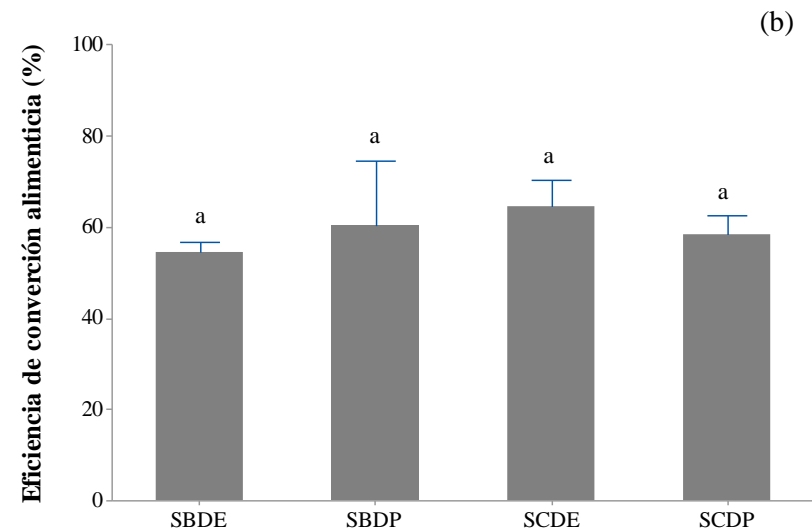
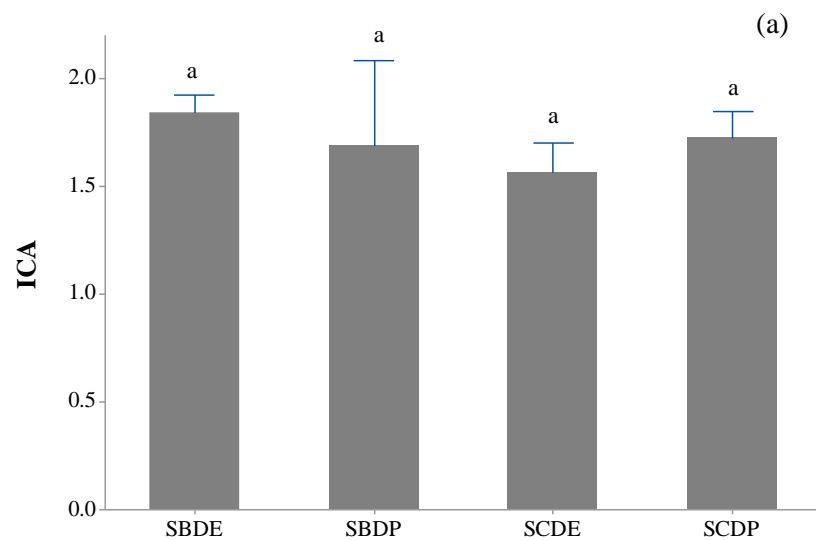


Figura 15: Índice de conversión alimenticia (a), eficiencia de conversión alimenticia (b) y tasa de eficiencia proteica (c) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 15: Parámetros productivos (\pm desviación estándar) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica, hacia el final de 56 días de experimento, en los tratamientos (n=12). Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) en sistema semicerrado y biofloc.

Parámetro	SCDE	SCDP	SBDE	SBDP
Peso inicial (g)	24,39 \pm 0,80 ^a	24,46 \pm 0,60 ^a	25,55 \pm 1,56 ^a	25,83 \pm 0,43 ^a
Densidad inicial (kg.m ⁻³)	2,37 \pm 0,07 ^a	2,37 \pm 0,06 ^a	2,48 \pm 0,15 ^a	2,51 \pm 0,04 ^a
Peso final (g)	72,38 \pm 2,87 ^a	68,82 \pm 2,63 ^a	68,64 \pm 4,56 ^a	72,56 \pm 5,80 ^a
Densidad final (kg.m ⁻³)	7,03 \pm 0,27 ^a	6,68 \pm 0,25 ^a	6,67 \pm 0,44 ^a	7,05 \pm 0,56 ^a
Ganancia de peso (g)	47,98 \pm 3,68 ^a	44,36 \pm 2,43 ^a	43,08 \pm 3,86 ^a	46,29 \pm 6,27 ^a
Supervivencia (%)	100	100	100	100
Tasa de crecimiento (g.d ⁻¹)	0,84 \pm 0,06 ^a	0,77 \pm 0,04 ^a	0,75 \pm 0,06 ^a	0,82 \pm 0,11 ^a
Tasa específica de crecimiento (%.d ⁻¹)	1,91 \pm 0,13 ^a	1,81 \pm 0,06 ^a	1,73 \pm 0,11 ^a	1,81 \pm 0,17 ^a
Índice de conversión alimenticia	1,56 \pm 0,08 ^a	1,72 \pm 0,07 ^a	1,84 \pm 0,05 ^a	1,69 \pm 0,23 ^a
Coefficiente térmico de crecimiento	0,0020 \pm 0,0001 ^a	0,0019 \pm 0,00005 ^a	0,0018 \pm 0,0001 ^a	0,0018 \pm 0,0003 ^a
Tasa de eficiencia proteica	1,66 \pm 1,08	1,45 \pm 0,06	1,36 \pm 0,03	1,52 \pm 3,04
Eficiencia de conversión del alimento	64,10 \pm 4,40	58,27 \pm 2,53	54,37 \pm 1,40	59,27 \pm 8,38

4.3.3. Supervivencia

En todos los tratamientos dentro de las unidades de cultivo no se registró mortalidad alguna de peces. Sólo hacia el final del experimento y específicamente en la penúltima biometría se registró la pérdida de dos ejemplares, por escape de los mismos hacia el sistema de desagüe, pertenecientes al tratamiento SBDE y SCDP respectivamente.

4.4. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE COSTO-EFECTIVIDAD PARCIAL CON LAS DIETAS Y SISTEMAS DE CULTIVO

4.4.1. Consumo de energía

a. Consumo de energía para aireación

El mayor consumo de energía para la aireación en función de la biomasa producida, como se observa en la Figura 21, lo obtuvieron los tratamientos con SBF ($1,25 \pm 0,17$ y $1,34 \pm 0,13$ kW.kg⁻¹ para los tratamientos SBDP y SBDE respectivamente), siendo superiores los mismos hasta en un 80 por ciento en promedio respecto a lo consumido por los tratamientos con SC ($0,69 \pm 0,06$ y $0,75 \pm 0,04$ para los tratamientos SCDE y SCDP respectivamente). Así mismo, aunque no significativamente, en los tratamientos con SBF, el uso de la dieta extruída registró un mayor consumo de energía (7,2 por ciento más respecto al tratamiento SBDP), a diferencia de los tratamientos con SC donde el uso de la dieta peletizada registró un mayor consumo (8,7 por ciento más respecto al tratamiento SCDE).

Las tilapias pueden sobrevivir a niveles de oxígeno disuelto muy bajos (0,6 mg.L⁻¹) aunque por períodos cortos (Soderberg 2017). A niveles intensivos, con producciones altas (10 000 kg.Ha⁻¹) no solo se consideran altas renovaciones diarias de agua (5 a 15 por ciento del volumen total) sino también demandas de energía para la aireación de hasta 15 Kw.Ha⁻¹ (Rakocy 2005 citado por Soderberg 2017). Para el caso de sistemas que reciclan en algún grado el uso del agua y otros componentes se han reportado, y con densidades de carga media (27 kg.m⁻³) y alta (40 kg.m⁻³) cultivo en tanques con consumos de aireación de 10 a 22 W.m⁻³ (Muir *et al.* 2000). Liang *et al.* (2014) plantean que

estrategias de aireación intermitente en SBF pueden, permitir a las bacterias, asimilar los compuestos nitrogenados con igual eficiencia que en sistemas con aireación continuán reduciendo los costos de aireación hasta en un 50 por ciento aunque solo fueron experimentados a nivel de reactor y sin organismos en cultivo.

El consumo de energía promedio por la biomasa producida ($1,29 \text{ kW.kg}^{-1}$) registrados para los tratamientos con SBF, estuvieron por debajo de los $3,5$ a 4 kW.kg^{-1} descritos como requerimientos por Hargreaves (2013) y proporcionalmente fue menor a lo reportado por Luo *et al.* (2014), quienes obtuvieron un 100 por ciento más de consumo de energía ($22,44 \text{ kW.kg}^{-1}$) en tilapias cultivadas en SBF frente a aquellas cultivadas en sistema de recirculación (SRA) ($11,22 \text{ kW.kg}^{-1}$) además de un menor consumo de energía para aquellos que incluyeron una dieta extruída, sin llegar a ser significativo.

El control de los sólidos en suspensión, así como la reducción de finos presentes en las dietas pudieron repercutir en los consumos de energía, considerando que la DE resultó con una menor hidroestabilidad, dichas partículas (finos) resultan de difícil remoción y costo (Maigual *et al.* 2013). El consumo de oxígeno en SBF, en función de los requerimientos propios de sistema sumado a los de la especie en cultivo, suponen una mayor demanda de energía para aireación, más aún considerando la intensidad de la mezcla que también es trabajo del sistema de aireación (Hargreaves 2013).

b. Consumo de energía para calentamiento

Mantener la temperatura en rangos adecuados para la especie resultó en una mayor demanda de energía por kg de biomasa producida para los tratamientos que incluyeron el SBF como se observa en la Figura 21. Dentro de los tratamientos con SBF, el tratamiento SBDE registró el mayor consumo mientras que en aquellos tratamientos con SC el mayor consumo se registró para el tratamiento SCDP. El mayor consumo de energía para el calentamiento, y significativo, fue registrado para el tratamiento SBDE con $18,74 \pm 1,77 \text{ kW.kg}^{-1}$ que fue cerca de un 31,8 por ciento más que el menor consumo registrado ($14,22 \pm 0,40 \text{ kW.kg}^{-1}$ para SCDE). Los tratamientos con SBF, con concentraciones de sólidos de hasta 10 veces más que los tratamientos con SC, pueden experimentar mayor demanda de energía para el calentamiento probablemente por la constante y superior ganancia de sólidos, por su parte en el sistema SC la mayor demanda de energía para el calentamiento,

registrado para el tratamiento SCDE, podría estar asociado a una menor hidroestabilidad y pérdida de sólidos, de la DE, como se ha descrito en la Figura 9.

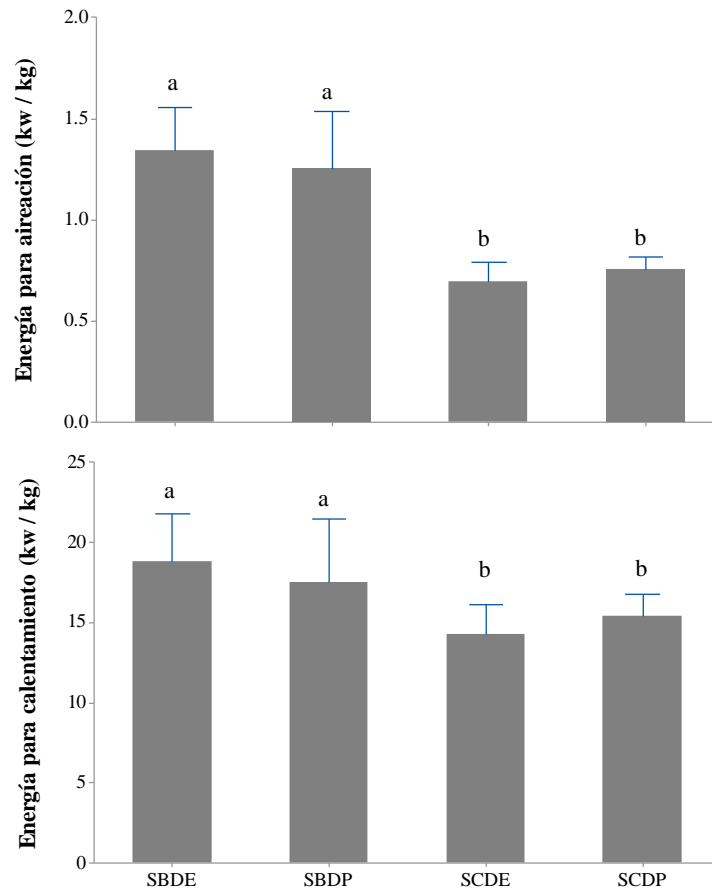


Figura 16: Consumo de energía eléctrica para calentamiento (arriba) y aireación (abajo) del medio de cultivo (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en función de la biomasa producida en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica. Los promedios que al menos comparten una letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

4.4.2. Consumo de agua

Como se observa en la Figura 22 a, los tratamientos que incluyeron el SC obtuvieron en promedio 3307 por ciento más consumo de agua frente a los que incluyeron el SBF ($0,15 \pm 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ consumidos por el tratamiento SBDP frente a los $5,11 \pm 0,27 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ demandados por SCDP). Aunque no fue estadísticamente significativo, y en función de las dietas, los tratamientos con DP registraron un menor consumo de agua solo en SBF,

mientras que, en los tratamientos con SC, el menor consumo de agua se registró con el suministro de la DE. El consumo de agua en los tratamientos con SCDP fue superior (7,8 por ciento) que en el tratamiento SCDE.

Browdy *et al.* (2012) consideran que, en sistemas intensivos, con cero o limitada renovación de agua el consumo de agua es menor a 1 m^3 por kilogramo de producción de peces, mientras que en un estanque convencional el consumo puede alcanzar los 43 m^3 por kg de peces. Por su parte, Hargreaves (2013), considera que la eficiencia de la utilización del agua en SBF es muy alta llegando a ser la misma cerca de $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, utilización que fue similar con los $0,15 \pm 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ obtenidos para el tratamiento SBDP frente a los $5,11 \pm 0,27$ demandados por SCDP (Figura 44).

Teniendo en cuenta el consumo de agua para las tilapias en el experimento en un rango de peso en cultivo de 25 a 70 g, este resultó ser menor hasta en más de un 90 por ciento frente a lo obtenido por Luo *et al.* (2014), quienes obtuvieron un consumo de agua en SBF de $1,67 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ para un rango de pesos de tilapia en cultivo de 25 a 167 g, mientras que Cedano *et al.* (2013) obtuvieron un consumo de agua de $0,0045 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ para cultivos de tilapias en un rango de peso de 110 a 826 g. Avnimelech *et al.* (2008) consideran que se necesitan de 2 a 10 m^3 por kg de peces producidos. Cedano *et al.* (2013) demandaron $0,045 \text{ m}^3$ por kg de tilapias. $0,2 \text{ m}^3$ de agua fueron requeridos para producir 1 kg de tilapia nilótica en SBF con y sin remoción de sólidos (Rakocy *et al.* 2000). El mínimo uso de agua para la producción de 1kg de tilapia es de $2,19 \text{ m}^3$ en sistemas de reciclado (Muir *et al.* 2011).

4.4.3. Consumo de melaza

Menos de 1,35 kg de melaza en promedio fueron demandados para producir un kilogramo de biomasa, como se observa en la Figura 22 b. Esta demanda de melaza para el mantenimiento de los tratamientos que incluyeron el SBF, fue ligeramente superior pero no significativa para el tratamiento SBDE ($1,39 \pm 0,32 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$), probablemente también asociado a la hidroestabilidad de la DE.

El uso de carbono como fuente de materia orgánica es esencial para el desarrollo de la comunidad microbiana en el SBF (Avnimelech 1999 citado por Gomes *et al.* 2016). Este soporte para el crecimiento y producción de biomasa microbiana (Martínez *et al.*, 2014),

puede verse afectado por las distintas fuentes de carbono orgánico empleados que afectan la estabilidad, estructura del floc (Hollender *et al.* 2002; Oehmen *et al.* 2004 citados por Wei *et al.* 2016) y la comunidad microbiana (Wei *et al.* 2016). Aunque existen diversas fuentes de carbono, la melaza ha sido empleada satisfactoriamente y ampliamente y probablemente por su bajo costo (Hollender *et al.* 2002; Oehmen *et al.* 2004 citados por Martínez *et al.* 2014), costo que determina su uso en la floculación biológica (Wei *et al.* 2016).

Luo *et al.* (2014) reportaron una reducción de más del 30 por ciento del consumo de la fuente de carbono (Acetato de Sodio) para la producción por kilogramo de tilapia en SBF ($0,9 \text{ kg.kg}^{-1}$) en comparación a lo obtenido en el experimento con el uso de melaza. Por otro lado, Kubitza (2011), en tilapias cultivadas desde los 32 g a los 255 g, apenas alcanzó a emplear 0,03 kg de fuente de carbono (residuo de fideos) por kg de tilapia producida (2,5 por ciento del total de sustrato carbonado, por kg de tilapia producida, empleado en nuestro experimento); mientras que Mansour y Esteban (2017) alcanzaron un mayor rendimiento productivo en juveniles de tilapias (kg.m^{-3}) en SBF empleando 0,86 y 0,87 kg de salvado de arroz y un subproducto de la molienda de trigo respectivamente por kg de tilapia producida, siendo estos valores apenas un 63 por ciento de los 1,35 kg de sustrato carbonado (melaza) por kg de tilapia producida en nuestro experimento.

Los distintos reportes y la reducción de las fuentes de carbono para la producción de biomasa de tilapias podrían deberse al manejo y la fuente de carbono, al considerar que dichas características pueden modificar respuestas del sistema y los parámetros productivos de la especie en cultivo (Ray y Lotz 2014), considerando que las distintas fuentes de carbono son empleadas de diversas formas, en términos de eficiencia, costo energético, velocidad y tipo de metabolito, en el crecimiento y producción de biomasa microbiana (Martínez *et al.* 2014); biomasa microbiana cuyas propiedades nutricionales pueden ser dinámicas y que conviene analizar entre otros factores en la nutrición de peces (Ekasari *et al.* 2010).

4.4.4. Consumo de bicarbonato de sodio

Como se observa en la Figura 22 c, el mantenimiento del sistema *buffer* en niveles cercanos a los $130 \text{ mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ para los tratamientos que incluyeron el sistema biofloc,

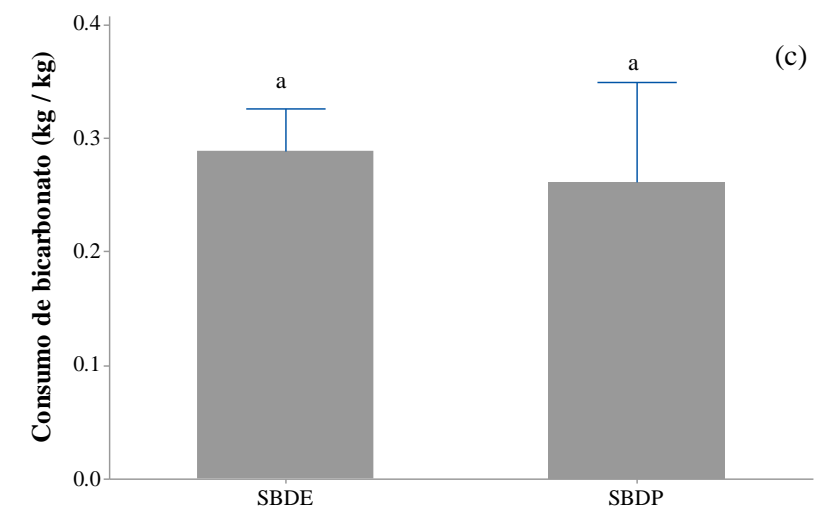
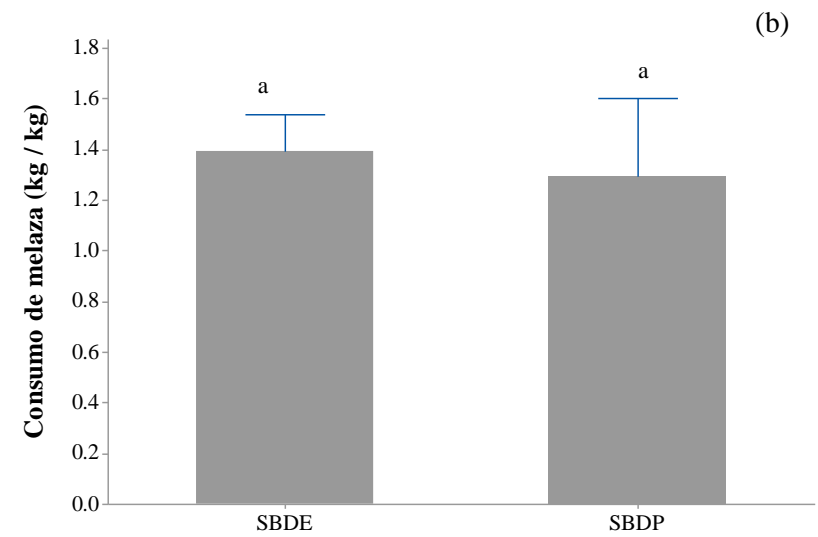
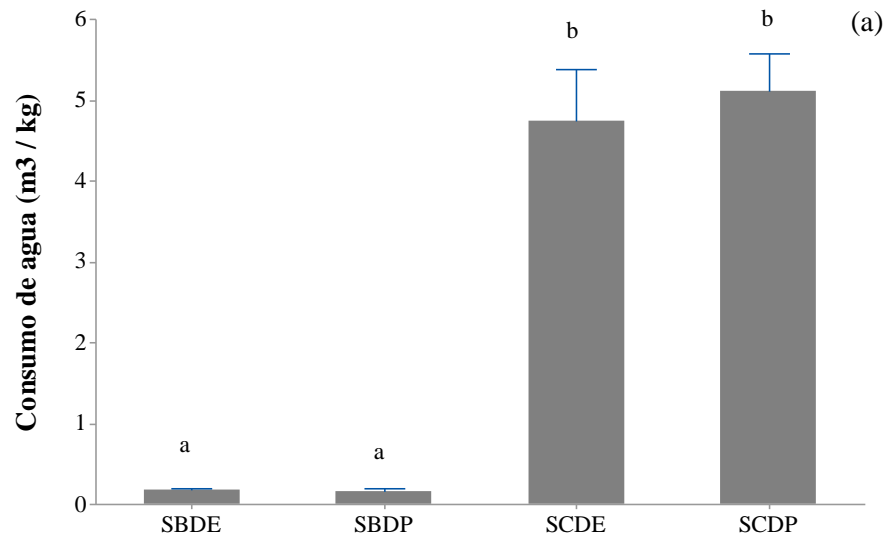


Figura 17: Consumo de agua (a), melaza (b) y bicarbonato de Sodio (c) (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en función de la biomasa producida, en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica, durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

demandaron diferentes, pero sin llegar a significativas, cantidades de bicarbonato de sodio. Esta demanda pudo ser mayor en los tratamientos con SBF considerando los resultados obtenidos en el análisis de la alcalinidad como parámetro de calidad de agua, donde solo se aplicó de forma intermitente y que según la determinación de la alcalinidad en las unidades experimentales resultaron insuficientes. Fueron empleados $0,29 \pm 0,02$ kg.kg^{-1} para el tratamiento SBDE frente a los $0,26 \pm 0,05$ kg.kg^{-1} empleados por el tratamiento SBDP para la producción de un kilogramo de biomasa.

La nitrificación consume más alcalinidad que el metabolismo heterotrófico (Browdy *et al.* 2012), por ello, aunque las bacterias heterotróficas consumen alcalinidad, los microorganismos autotróficos son responsables del gran consumo de carbono inorgánico sobre las formas de alcalinidad, reduciendo la misma y el pH durante el ciclo de producción (Ebeling *et al.* 2006 Hargreaves 2013 citados por Bernades *et al.* 2016). Entonces, en favor de una buena producción técnica del SBF (sistema estable tanto para el biofloc y el estado fisiológico de los peces), es fundamental el mantenimiento de la alcalinidad a fin de evitar oscilaciones de pH (Bernades *et al.* 2016).

Timmons *et al.* (2009) mencionan como regla empírica general el uso de 113 g de bicarbonato de sodio por cada kilogramo de alimento suministrado en sistemas cuya densidad de cultivo y el tiempo de retención hidráulico sea alto, regla que podría ser relativa en SBF, considerando los 156 y 155 g de bicarbonato de sodio por cada kilogramo de alimento suministrado para los tratamientos SBDE y SBDP respectivamente y que pudieron no resultar suficientes para el mantenimiento de la alcalinidad, según lo referido, es decir sobre los $130 \text{ mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$. Aún el consumo más bajo en el experimento ($0,26 \pm 0,05$ kg.kg^{-1}) fue superior a lo reportado por Bernades *et al.* (2016) quienes consumieron $0,120$ kg.kg^{-1} en el cultivo de tilapias de hasta 45 g en SBF con una alcalinidad promedio de $75 \text{ mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$, mientras que Luo *et al.* (2014) reportó un consumo similar al mayor consumo obtenido en el experimento ($0,30$ kg.kg^{-1}) con la diferencia que este mantuvo un pH más estable en el SBF.

4.4.5. Índice de conversión económico

Los índices de conversión económico (ICE), como se observa en la Figura 23, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, pero en aquellos tratamientos con

SBF, el uso de la dieta peletizada obtuvo el mejor resultado a diferencia que en los tratamientos con SC donde el uso de la dieta extruída resultó con un mejor índice. El mejor ICE de $4,36 \pm 0,23$ S/..kg⁻¹ fue obtenido por el tratamiento SCDE que resultó hasta en un 15 por ciento más económico frente a lo obtenido por el tratamiento SBDE ($5,15 \pm 0,13$ S/..kg⁻¹) quien mostró el mayor costo de alimento por biomasa producida.

El índice de conversión económico es el costo económico requerido para producir un kilogramo de peso en el animal (Moniño *et al.* 2002). La disminución de este índice tiene importancia debido al impacto económico y ambiental que el proceso de alimentación genera (Flores y Vergara 2012).

El tratamiento SCDE fue seguido con un mejor ICE, y por una diferencia promedio de 8 por ciento, por el tratamiento SBDE ($4,73 \pm 0,02$ S/..kg⁻¹) resultados similares reportados por Aguilar *et al.* (2014), quienes no obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en el ICE al emplear una dieta extruída frente a una peletizada en el cultivo de tilapia nilótica, aunque la dieta extruída resultó con un mejor ICE que la dieta peletizada (5 por ciento menor). Aunque no fue significativa la diferencia de los ICE entre los tratamientos, los menores ICE obtenidos en los tratamientos con SC podrían haber resultado del menor contenido de energía contenida en la dieta, es decir considerando la energía adicional que pueda proveer el SBF, ya que, aunque la variación de las materias primas podría hacer variar el índice económico, el mismo puede resultar mejor en piensos con menor contenido en energía (Jover 2009).

4.4.6. Índice de costo-efectividad parcial

Como se observa en la Figura 23, los índices de costo-efectividad parcial (ICEf) fueron significativamente distintos entre tratamientos con distinto sistema de cultivo ($p < 0.05$). El ICEf promedio obtenido para los tratamientos con SBF fue un 24,9 por ciento más económico en promedio frente a los tratamientos con SC. Además, en los tratamientos que incluyeron el SBF, el tratamiento SBDE resultó en un 7,6 por ciento más costo-efectivo que el SBDE (Figura 22b).

De las variables incluidas en el ICEf, el agua, representó hasta el 49 por ciento en SC frente al 2 por ciento en SBF, que confirman lo descrito por Crab *et al.* (2007) citados por De Schyver *et al.* (2008) respecto a las reducciones de costos, específicamente en el

tratamiento de agua para el cultivo, como valor agregado en torno al SBF, reducción en la cantidad de agua por la renovación limitada (Browdy *et al.* 2012) considerada ventaja en términos de retornos económicos (Browdy *et al.* 2012) y considerando que la actividad acuícola utiliza más agua por unidad de producción que la mayoría de los tipos de agricultura en tierra (Boyd y Mc Nevin 2015).

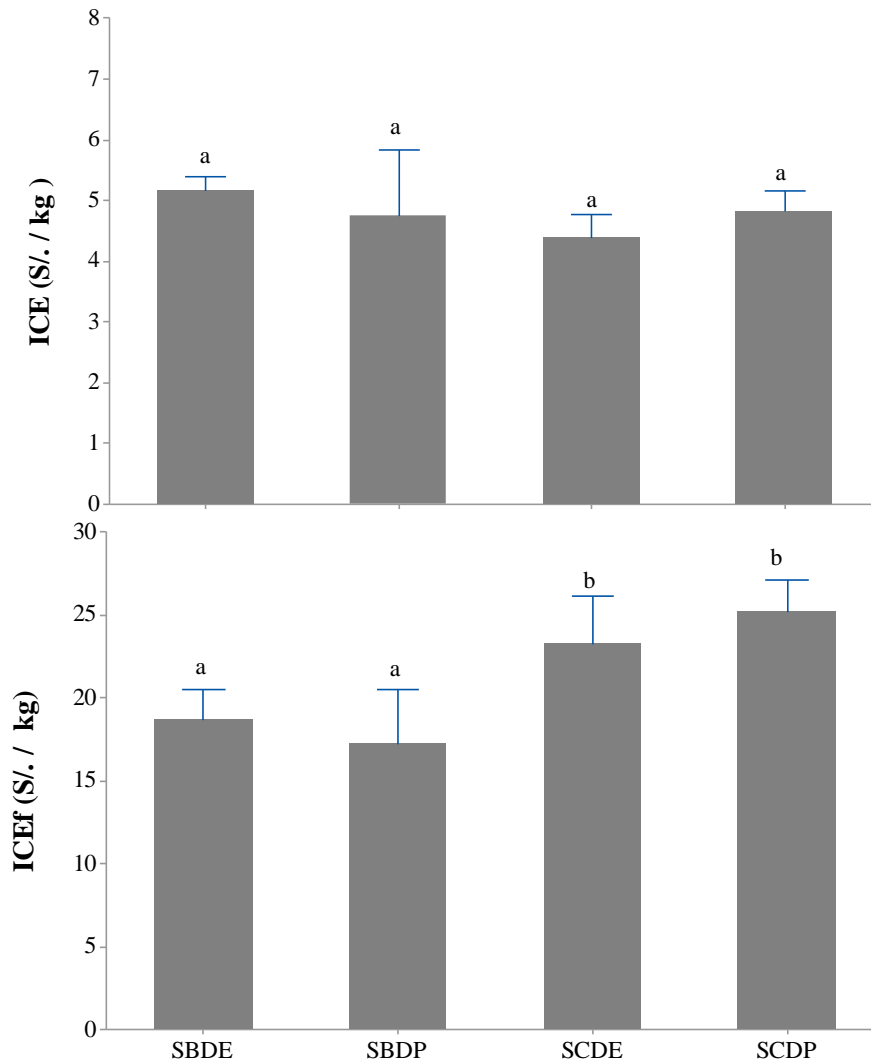


Figura 18: Índice costo-económico y de costo-efectividad parcial (\pm desviación estándar) según tratamiento (n=12) en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica durante 56 días de experimento. Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Por otro lado, la energía para la aireación que representó el 1 por ciento en SC frente al 4 por ciento en SBF, confirma lo descrito por Leckang (2013), y considerando que en SC y hasta en SBF la misma es más costo efectivo que el bombeo de agua para mantener niveles

de oxígeno disuelto (Hopkins *et al.* 1995 citados por Browdy *et al.* 2012). Esta costo-efectividad, a partir de la reducción de costos variables como electricidad y alimentación, resultan en incrementos de la rentabilidad (Appiah 2012), esta última, como componente clave en los costos variables, a través de un adecuado control y uso del alimento para mejora de las conversiones alimenticias (Browdy *et al.* 2012).

Otras variables como la energía para el calentamiento y la dieta representaron hasta el 30 y el 20 por ciento respectivamente para aquellos tratamientos que incluyeron el SC; mientras que para los tratamientos que incluyeron el SBF la representación fue de hasta 51 y 28 por ciento para las variables indicadas anteriormente y respectivamente; además ingresan para estos últimos tratamientos una participación de hasta 3,75 y 12, 47 por ciento para la melaza y el bicarbonato de Sodio respectivamente, tal y como se describe en Tabla 13. No se alcanzaron reducciones significativas en cuanto a consumo de alimento sea DE o DP en SC o SBF, distinto a lo descrito por De Schyver *et al.* (2008) que consideran al SBF como fuente potencial adicional de alimento, pero si alcanzando reducción de costos por kg de producción como describe Megahed (2010) y hasta reducción de mortalidad por biocontrol como sostiene Crab *et al.* (2010). En la Tabla 16 se muestra el consolidado de los valores obtenidos para cada tratamiento referido a los parámetros de costo-efectividad parcial; así mismo en la Tabla 17 se muestra un resumen de los valores obtenidos para los parámetros costo-efectivos del experimento.

Tabla 16: Participación porcentual de las variables en el ICEf parcial del cultivo de juveniles de tilapia nilótica, en 56 días de experimento para los tratamientos.

Variables	SCDE		SCDP		SBDE		SBDP	
	S/..kg ⁻¹	%	S/..kg ⁻¹	%	S/..kg ⁻¹	%	S/..kg ⁻¹	%
Dieta extruída	4.36	18.81			5.15	27.68		
Dieta peletizada			4.81	19.62			4.73	27.50
Agua	11.37	49.04	11.90	48.55	0.40	2.16	0.38	2.18
Energía (calentamiento)	7.11	30.65	7.44	30.34	9.37	50.36	8.74	50.84
Energía (aireación)	0.35	1.50	0.36	1.48	0.67	3.60	0.63	3.64
Melaza					0.70	3.73	0.65	3.75
Bicarbonato de Sodio					2.32	12.47	2.08	12.09
ICEf*	23.20	100	24.52	100	18.61	100	17.20	100

*Índice de costo-efectividad parcial

Tabla 17: Parámetros costo-efectivos parciales (\pm desviación estándar) del cultivo de juveniles de tilapia nilótica, en 56 días de experimento, para los tratamientos (n=12). Los promedios con letras iguales no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Parámetro	Unidad	SCDE	SCDP	SBDE	SBDP
Energía para Aireación (Ea)	kWh.kg ⁻¹	0,70 \pm 0,08 ^a	0,73 \pm 0,09 ^a	1,34 \pm 0,10 ^b	1,25 \pm 0,12 ^b
Energía para Calentamiento (Ec)		14,22 \pm 0,40 ^a	14,88 \pm 0,42 ^a	18,74 \pm 0,35 ^b	17,49 \pm 0,43 ^b
Agua (A)	m ³ .kg ⁻¹	4,74 \pm 0,12 ^a	4,96 \pm 0,16 ^a	0,17 \pm 0,14 ^b	0,16 \pm 0,21 ^b
Melaza (M)	kg.kg ⁻¹			1,39 \pm 0,32 ^a	1,29 \pm 0,25 ^a
Bicarbonato (B)	kg.kg ⁻¹			0,29 \pm 0,02 ^a	0,26 \pm 0,04 ^a
Índice costo económico (ICE)	S/. .kg ⁻¹ (Dieta)	4,36 \pm 0,09 ^a	4,52 \pm 0,07 ^a	5,15 \pm 0,05 ^a	4,73 \pm 0,02 ^a
Índice costo-efectividad (ICEf)	S/.(F*+A+Ec+Ea+M**+B**).kg ⁻¹	23,20 \pm 0,99 ^a	25,14 \pm 0,66 ^a	18,61 \pm 0,65 ^b	17,21 \pm 1,12 ^b

(*) Alimento balanceado suministrado, (**) sólo para el caso de tratamientos con SBF.

Las propiedades físicas de la DP obtenida a partir de la DE solo coincidieron en la irregularidad de tamaños de los granos (específicamente en longitud) y el hundimiento de los mismos, si consideramos las características físicas de las dietas peletizadas comerciales para fines comparativos.

La DP, al contar con una ligera menor pérdida de materia seca y resultar hasta con una mayor hidroestabilidad podrían haber significado de cierta forma algo más compatible con el SBF que con el SC (en donde en su mayoría resultó al parecer más compatible la DE).

Una mayor pérdida de materia seca y en menor tiempo supone una mayor contribución al desequilibrio de la calidad de agua en un SC, intensificando las renovaciones de agua proporcionalmente a la carga o los niveles de aireación demandados; mientras que en el SBF todos los finos podrían ser reagrupados y hasta reutilizados como dieta complementaria. Ahora bien, las condiciones de ambos sistemas podrían haber mostrado mayor compatibilidad con las dietas en función no solo de la homeostasis de los organismos en cultivo, involucrados en los parámetros productivos como respuesta, sino que también cuanto de estas ayudaron a mantener mejores equilibrios (en los parámetros de calidad de agua por ejemplo) y por más tiempo en cada sistema.

La intensidad de mezcla y regulación de los SST en el SBF podrían haber significado también las renovaciones en los SC, que pudieron sostener los niveles adecuados de oxígeno disuelto y demás parámetros de calidad de agua entre otros ayudando a sostener los incrementos de las densidades del cultivo, aunque con equilibrios cada vez más difíciles de sostener.

Finalmente, tanto las renovaciones de agua en el SC como el manejo de los sólidos en el SBF resultaron importantes para el aprovechamiento o reducción de perjuicios derivados de aquellas propiedades físicas y nutricionales de la DE y la DP, aprovechamientos o perjuicios que pudieron contribuir en la reducción o incremento de los costos parciales analizados, los mismos que dentro de muchos rentabilizan la actividad, aunque es importante resaltar las condiciones o nivel del cultivo empleado (escala) en la que estos costos podrían verse reducidos (absorbidos) o incrementados.

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de este experimento:

1. Los parámetros de calidad de agua como conductividad, sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal total y nitratos, y en promedio a lo largo de todo el período de experimentación, mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) a nivel de sistemas de cultivo, como variables principales, pero de forma limitada entre variables de interacción (dieta-sistema de cultivo).
2. Independientemente de la dieta empleada y su procesamiento, los tratamientos con sistema biofloc mantuvieron, en promedio, niveles más seguros de NAT ($2,89 \pm 0,99$; $2,96 \pm 1,01$ para SBDE y SBDP respectivamente) para el cultivo de juveniles de tilapia gris, a comparación de los tratamientos que incluyeron el sistema semicerrado ($5,20 \pm 2,40$; $5,84 \pm 2,35$ para SCDE y SCDP respectivamente).
3. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los tratamientos para las tasas específicas de crecimiento e índices de conversión alimenticia, pero se encontraron los mejores valores y tendencias de estos para el sistema biofloc asociado a la dieta peletizada ($1,81 \pm 0,10 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$) así como el sistema semicerrado asociado a la dieta extruída ($1,91 \pm 0,12 \text{ \%} \cdot \text{d}^{-1}$).
4. A diferencia de los tratamientos que incluyeron el sistema semicerrado, el uso de la dieta peletizada en los tratamientos con sistema biofloc, redujo los costos hasta en un 7 por ciento respecto al uso de la dieta peletizada en el mismo sistema.
5. El análisis de costo-efectividad parcial muestra que la reducción de los costos en el cultivo de juveniles de tilapia gris en SBF, independientemente de la dieta empleada, se sustentó principalmente en el menor consumo de agua, variable que alcanzó una participación promedio de apenas 2,17 por ciento (de todas las variables empleadas para la determinación del ICEf) frente al 48,8 por ciento que significó como promedio para el cultivo con SC.

VI. RECOMENDACIONES

Acorde a los resultados obtenidos se presentan las siguientes recomendaciones:

1. Considerar la evaluación de dietas de tipo de procesamiento peletizado con distintos niveles de pérdida de materia seca e hidroestabilidad en SBF estableciendo la relación con la capacidad de aprovechamiento del sistema (transformación en floc, tamaño del floc y composición nutricional).
2. Considerar la réplica del experimento con dietas de tipo procesamiento peletizado y extruído con un mayor caudal de aire ($L \cdot \text{min}^{-1}$) en el SBF estableciendo su relación con el tamaño del floc, VF y su composición nutricional.
3. Evaluar la dinámica microbiana del floc en función de dietas de diferente procesamiento (peletizada y extruída) y distintos niveles de inclusión proteica (28 y 32 por ciento) estableciendo su relación con su composición nutricional.
4. Estimar la evaluación de la tasa de remoción de sólidos en el cultivo con SBF y su relación con la asimilación de nutrientes y respuesta enzimática.
5. Considerar el seguimiento de la evaluación y determinación de la alcalinidad en forma diaria y hasta 2 veces por día en cultivo de juveniles de tilapia con SBF de relación C:N entre 10 y 15.
6. Tener en cuenta el seguimiento de la evaluación y determinación de los compuestos nitrogenados (NAT, N-NO₂ y N-NO₃) en forma diaria en el cultivo de juveniles de tilapia con SBF de relación C:N entre 10 y 15.

7. Considerar la evaluación, en el cultivo de juveniles de tilapia, de la asimilación de nutrientes y respuesta enzimática en SC y SBF a partir de dietas de distinto procesamiento.

8. Tener en cuenta la evaluación de la tasa de uniformidad del crecimiento en SC y SBF con dietas de diferente tipo de procesamiento en el cultivo de alevines hasta el tamaño comercial de tilapia gris.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Tawwab, M; El-Marakby, HI. 2004. Length-weight relationship, natural food and feeding selectivity of Nile tilapia; *Oreochromis niloticus* (L.) in fertilized earthen ponds. In The 6th International Symposium of Tilapia in Aquaculture (ed. by R. Bolivar, G. Mair & K. Fitzsimmons) (pp. 500-509).

Advíncula Zeballos, O; García Junco, S; García Armas, J; Toribio Tamayo, K; Meza Contreras, V. 2014. Plan de ecoeficiencia en el uso del agua potable y análisis de su calidad en las áreas académicas y administrativas de la Universidad Nacional Agraria la Molina. *Ecología Aplicada*, 13(1), 43-55.

Aguilar, F; Afanador-Téllez, G; Muñoz-Ramírez, A. 2010. Efecto del procesamiento de la dieta sobre el desempeño productivo de tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus* var. Chitralada) en un ciclo comercial de producción. *Revista Médica Veterinaria Zootécnica* 57:104-118.

Akiyama M. D. 1999. Feeding and Management of warm water fish in high density culture. *ASA Technical Bulletin*, Vol. AQ 46.

Alanära, A; Kadri, S; Paspatis M. 2001. Feeding management. In: Houlihan D., Boujard T., Jobling M. (eds.): *Food Intake in Fish*. Blackwell Science Ltd., Oxford. 332–353.

Alicorp. 2010. Manual de crianza de tilapia. Alicorp S.A., Lima.

Anon. 1984. Introducing the tilapias. *ICLARM Newsletter*. January 1984. 7(1):3.

Antwi, DE; Kuwornu, JK; Onumah, EE; Bhujel, RC. 2017. Productivity and constraints analysis of commercial tilapia farms in Ghana. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 38(3), 282-290.

APHA (American Public Health Association, EU), 1998. Standard methods for the examination of the water and wastewater. 22ed. American Public Health Association, Washington, EU.

Appiah-Kubi, F. 2012. An economic analysis of the use of recirculating aquaculture systems in the production of Tilapia (Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås).

APROMAR, 2007. La acuicultura marina de peces en España. Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos, Cádiz, España. 62 pp.

ASTM (American Society for Testing and Material, EU), 2002. ASTM D1067: Standard Test Method for Acidity or Alkalinity of Water. West Conshohocken, EU.

Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264:140–147.

Avnimelech, Y; Mokady, S; Schoroder, GL. 1989. Circulated ponds as efficient bioreactors for single cell protein production. *Bamdigeh*. 41:58–66.

Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture* 264:140-147. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176:227-235.

Avnimelech, Y. 2011a. Tilapia Production Using Biofloc Technology - Saving Water, Waste Recycling Improves Economics. *Global Aquaculture Advocate*: 66-68.

Avnimelech, Y. 2011b. Tilapia Production Using Biofloc Technology (BFT). Better Science, Better fish, better live: Proceedings of the ninth international symposium on tilapia in aquaculture. Section VI: 362.

Avnimelech, Y. 2012. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. *Aquaculture*, v. 264, p.140–147, 2007b. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848606008933> .

Avnimelech, Y. 2006. Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. *Aquaculture. Eng.* 34, 172–178.

Avnimelech, Y; Mokady, S; Schroeder, GL. 1989. Circulated ponds as efficient bioreactors for single-cell protein production. *Isr. J. Aquac.-Bamidgheh* 41 (2), 58–66

Avnimelech, Y; Kochba, M. 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing. *Aquaculture* 287:163-168.

Avnimelech, Y; Verdegem, MCJ; Kurup, M; Keshavanath, P. 2008. Sustainable land-based aquaculture: rational utilization of water, land and feed resources. *Mediterranean Aquaculture Journal*. 1(1): 45-55.

Azaza, MS; Mensi, F; Ksouri, J; Dhraief, MN; Brini, B; Abdelmouleh, A; Kraiem, MM. (2008). Growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed with diets containing graded levels of green algae ulva meal (*Ulva rigida*) reared in geothermal waters of southern Tunisia. *Journal of Applied Ichthyology*, 24(2), 202-207.

Azim, ME; Little, DC; Bron, JE. 2008. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology* 99: 3590 - 3599. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.063>

Azim, ME; Little, DC. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283: 29–35.

Azim, ME; Little, DC; Bron, JE. 2008. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology* 99: 3590–3599.

Baccarin, AE. 2002. Impacto ambiental e parâmetros zootécnicos da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) sob diferentes manejos alimentares. Tesis

Baltazar, P; Palacios, J. 2015. Producción, comercialización y perspectivas de desarrollo de la acuicultura peruana. Universidad científica del sur. 118 – 133 p

Baltazar, PM. 2009. La Tilapia: Una revisión actualizada de su crianza en el Perú. *Aquavisiòn* N° 4:26-27.

Baltazar, P. 2007. La tilapia en el Perú: Acuicultura, mercado y perspectivas. *Rev. Peru. Biol.* Número especial 13(3): 267 – 273.

Benli, ACK; Köksal, G; Ozkul, A. 2008. Sublethal ammonia exposure of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Effects on gill, liver and kidney histology. *Chemosphere* 72:1355-1358.

- Berman, A. 2007. Optimización del proceso de extrusión para la elaboración de pelets para alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en Zamorano (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana-2012).
- Bernardes, G. 2016. Controle de pH e dureza total em sistema de bioflocos, avaliando a qualidade da água e o desempenho de tilápia do nilo *Oreochromis niloticus* (L.). Tesis de Posgrado. Instituto de Oceanografía de la Universidad Federal de Rio Grande. Rio Grande, Brasil.
- Bhatnagar, A; Devi, P. 2013. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(6), 1980.
- Bhujel, RC. 2000. A review of strategies for the management of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodfish in seed production systems, especially hapa-based systems. *Aquaculture*, 181(1-2), 37-59.
- Bhujel, RC. 2014. *A manual for tilapia business management*. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI.
- Bhujel, RC. 2001. Recent advances in tilapia nutrition, feeds and feed management. *Global Aquaculture Advocate*, 4 (2): 44-47.
- Bortone, E. 2002. Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidroestables para camarones. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.
- Bossier, P; Ekasari, J. 2017. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial biotechnology*, 10(5), 1012-1016.
- Boyd, CE. 1998. Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering*, 18(1), 9-40.
- Boyd, CE; McNevin, A. 2015. *Aquaculture, resource use, and the environment*. Wiley Blackwell, Hoboken, New Jersey, USA.
- Boyd, CE; Tucker, C; Mcnevin, A; Bostick, K; Clay, J. 2007. Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture. *Reviews in Fisheries science*, 15(4), 327-360.

- Boyd, CE. 1990. Water Quality Management for pond fish culture. New York: *Elsevier*.
- Boyd, CE. 1997. Manejo do solo e da qualidade da água em viveiros para aquicultura. *Campinas: Mogiana Alimentos*.
- Browdy, CL; Ray, AJ; Leffler, JW; Avnimelech, Y. 2012. Biofloc-based Aquaculture Systems. I. Tidwell (ed.) *Aquaculture Production Systems*. p. 278-307.
- Brú, SB. 2016. Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 93 p.
- Bunting, SW. 2013. Principles of sustainable aquaculture. Delmar Publication, New York.
- Buxadé, C. 1997. Producción Animal Acuática (1 era edición) Madrid, España: Mundi Prensa.
- Castro, MDC; Bulnes, AL; Suárez, MH. 2014. Crianza de *Oreochromis niloticus* Var chitralada en sistema bio-floc en la Empresa PRODUMAR SA, Guayaquil (Ecuador). *Revista REBIOLEST*, 1(2), 79-91.
- Chevanan, N; Muthukumarappan, K; Rosentrater, KA. 2009. Extrusion studies of aquaculture feed using distillers dried grains with solubles and whey. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 177-185.
- Cho, CY; Cowey, CB; Watanabe, T. 1985. Finfish nutrition in Asia: methodological approaches to research and development. Ottawa, Ont., IDRC, pp 154.
- Cho, CY. 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture* 100: 107-123.
- Collazos, LF; Arias, JA. 2015. Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia*, 19(1).
- Colt, J; Kroeger, E. 2013. Impact of aeration and alkalinity on the water quality and product quality of transported tilapia—A simulation study. *Aquacultural Engineering* 55 (2013) 46– 58. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.03.002>

Comité Sistema Producto Tilapia de Mexico A.C. 2012. Criterios Técnicos y Económicos para la producción Sustentable de Mexico. Manual para el productor. Proyecto integral de capacitación 2012. México. Consultado el 15 de febrero del 2015

Coolsaet, N. 2009. formulación, ingredientes y piensos, aditivos, factores antinutritivos, sostenibilidad. 409 – 436. Cap 7. En: Sanz F. La nutrición y alimentación en acuicultura. Fundación observatorio español de acuicultura. Consejo superior de investigaciones científicas. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. Madrid 803pp

Crab, R; Defoirdt, T; Bossier, P; Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357:351-356.

Crab, R; Kochva, M; Verstraete, W; Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquaculture Engineering* 40, 105–112.

Crab, R; Lambert, A; Defoirdt, T; Bossier, P; Verstraete, W. 2010. The application of bioflocs technology to protect brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. *Journal of applied microbiology*, 109(5), 1643-1649.

Crab, R; Avnimelech, Y; Defoirdt, T; Bossier, P; Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270:1–14.

Craig, S; Helfrich, LA. 2009. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding.

Cruz-Suárez, LE; Ricque-Marie, D; Tapia-Salazar, M; Marín-Zaldivar, LF; Guajardo-Barbosa, C; Nieto-López, M; Salinas-Miller, A. 2002. Historia y estatus actual de la digestibilidad y algunas características fisicoquímicas de los alimentos comerciales para camarón usados en México. *Avances en nutrición acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de nutrición acuícola*, 3, 1-22.

Cruz-Suárez, LE; Ruíz-Díaz, PP; Cota-Cerecer, E; Nieto-López, MG; Guajardo-Barbosa, C; Tapia-Salazar, M; Villarreal-Cavazos, D; Ricque Marie, D. 2006. Revisión sobre algunas características físicas y control de calidad de alimentos comerciales para camarón en México. *Panorama Acuícola* 12 (3):12- 18.

Da Silva, Savay-Da Silva, Atunes, Oetterer. 2014. Tilapia production: From wáter to Human consuption In: Renae Wakefield. (Org.). *Tilapia: Biology, Management Practices and Human Consumption*. Nova York: Nova Publishers, Inc. ed. 1. v. 1. p. 119-145. 2014.

- Day, SB. 2015. A growth comparison among three commercial Tilapia species in a biofloc technology system in South Africa (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- De Lorenzo, MA; Schweitzer, R; Do Espírito Santo, CM; Candia, EWS; Mouriño, JLP; Legarda, EC; Do Nascimento Vieira, F. 2015. Intensive hatchery performance of the Pacific white shrimp in biofloc system. *Aquacultural engineering*, 67, 53-58.
- De Oliveira Alves, GF; Fernandes, AFA; De Alvarenga, ÉR; Turra, EM; De Sousa, AB; De Alencar Teixeira, E. 2017. Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, 479, 564-570.
- De Schryver, P; Crab, R; Defoirdt, T; Boon, N; Verstraete, W. 2008. The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125–137.
- De Silva, SS; Anderson, TA. 1995. *Fish Nutrition in Aquaculture*. Chapman and Hall, London, 319 pp.
- De Long, DP; Losordo, T; Rakocy, J. 2009. Tank culture of tilapia. SRAC Publication No. 282. North Carolina State University, Southern Regional Aquaculture Center. [Internet] [Citado 2013 noviembre 9]. Disponible en: http://www.extension.org/mediawiki/files/7/78/Tank_Culture_of_Tilapia.pdf
- Diana, JS. 2012. Some principles of pond fertilization for Nile tilapia using organic and inorganic inputs. Pages 163–177 in Mischke CC, ed. *Aquaculture Pond Fertilization: Impacts of Nutrient Input on Production*. Wiley.
- Ebeling, JM; Timmons, MB; Bisogni, J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257:346-358.
- Ekasari, J; Rivandi, DR; Firdausi, AP; Surawidjaja, EH; Zairin, JRM; Bossier, DE; Schryver, P. 2015. Biofloc technology positively affects Nile Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión 85 tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture* 441:72–77.

Ekasari, J; Crab, R; Verstraete, W. 2010). Primary nutritional content of bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. HAYATI Journal of Biosciences, 17(3), 125-130.

Ekasari, J; Suprayudi, MA; Wiyoto, W; Hazanah, RF; Lenggara, GS; Sulistiani, R; Zairin JR, M. (2016). Biofloc technology application in African catfish fingerling production: the effects on the reproductive performance of broodstock and the quality of eggs and larvae. Aquaculture, 464, 349-356.

El-Sayed, AF. 2006. Tilapia culture. 1 ed. London, UK. CABI Publishing. 278 p.

El-Sherif, MS; El-Feky, AMI. (2009). Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. I. Effect of pH. Int. J. Agric. Biol, 11(3), 297-300.

Emerenciano, M; Gaxiola, G; Cuzon, G. 2013. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. INTECH open science_ open minds. Cap 12: 301- 327. <http://dx.doi.org/10.5772/53902>.

Engle, CR. 2010. Aquaculture economics and financing: management and analysis. 1 ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell Scientific. 272 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2012. El estado mundial de la pesca y acuicultura. Roma. 231 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2016. El estado mundial de la pesca y acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2018. El estado mundial de la pesca y acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 250 pp.

FAO. 2013. Subdivision de la FAO de Estadísticas e Información sobre Pesca y Acuicultura. Roma.

FAO. 2011. Desarrollo de la acuicultura. 4. Enfoque ecosistémico a la acuicultura. FAO Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable. No. 5, Supl. 4. Roma, FAO. 60p.

Farrell, D. 2006. Commercial tilapia microbial controlled systems in California. Abstracts. WAS aquaculture America, Las Vegas, Nevada, EU, 13 al 16 de febrero.

Flores, H; Vergara, A. 2012. Efecto de reducir la frecuencia de alimentación en la supervivencia, crecimiento, conversión y conducta alimenticia en juveniles de salmón del Atlántico *Salmo salar* (Linnaeus, 1758): experiencia a nivel productivo. Latin american journal of aquatic research, 40(SPECISSUE), 536-544.

FONDEPES/AECI/PADESPA. 2007. Manual De Cultivo de Tilapia. Programa de Transferencia de tecnología en Acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas. Primera edición. Lima, Perú.

Glencross, 2007. Harvesting the Benefits of Grain in Aquaculture Feeds - Proceedings of a workshop, 13 February 2007, Fisheries Occasional Publications No. 41, Department of Fisheries, Western Australia, 102p.

Goddard, S. 1996. Feed Management in Intensive Aquaculture. Chapman & Hall. Press, New York, 194 pp.

Greenberg, P. 2010. Four fish: The future of the last wild food. Penguin Publishing.

Gurdian, F; Valverde, M. 2010. Efectos de tres dietas comerciales sobre el crecimiento del camarón *Litopenaeus vannamei* en la etapa de juveniles en condiciones experimentales. Tesis para optar el título de Ingeniero acuícola. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. 58 p.

Gupta, M; Acosta, B. 2004. A review of global tilapia farming practices. Aquaculture Asia 9(1): 7-12.

Güroy, D. 2006. Influence of feeding frequency on feed intake, growth performance and nutrient utilization in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) fed pelleted or extruded diets. Turkish J. Vet. Anim. Sci. 30:171-177.

Hanson, TR; Posadas, B; Samocha, TM; Stokes, AD; Losordo, T; Browdy, CL. 2009. Economic factors critical to the profitability of super-intensive biofloc recirculating production systems for marine shrimp *Litopenaeus vannamei*. In The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming (Ed. por Browdy CL; Jory DE). World Aquaculture Society, Baton Rouge, EU: 268-83.

- Hardy, RW; Barrows, FT. 2002. Diet formulation and manufacture. In: Fish Nutrition. J.E. Halver and R.W. Hardy (eds.), 3rd edition. London:Academic Press. pp. 505-600
- Hargreaves, JA. 2013. Biofloc production systems for aquaculture. SRAC Publication number 4503, 12 pp.
- Hargreaves, JA. 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Eng.* 34:344-363.
- Hematzade, A; Taati, MM; Raissy, M. 2013. Effects of extrusion of diet on growth parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animal Biology & Animal Husbandry* 5(2):127.
- Houlihan, D; Boujard, T; Jobling, M. 2001. Food Intake in Fish. 1 ed. Blackwell Science, Oxford, EU. 442 p.
- Huguenin, JE; Colt, J. 2002. Design and operating guide for aquaculture seawater systems, (2nd ed), Academic Press, USA.
- Hurtado, N. 2003. La tilapia roja en el Perú. *AquaTIC* 2003; 19: 41-52. Disponible en: <http://www.revistaaquatic.com/aquatic>
- Ighwela, KA; Ahmad, AB; Abol-Munafi, AB. 2014. Water stability and nutrient leaching of different levels of maltose formulated fish pellets. arXiv preprint arXiv:1409.5062.
- Instituto Nacional De Pesca y Acuicultura – INPA. 2001. Boletín Estadístico Pesquero Colombiano, 1999-2000, 114 p. Bogotá.
- International Trade Map. Trade statistics for international business development <http://www.trademap.org/> Consultado: 24/02/17.
- Iturra, J. 2008. Manual de crianza de tilapia. Editorial Nicovita. Perú.
- Jobling, M. 2001. Feed composition and analysis. Cap 1. In: Houlihan D, Boujard T, Jobling M (eds) Food intake in fish. Blackwell Scientific, Oxford, pp 1–24
- Jobling, M; Gomez, E; Dias, J. 2001. Feed types, manufacture and ingredients. Cap 2. In: Houlihan D, Boujard T, Jobling M (eds) Food intake in fish. Blackwell Scientific, Oxford, pp 1–24

Jover, M; Pérez, L; Zaragoza, L; Fernández, J. 1998. Estimación del Crecimiento, Tasa de Alimentación y Producción de Desechos en Piscicultura mediante un Modelo Bioenergético. Revista electrónica AquaTIC, n° 9, Marzo. Disponible el 30/12/2014 en URL: <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=&c=82>

Justi, KM; Padre, RG; Hayashi, C; Soares, CM; Visentainer, JV; Kamarudin, MS; Ishak, SD; Ramezani-Fard, E; Saad, CR; Yusof, YA. 2016. Effects of different temperature profiles and corn-sago starch ratios on physical properties of extruded tilapia diets. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 15(2), 715-726.

Kamilya, D; Debbarma, M; Pal, P; Kheti, B; Sarkar, S; Singh, ST. 2017. Biofloc technology application in indoor culture of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings: The effects on inorganic nitrogen control, growth and immunity. Chemosphere, 182, 8-14.

Kang'ombe, J; Brown, JA. 2008. Effect of Salinity on growth, feed utilization, and survival of *Tilapia rendalli* under laboratory conditions. Journal of applied aquaculture, 20(4), 256-271.

Kannadhasan, S; Muthukumarappan, K; Rosentrater, KA. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and tapioca starch. Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition, 1(1), 6-21.

Kaushik, SJ. 1998. Nutritional bioenergetics and estimation of waste production in non-salmonids. Aquatic Living Resources, 11(4), 211-217.

Kaushik, SJ. 2000. Feed formulation, diet development and feed technology CIHEAM: 43-51.

Kestemont, P; Baras, E. 2001. Environmental factors and feed intake: Mechanisms and interactions. Cap 6. In: Houlihan D, Boujard T, Jobling M (eds) Food intake in fish. Blackwell Scientific, Oxford, pp 1–24

Khater, E; Bahnasawy, A; Ali, S. 2014. Physical and mechanical properties of fish feed pellets, J Food Process Technology, pp-5-10, 378.

- Khatoon, H; Banerjee, S; Yuan, GTG; Haris, N; Ikhwanuddin, M; Ambak, MA; Endut, A. 2016. Biofloc as a potential natural feed for shrimp postlarvae. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 113, 304-309.
- Körner, S; Das, SK; Veenstra, S; Vermaat, JE. 2001. The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. *Aquat. Bot.* 71, 71–78.
- Krummenauer, D; Samocha, T; Poersch, L; Lara, G; Wasielesky, W. 2014. The reuse of water on the culture of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(1), 3-14.
- Kubitza, F. 2011. Criação de tilapias em sistemas com bioflocos sem renovação de água. *Panorama da Aquicultura*; (21) 125:14-23.
- Kubitza, F. 2009. Uma coleção de artigos sobre tilápia. Canada: Southern Ocean Education and Development Project, CIDA/Univ. of Victoria.
- Lekang, OI. 2013. *Aquaculture engineering* (2nd ed.). United Kingdom: Wiley Blackwell.
- Liang, W; Luo, G; Tan, H; Ma, N; Zhang, N; Li, L. 2014. Efficiency of biofloc technology in suspended growth reactors treating aquacultural solid under intermittent aeration. *Aquacultural engineering*, 59, 41-47.
- Lina Long, A; Jing Yang, A; Yuan Li, B; Chongwu Guana, F. 2015. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 448 (2015) 135–141.
- Liu, J; Li, Z; Li, X; Wang, Y. 2013. On-farm feed management practices for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in southern China. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. *On-farm feeding and feed management in aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. Rome, FAO. pp. 71–99.
- Lovell RT. 2002. Diet and fish husbandry. In: Halver JE, Hardy R W (eds): *Fish nutrition*. 3ed. Elsevier Science (USA). 703-754.

Loyless, JC; Malone RF. 1997. A Sodium Bicarbonate Dosing Methodology for pH Management in Freshwater-Recirculating Aquaculture Systems. *The progressive Fish-Culturist* 59:198-205.

Lucas, JS; Southgate, PC. 2012. *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants*. John Wiley & Sons.

Luo, G; Gao, Q; Wang, C; Liu, W; Sun, D; Li, L; Tan, H. 2014. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture* 422-423:1-7.

Maciel, E; Savay Da Silva, LK; Galvao, JA; Oetterer, M. 2014. Tilapia Production: From Water to Human Consumption. In: Renae Eakefield. (Org). *Tilapia: Biology, Management Practices and Human Consumption*. 1ed. New York: Nova Publisher, V. 1, p. 55 – 58.

Madrid, JA; Sanchez-Vasquez, FJ; Martinez, FJ. 2009. Alimentación en piscicultura. En: *La Nutrición y Alimentación en Piscicultura* (Sanz F, Ed.), pp. 697-753. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. ISBN: 978-84-00-08841-5

Maghaydah, S. 2003. Utilization of fish processing by-products for nutritional formulation of fish feed (Master's thesis).

Maigual, Y; Sánchez, I; Matsumoto, T. 2013. Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de tilapia. *Revista MVZ Córdoba*, 18(2).

Malpartida Pasco, JJ; Carvalho Filho, JW; De Espirito Santo, CM; Vinatea, L. 2018. Production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* grown in BFT using two aeration systems. *Aquaculture Research*, 49(1), 222-231.

Mansour, AT; Esteban, MÁ. 2017. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish & shellfish immunology*, 64, 202-209.

Martínez-Córdova, LR; Emerenciano, M; Miranda-Baeza, A; Martínez-Porchas, M. 2015. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*, 7(2), 131-148.

Massamitu, W; Regina S; Rossetto V; Hayashi, C; Pereira, R. 1998. Dietas Peletizada e Extrusada para machos revertidos de Tilapias do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) na fase de terminação. *Ciencia rural*, Santa Maria 28:483-487.

Mcginty, AS; Rakocy, JE; Brunson, MW. 1989. Cage culture of tilapia. Southern Regional Aquaculture Center.

Megahed, ME. 2010. The effect of microbial biofloc on water quality, survival and growth of the green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*) fed with different crude protein levels. *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, 5(2), 119-142.

Mischke, CC. 2012. *Aquaculture Pond Fertilization: Impacts of Nutrient Input on Production*, WileyBlackwell 298 pp.

Moñino, A; Tomás, A; Fernández, M; Lázaro, R; Pérez, L; Espinós, FJ; Jover, M. 2011. 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.

Moreira, M; Cordoves, C. 2003. Actualidades para el manejo correcto en la peletización y optimización de inclusion de aglutinantes en dietas de camarones. *Panorama acuicola*.

Muir, J; Van Rijn, J; Hargreaves, J. 2000. Production in intensive and recycle systems. In: Beveridge, M.C.M., McAndrew, B.J. (Eds.), *Tilapias: Biology and Exploitation*. Kluwer Academic Publishing, Great Britain, pp. 405 – 445.

National Research Council, Subcommittee On Fish Nutrition. 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academic Press, Washington D.C., 124 pp.

Ng, WK; Romano, N. 2013. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Rev. Aquaculture*, 5: 220-254.

Obirikorang, KA; Amisah, S; Fialor, SC; Skov, PV. 2015. Effects of dietary inclusions of oilseed meals on physical characteristics and feed intake of diets for the Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Reports*, 1, 43-49.

Ogello, EO; Musa, SF; Aura, CM; Abwao, JO; Munguti, JM. 2014. An appraisal of the feasibility of tilapia production in ponds using biofloc technology: A review.

Ogunji, J; Toor, RU; Schulz, C; Kloas, W. 2008. Growth performance, nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed housefly maggot meal (Magma) diets. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 8(1), 141-147.

Olvera-Olvera, C; Olvera-Gonzales, J; Mendoza-Jasso, J; Peniche-Vera, R; Castañeda-Miranda, R; Herrera-Ruiz, G. 2009. Feed dosage and ammonium control device based on C/N ratio for a zero-discharge system. International Journal of Agriculture & Biology 11(2): 173-177.

Oquist, D; Paul, D. 1999. Elaboración de un " Peletizado" flotante para Tilapia con 30% de proteína.

Pérez-Fuentes, JA; Hernández-Vergara, MP; Pérez-Rostro, CI; Fogel, I. 2016. C: N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. Aquaculture, 452, 247-251.

Pérez-Fuentes, JL. 2011. Comparación e interacción genotipo-ambiente del desempeño productivo en cuatro líneas genéticas de tilapia *Oreochromis* sp. Tesis. Instituto Tecnológico de Boca del Río, México. 102 p.

Piedrahita, RH. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. Aquaculture 226:35-44.

Pike, IH. 2005. Eco-efficiency in aquaculture: global catch of wild fish used in aquaculture. International Aquafeed 8: (issue 1) 38-40.

Pillay, TVR. 2004. Aquaculture and the Environment, 2nd ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing

Popma, T; Masser, M. 1999. Tilapia Life History and Biology. SRAC Publication No. 283, Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), United States Department of Agriculture, Stoneville, Mississippi, USA.

PRODUCE (Ministerio de la Producción). 2017. Cosecha de recursos hidrobiológicos de la actividad de acuicultura según ámbito y especie (TM) – Anual (Estadísticas). (En línea). Consultado 20 de Agosto 2017. Disponible en: <http://www.produce.gob.pe/index.php/estadistica/acuicultura>.

Rakocy, JE; Bailey, DS; Martin, JM; Shultz, RC. 2000. Tilapia production systems for the Lesser Antilles and other resource-limited, tropical areas. In: Fitzsimmons, K. and Filho, J.C. (eds) *Tilapia Culture in the 21st Century*. Proceedings from the Fifth International Symposium on Tilapia Aquaculture, Rio de Janeiro, Brazil. American Tilapia Association, Charles Town, West Virginia, and ICLARM, Penang, Malaysia, pp. 651–662.

Ray, AJ. 2012. Study Shows Lower Biofloc Concentration May Improve Shrimp Production. *Global Aquacult. Advocate*, 15(2), 28-31.

Ray, AJ; Lotz, JM. 2017. Comparing salinities of 10, 20, and 30‰ in intensive, commercial-scale biofloc shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production systems. *Aquaculture*, 476, 29-36.

Reyes, A. 2009. Análisis y control del abultamiento filamentoso en una planta de tratamiento de efluentes. Tesis ingeniero químico. Veracruz, MX. Universidad Veracruzana. 72 p.

Riche, M; Garling, D. 2003. Feeding Tilapia in Intensive Recirculating Systems. NCRAC Extension Fact Sheets. Paper 6. Disponible en http://lib.dr.iastate.edu/ncrac_factsheets/6

Rodríguez-Miranda, J; Ramírez-Wong, B; Vivar-Vera, MA; Solís-Soto, A; Gómez-Aldapa, CA; Castro-Rosas, J; Delgado-Licon, 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.

Rosero, VH; Cuatin, MF; Hoyos, JL. 2016. Calidad física de un alimento extruído para tilapia (*Oreochromis spp.*) con inclusión de ácidos orgánicos. *Agronomía Colombiana*, 34(1Supl), S1163-S1165.

Ross, LG. 2000. Environmental physiology and energetics. In *Tilapias: Biology and exploitation* (pp. 89-128). Springer, Dordrecht.

Rubio, V. 2009. Interacciones entre los factores ambientales y la ingesta de alimento. Cap. 12 en: *La nutrición y alimentación en piscicultura*. Fundación observatorio español de acuicultura. Madrid, España.

Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de Tilapia. Coordinación de Acuicultura, Departamento de Ciencias Ambientales y Agrarias, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.

Salvador, R; Müller, EE; Freitas, JC; Leonhardt, JH; Pretto-Giordano, LG; Dias, JA; Moreno, AM. 2003. Isolation of *Streptococcus* spp from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and quality of water in hapas nets in north region of Parana state, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 24, n. 1, p. 35-42, disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000600023>

Samocha, TM; Patnaik, S; Speed, M; Ali, AM; Burger, JM; Almeida, RV; Ayub, Z; Harisanto, M; Horowitz, A; Brock, DL. 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Engineering*, 36, 184-191.

Schweitzer, R; Arantes, R; Costódio, PFS; Do Espírito Santo, CM; Arana, LV; Seiffert, WQ; Andreatta, ER. 2013. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56, 59-70.

Serfling, SA. 2000. Closed-cycle, controlled environment systems: The Solar Aquafarms Story. *The Advocate*, Junio 48-51.818.

Shelton, WL; Popma, TJ. 2006. Biology. In: Chhorn, L.; Webster, C.D., editors. *Tilapia: biology, culture and nutrition*. Chicago: *Food Products Press*, 1-49.

Shiau, SY. 2002. Tilapia, *Oreochromis* spp. In *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture* (Webster, C. D. and C. Lim eds.), CABI Publishing, New York, NY. 273- 292.

Shipton, TA; Hasan, MR. 2013. An overview of the current status of feed management practices. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. *On-farm feeding and feed management in aquaculture*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. Rome, FAO. pp. 3–20.

Soderberg, R. 2017. *Aquaculture Technology: Flowing Water and Static Water Fish Culture*. CRC Press.

- Stickney, R. 2017. Tilapia Feeding Habits and Environmental Tolerances. Tilapia in Intensive Co-culture. World aquaculture society. Wiley Blackwell. p 25-35.
- Suresh, V; Bhujel, R. 2012. Tilapias. 338-364 pp. In: Lucas J.S. & P.C. Southgate (eds), Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. Second Edition. Wiley-Blackwell Publishing, Chichester. 629 p.
- Swick, AR. 2001. Feed based tilapia culture. American Soybean Association, 541 Orchard Road #11-03 Liat Towers, Singapore 238881.
- Tacon, A; Forster, IP. 2003. Aquafeeds and the environment: policy implications. Aquaculture 226: 181-189.
- Thomas, P; Michael, M. 1999. Tilapia Life History and Biology SRAC. Southern, 1, 1-4.
- Tidwell, JH. 2012a. Aquaculture production systems. Cap. 11. Recirculating aquaculture systems: Ebeling, J; Timmons, MB. 1ed. Wiley-Blackwell. 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014-8300, EU.
- Tidwell, JH. 2012b. Aquaculture production systems. Cap. 12. Biofloc-based Aquaculture Systems: Craig, LB; Ray, AJ; Leffler, JW; Avnimelech, Y. 1ed. Wiley-Blackwell. 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014-8300, EU.
- Timmons, MB; Ebeling, JM; Piedrahita, RH. 2009. Acuicultura en sistemas de recirculación, LLC Edición. Ithaca, USA: Cayuga Aqua Ventures, 959 pp
- Timmons, MB; Ebeling, JM; Wheaton, FW; Summerfelt, ST; Vinci, BJ. 2002. Recirculating aquaculture systems. 2 ed. New York: Cayuga Aqua Venture EU. 769 p.
- Toledo, DMI. 1993. Determinación de Índices de calidad Física de alimentos para peces. I curso Regional Teórico Demostrativo de capacitación en Control de Calidad de Insumos y Dietas Acuícolas. Proyecto FAO AQUILA II. Fundación Chile, Santiago de Chile.
- Toledo, JJ; Castro, JGD. 2001. Parâmetros físico-químicos da água em viveiros da estação de piscicultura de Alta Floresta, Mato Grosso. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. 1 (3): 2-10.
- Tucker, JR.1998. Marine Fish Culture. Kluwer Academic Publishers, Boston, EU. 750 p.

Umar, S; Kamarudin, MS; Ramezani, YE. 2013. Physical properties of extruded aquafeed with a combination of sago and tapioca starches at different moisture contents. *Animal Feed Science and Technology*, 183(1-2), 51–55. doi: 10.1016/j. anifeedsci.2013.03.009.

Vásquez, W. *Principios de Nutrición Aplicada al cultivo de peces*. Universidad de los Llanos. 2004. 101p

Velazco, JL. 2014. Contribución al estudio de las necesidades nutritivas de la corvina (*Argyrosomus regius*, Asso 1801). Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, ES. 181 p.

Vilani, FG; Schweitzer, R; Da Fonseca Arantes, R; Do Nascimento Vieira, F; Do Espírito Santo, CM; Seiffert, WQ. 2016. Strategies for water preparation in a biofloc system: Effects of carbon source and fertilization dose on water quality and shrimp performance. *Aquacultural Engineering*, 74, 70-75.

Watanabe, WO; Losordo, TM; Fitzsimmons, K; Hanley, F. 2002. Tilapia production systems in the Americas: Technological Advances, trends and Challenges. *Rev. Fisheries Sci.*, 10(3-4): 465- 498.

Wei, Y; Liao, SA; Wang, AL. 2016. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, 465, 88-93.

Widanarni, Ekasari, J; Maryam, S. 2012. Evaluation of Biofloc Technology Application on Water Quality and Production Performance of Red Tilapia *Oreochromis* sp. Cultured at Different Stocking Densities. *HAYATI Journal of Biosciences*. Vol. 19 No. 2, p 73-80. Disponible en: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/hayati> DOI: 10.4308/hjb.19.2.73

Xu, WJ; Morris, TC; Samocha, TM. 2016. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*, 453, 169-175.

Avnimelech, Y. 2012. *Biofloc Technology - A Practical Guide Book*, 2nd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA. 272p.

Yusoff, F; Banerjee, S; Khaton, H; Shariff, M. 2010. Biological approaches in management of nitrogenous compounds in aquaculture systems. *Dynamic Biochemistry*,


Process Biotechnology and molecular Biology. 21-31 p. Institute of bioscience, Universiti Putra Malaysia. Malaysia.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Reprocesamiento de la DE para la obtención de la DP. Presentación de extruído (a, b), pulverizado (c, d), mezcla, peletizado y secado de dieta reprocesada (e, f, g, h, i).



Anexo 2: Informe de análisis proximal del alimento balanceado de tipo extruído (dieta extruída) empleado para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en sistemas SC y SBF.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480830

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0644/2015

CLIENTE : Prof. Beatriz Ángeles - Marco De La Cruz
NOMBRE DEL PRODUCTO : Extruido para peces
 (Denominación responsabilidad del cliente)
MUESTRA : PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : 09-06-2015
FECHA DE ANÁLISIS : Del 09/06/15 al 17/06/15
CANTIDAD DE MUESTRA : 98 gramos
PRESENTACION : muestra en bolsa de polietileno
IDENTIFICACION : AQ-0644/2015

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

ANALISIS	Resultados
a.- HUMEDAD, %	9.57
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	40.91
c.- GRASA, %	6.12
d.- FIBRA CRUDA, %	3.06
e.- CENIZA, %	9.84
f.- ELN ¹ , %	30.50


ELN¹ = EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO

Métodos utilizados:

a.- AOAC (2005), 950.46	c.- AOAC (2005), 2003.05
b.- AOAC (2005), 984.13	d.- AOAC (2005), 962.09
e.- AOAC (2005), 942.05	


Atentamente,

La Molina, 17 de Junio del 2015



Ing. Gloria Palacios
 Jefe del Laboratorio de Evaluación
 Nutricional de Alimentos

Anexo 3: Informe de análisis proximal del alimento balanceado reprocesado a partir del alimento extruído (tipo peletizado) empleado para el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en sistemas SC y SBF.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS
 Av. La Molina s/n - La Molina
 TELEFAX 3480830

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0645/2015

CLIENTE : Prof. Beatriz Ángeles - Marco De La Cruz
NOMBRE DEL PRODUCTO : Peletizado para peces
 (Denominación responsabilidad del cliente)
MUESTRA : PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : 09-06-2015
FECHA DE ANÁLISIS : Del 09/06/15 al 17/06/15
CANTIDAD DE MUESTRA : 190 gramos
PRESENTACION : muestra en bolsa de polietileno
IDENTIFICACION : AQ-0645/2015

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO

ANALISIS	Resultados
a.- HUMEDAD, %	8.61
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	41.19
c.- GRASA, %	6.80
d.- FIBRA CRUDA, %	3.12
e.- CENIZA, %	9.98
f.- ELN ¹ , %	30.30


ELN¹ = EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO

Métodos utilizados:

a.- AOAC (2005), 950.46	c.- AOAC (2005), 2003.05
b.- AOAC (2005), 984.13	d.- AOAC (2005), 962.09
e.- AOAC (2005), 942.05	

Atentamente,

La Molina, 17 de Junio del 2015



Ing. Gloria Palacios
 Jefe del Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos
 Universidad Nacional Agraria La Molina

Anexo 4: Informe de análisis para la determinación de carbono en el sustrato carbonado empleado en los tratamientos con SBF en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica con dos tipos de dietas en sistemas de cultivo biofloc y semicerrado.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE
MATERIA ORGANICA**




SOLICITANTE : MARCO DE LA CRUZ RIVAS
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : MELAZA
REFERENCIA : H.R. 51119
BOLETA : 12375
FECHA : 07/09/15

Nº LAB	CLAVES	C g/ L
560	100 g melaza	400.90



Sady García Bendezú
Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio

Anexo 5: Informe de análisis para la determinación de carbono de las dietas extruída y de tipo peletizado empleados en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en sistemas de cultivo biofloc y semicerrado.

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE AGRONOMIA LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES</p>										
INFORME DE ANALISIS ESPECIAL											
SOLICITANTE	:	MARCO DE LA CRUZ RIVAS									
PROCEDENCIA	:	LIMA/ LIMA/ LA MOLINA									
MUESTRA DE	:	ALIMENTO BALANCEADO									
REFERENCIA	:	H.R. 51120									
BOLETA	:	12375									
FECHA	:	07/09/15									
<table border="1"><thead><tr><th>Nº LAB</th><th>CLAVES</th><th>C %</th></tr></thead><tbody><tr><td>4023</td><td>Extruído</td><td>48.23</td></tr><tr><td>4024</td><td>Peletizado</td><td>46.62</td></tr></tbody></table>			Nº LAB	CLAVES	C %	4023	Extruído	48.23	4024	Peletizado	46.62
Nº LAB	CLAVES	C %									
4023	Extruído	48.23									
4024	Peletizado	46.62									
 Dr. Sady García Bendezu Jefe de Laboratorio											
<p>Av. La Molina s/n Campus UNALM Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe</p>											

Anexo 6: Unidades experimentales(a) y (b), tanques de almacenamiento de agua para renovaciones parciales y compensaciones por evaporación (c) y equipo de aireación (*Blower* o soplador de aire) (d), empleados durante el experimento.



Anexo 7: Registro de la longitud y diámetro de la dieta extruída (DE) y dieta peletizada (DP) empleadas en el experimento.

Muestra N°	DE		DP	
	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	2,0	2,0	5,0	2,5
2	2,0	2,0	3,0	2,2
3	1,9	2,0	6,0	3,0
4	3,0	2,2	4,5	2,0
5	1,5	2,0	2,5	2,0
6	2,5	2,5	4,0	2,0
7	2,5	2,2	3,5	2,2
8	2,5	2,5	2,5	2,0
9	2,5	2,0	3,5	2,2
10	2,0	2,5	6,0	2,5
11	2,2	2,5	3,0	2,2
12	2,8	2,5	5,0	2,2
13	2,2	2,0	2,5	2,2
14	2,5	2,0	4,0	2,2
15	2,0	2,0	4,0	2,5
16	2,2	2,2	2,5	2,5
17	3,0	2,5	2,5	2,0
18	2,5	2,5	4,0	2,2
19	2,5	2,0	3,0	2,2
20	2,0	2,0	2,5	2,3
21	2,5	2,5	2,5	2,5
22	2,5	2,0	3,0	2,2
23	2,5	2,5	4,5	2,0
24	2,5	2,0	4,0	2,0
25	1,8	2,2	3,0	2,0
26	2,0	2,2	3,0	2,2
27	2,5	2,5	5,0	2,2
28	2,5	2,5	3,0	2,2
29	2,5	2,5	2,5	2,5
30	2,0	2,0	2,5	2,2
31	2,5	2,0	4,0	2,2
32	2,5	2,5	4,0	3,0
33	2,5	1,8	3,0	2,5
34	2,5	2,2	5,0	2,5
35	2,0	2,0	2,5	2,5
36	2,5	2,0	2,5	2,5
37	3,0	2,0	3,0	2,2
38	2,5	2,5	2,5	2,2
39	2,5	2,0	2,5	2,0
40	2,0	2,2	2,5	2,0
41	2,8	2,5	3,0	2,0
42	2,0	1,8	2,5	2,5
43	1,5	1,8	4,0	2,2
44	1,8	1,8	2,0	2,0
45	2,2	1,8	3,0	2,0
Promedio	2,32	2,18	3,39	2,25
Desviación estándar (±)	0,36	0,25	1,01	0,25

Anexo 8: Registro de las unidades por gramo (Izquierda) y de la velocidad de caída (VC) o hundimiento (Derecha) de la DE y DP empleadas en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.

Muestra N°	Dieta extruída		Dieta peletizada	
	Peso (g)	Unidades	Peso (g)	Unidades
1	1,0004	110	1,002	65
2	1,0016	117	1,0252	45
3	1,0004	116	1,0175	39
4	1,0538	122	1,0109	37
5	1,0035	108	1,016	52
6	1,0012	115	1,0035	55
7	1,0002	111	1,0157	38
8	1,0085	119	1,0101	41
9	1,0052	114	1,0011	67
10	1,0016	118	1,0048	54
11	1,0321	120	1,0068	52
12	1,054	122	1,0105	38
13	1,001	112	1,0047	55
14	1,002	115	1,0088	53
15	1,0002	119	1,0111	39
16	1,0238	121	1,0124	37
17	1,0088	119	1,0033	44
18	1,0019	116	1,0014	60
19	1,0007	115	1,0033	48
20	1,0006	114	1,0145	39
Promedio	1,0101	116	1,0091	47,9
Desviación estándar (±)	0,02	3,95	0,01	9,58

Muestra N°	Altura (cm)	Dieta peletizada		Dieta extruída	
		Tiempo	VC	Tiempo	VC
		s	cm s ⁻¹	s	cm s ⁻¹
1	30	6,8	5,15	6,7	5,22
2		7,9	4,43	6	5,83
3		5,2	6,73	6	5,83
4		4,4	7,95	7	5,00
5		4	8,75	11	3,18
6		5,1	6,86	6	5,83
7		4,1	8,54	12,6	2,78
8		3,9	8,97	7,8	4,49
9		4,9	7,14	6,8	5,15
10		5,2	6,73	13,2	2,65
11		4,9	7,14	13,2	2,65
12		7,3	4,79	9	3,89
13		5,2	6,73	7,6	4,61
14		4,4	7,95	7,5	4,67
15		4	8,75	13,7	2,55
16		4,1	8,54	7	5,00
17		3,9	8,97	11	3,18
18		4,9	7,14	6	5,83
19		4,9	7,14	7,8	4,49
20		5,2	6,73	11	3,18
Promedio		5,02	7,26	8,85	4,30
Desviación estándar (±)		1,12	1,35	2,74	1,19

Anexo 9: Registro de la flotabilidad (Izquierda) y análisis de la pérdida de materia seca (PMS) e hidroestabilidad (H) (Derecha) de la dieta extruída empleada en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.

N° Muestra	Dieta extruída		
	Tiempo (minutos)		
	2	5	10
1	10	10	2
2	9	8	8
3	8	8	8
4	8	8	8
5	8	8	8
6	9	8	5
7	9	7	6
8	8	8	6
9	8	8	7
10	8	8	6
11	9	8	6
12	10	10	5
13	10	10	2
14	9	8	4
15	9	8	4
16	9	7	5
17	8	8	6
18	9	8	5
19	10	8	5
20	10	8	6
Promedio	8,9	8,2	5,6
Desviación estándar (±)	0,79	0,83	1,76

Dieta	Tiempo	Pérdida de materia seca (PMS)	Hidroestabilidad (H)
	minutos	%	%
DE	5	8,39 ± 1,75	91,60 ± 1,75
	10	9,85 ± 1,50	90,14 ± 1,50
	15	11,94 ± 2,08	88,06 ± 2,08
	30	13,90 ± 0,49	86,09 ± 0,49
DP	5	7,86 ± 2,44	92,14 ± 2,44
	10	9,57 ± 2,77	90,43 ± 2,77
	15	10,91 ± 2,47	89,09 ± 2,47
	30	13,58 ± 2,05	86,42 ± 2,05
DE	30	9,95 ± 1,28	90,05 ± 1,28
	60	11,70 ± 0,31	88,30 ± 0,31
	90	13,20 ± 0,95	86,80 ± 0,95
	120	14,28 ± 0,57	85,72 ± 0,57
DP	30	9,06 ± 1,12	90,94 ± 1,12
	60	10,47 ± 0,10	89,53 ± 0,10
	90	13,05 ± 0,16	86,96 ± 0,16
	120	13,26 ± 0,29	86,74 ± 0,29

Anexo 10: Tasa de alimentación diaria empleada en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica en los tratamientos.

Semana	Fecha	Día	Tasa de alimentación diaria (TAD)	Frecuencia de alimentación (FA)
(N°)	2015	(Acumulado)	(%)	
1	14/07	7	6	5
2	21/07	14	6	5
3	28/07	21	4,5	4
4	04/08	28	4,5	4
5	11/08	35	3,5	4
6	18/08	42	3,5	4
7	25/08	49	3,5	3
8	01/09	56	3,5	3

Anexo 11: Fracción decimal (proporción) del NAT como amonio no ionizado en agua dulce a diferentes valores de pH y temperatura (°C).

pH	Temperatura (°C)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7,0	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
7,2	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,011	0,012	0,015
7,4	0,007	0,008	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,023
7,6	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,023	0,027	0,031	0,036
7,8	0,018	0,021	0,024	0,028	0,032	0,036	0,042	0,048	0,057
8,0	0,028	0,033	0,038	0,043	0,049	0,057	0,065	0,075	0,087
8,2	0,044	0,051	0,059	0,067	0,076	0,087	0,100	0,114	0,132
8,4	0,069	0,079	0,090	0,103	0,117	0,132	0,149	0,169	0,194
8,6	0,105	0,120	0,136	0,154	0,172	0,194	0,218	0,244	0,276
8,8	0,157	0,178	0,200	0,223	0,248	0,276	0,306	0,339	0,377
9,0	0,228	0,255	0,284	0,313	0,344	0,377	0,412	0,448	0,490
9,2	0,319	0,352	0,386	0,420	0,454	0,489	0,526	0,563	0,603
9,4	0,426	0,463	0,500	0,534	0,568	0,603	0,637	0,671	0,707
9,6	0,541	0,577	0,613	0,645	0,676	0,706	0,736	0,763	0,792
9,8	0,651	0,684	0,715	0,742	0,768	0,792	0,815	0,836	0,858
10,0	0,747	0,774	0,799	0,820	0,840	0,858	0,875	0,890	0,905
10,2	0,824	0,844	0,863	0,878	0,892	0,905	0,917	0,928	0,938

Fuente: Boyd (1990).

Anexo 12: Evaluación de SST en el experimento. Unidades experimentales con baja (a) y alta concentración de SST (b), determinación de SST en el cultivo de juveniles de tilapia nilótica (c) y (d).



Anexo 13: Dosificación de bicarbonato de sodio (g) para corrección de la alcalinidad en los tratamientos con SBF.

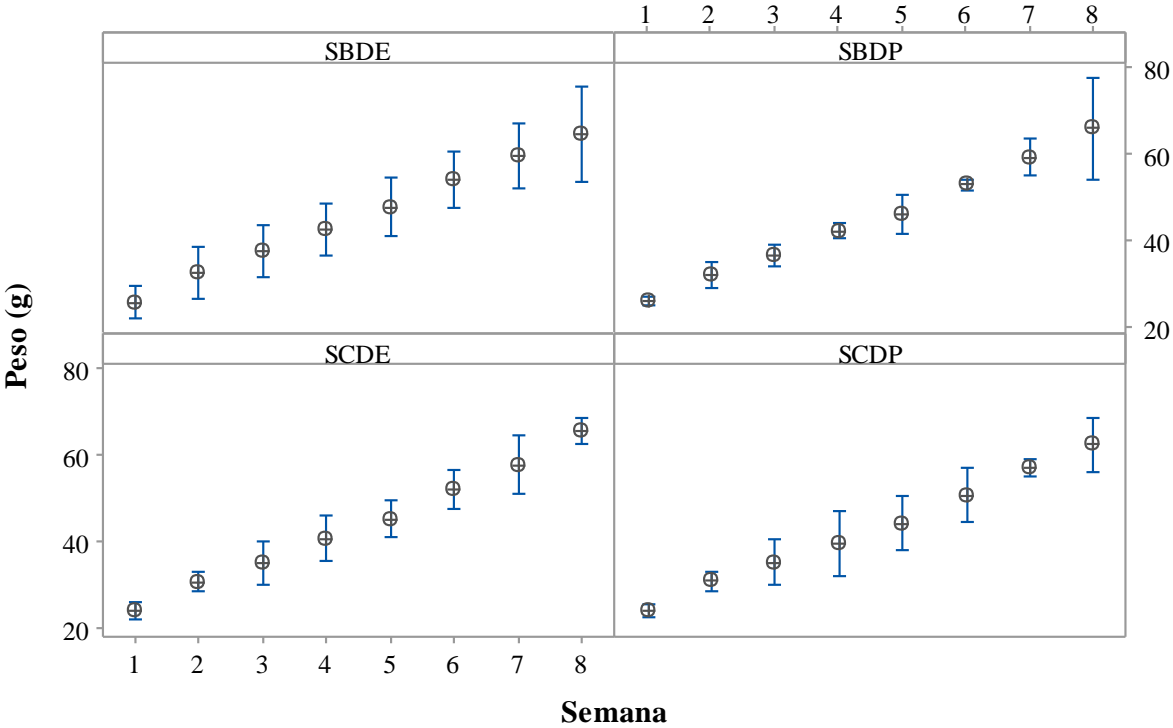
Volumen del sistema		Dosificación de Bicarbonato de Sodio - NaHCO ₃ (g)										
		Incremento de alcalinidad (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)										
(Galones)	(Litros)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200
10	38	<1	1	2	3	3	4	5	5	6	6	15
20	76	1	3	4	5	6	8	9	10	11	13	25
30	114	2	4	6	8	10	11	13	15	15	20	40
40	151	3	5	8	10	13	15	20	20	25	25	50
50	189	3	6	10	13	15	20	25	25	30	30	65
60	227	4	8	11	15	20	20	25	30	35	40	65
70	265	5	9	13	20	20	25	30	35	40	45	90
80	303	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	100
90	341	6	11	15	25	30	35	40	45	50	55	110
100	379	6	13	20	25	30	40	45	50	55	65	130
200	757	13	25	40	50	65	75	90	100	110	130	250
300	1136	20	40	55	75	95	110	130	150	170	190	380
400	1514	25	50	75	100	130	150	180	200	220	260	510
500	1893	30	65	95	130	160	190	220	260	280	320	640
600	2271	40	75	110	150	190	220	260	300	340	380	760
700	2650	45	90	130	180	220	260	320	360	400	450	890
800	3028	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	1020
900	3407	60	110	170	220	280	340	400	450	500	550	1150
1000	3785	65	130	190	250	300	400	450	500	550	600	1270

FUENTE: Loyless y Malone 1997.

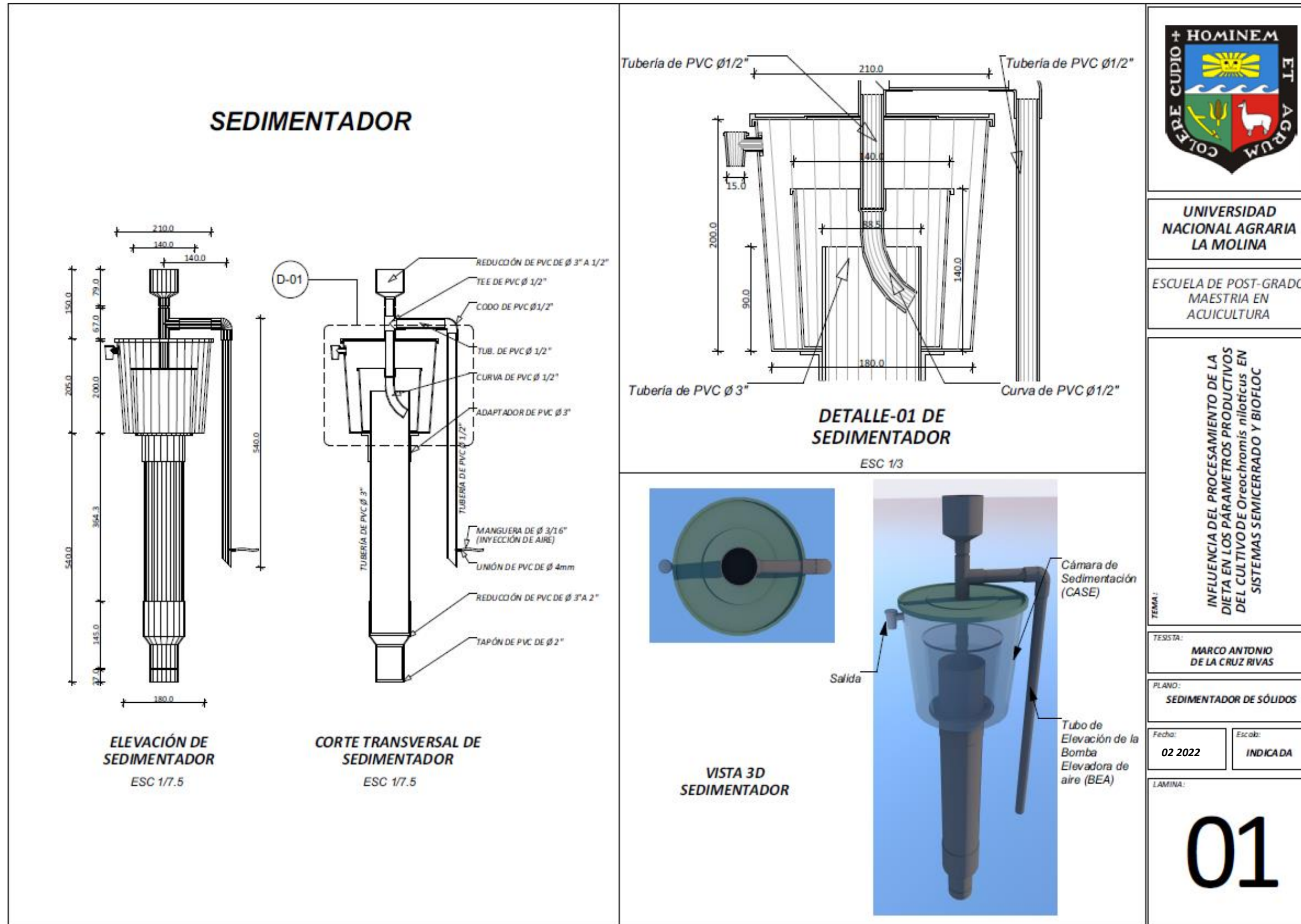
Anexo 14: Colecta, revisión de branquias y muestreo para biometría de juveniles de tilapia en tratamiento con SBF durante el experimento



Anexo 15: Crecimiento en peso (g) de juveniles de tilapia nilótica en cultivo (\pm desviación estándar) para los tratamientos (n=12) durante el período experimental.



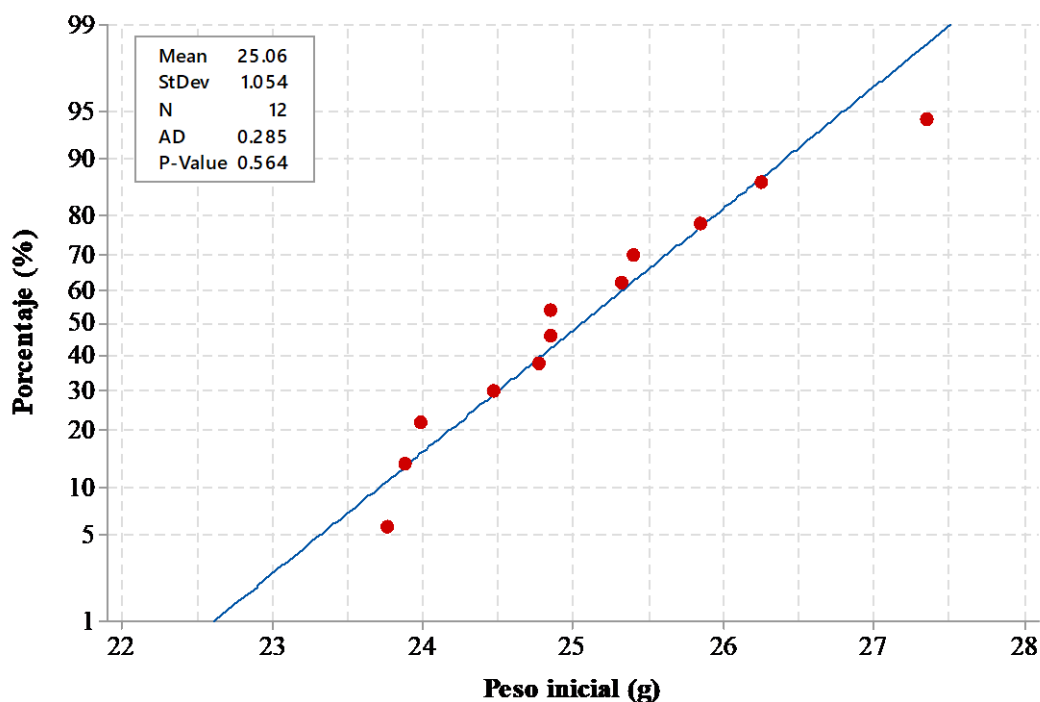
Anexo 16: Diseño del sedimentador de sólidos empleado en los tratamientos con SBF en el experimento (Plano 2D a escala y vista 3D).



Anexo 17: Análisis estadístico de parámetros productivos de la experimentación

1. Peso inicial (g)

1.1. Prueba de normalidad de Anderson-Darling ($\alpha: 0,05$)



El peso inicial (g) se ajusta a una distribución normal ($0,564 > \alpha$).

1.2. Prueba de ANOVA – Modelo lineal general ($\alpha: 0,05$)

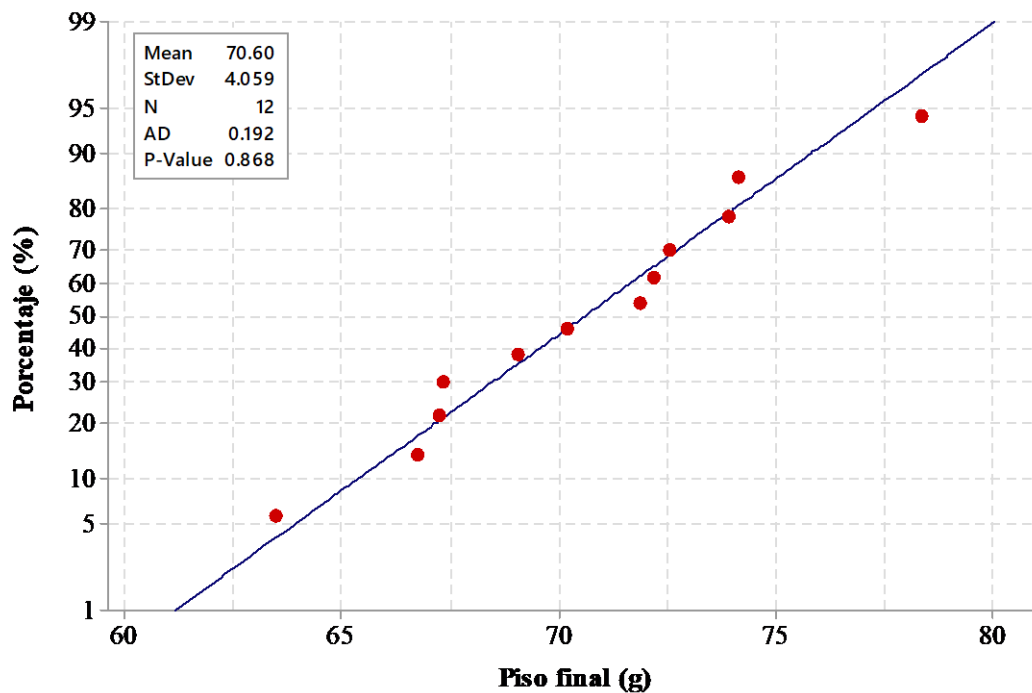
Factor	Niveles	Valores
Sistema	2	SC, SB
Dieta	2	DE, DP

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sistema	1	4,7873	4,78729	5,24	0,051
Dieta	1	0,0898	0,08983	0,1	0,762
Sistema*Dieta	1	0,0346	0,03457	0,04	0,851
Error	8	7,3022	0,91277		
Total	11	12,2139			

El peso inicial (g) de los sistemas, dietas y sistema*dieta tienen el mismo efecto ($0,051 > \alpha$; $0,762 > \alpha$; $0,851 > \alpha$).

2. Peso final (g)

2.1. Prueba de normalidad de Anderson-Darling ($\alpha: 0,05$)



El peso final (g) se ajusta a una distribución normal ($0,868 > \alpha$).

2.2 Prueba de ANOVA – Modelo lineal general ($\alpha: 0,05$)

Factor	Niveles	Valores
Sistema	2	SC, SB
Dieta	2	DE, DP

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sistema	1	0,000	0,000	0,000	1,000
Dieta	1	0,103	0,103	0,01	0,941
Sistema*Dieta	1	41,998	41,9983	2,41	0,159
Error	8	139,171	17,3964		
Total	11	181,273			

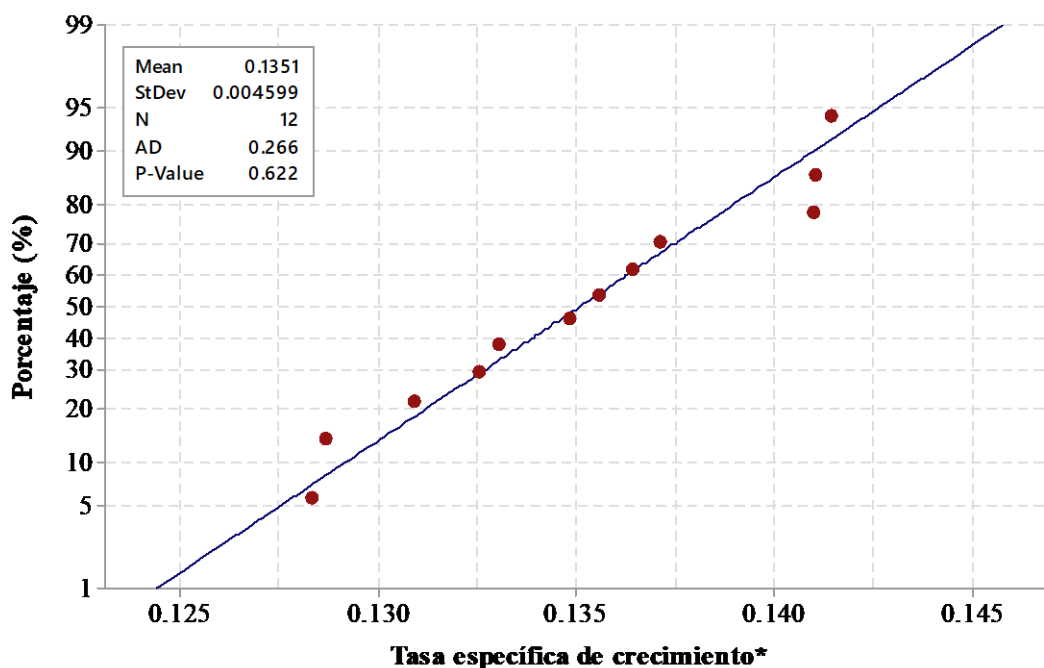
El peso final (g) de los sistemas, dietas y sistema*dieta tienen el mismo efecto ($1,000 > \alpha$; $0,941 > \alpha$; $0,159 > \alpha$).

3. Tasa específica de crecimiento (%.d⁻¹)

3.1. Transformación de datos

$$\text{ASIN}(\text{SQRT}(\text{VARIABLE}/100))$$

3.2. Prueba de normalidad de Anderson-Darling ($\alpha: 0,05$)



(*) Datos transformados

La tasa específica de crecimiento (%.d⁻¹) se ajusta a una distribución normal ($0,622 > \alpha$).

3.3 Prueba de ANOVA – Modelo lineal general ($\alpha: 0,05$)

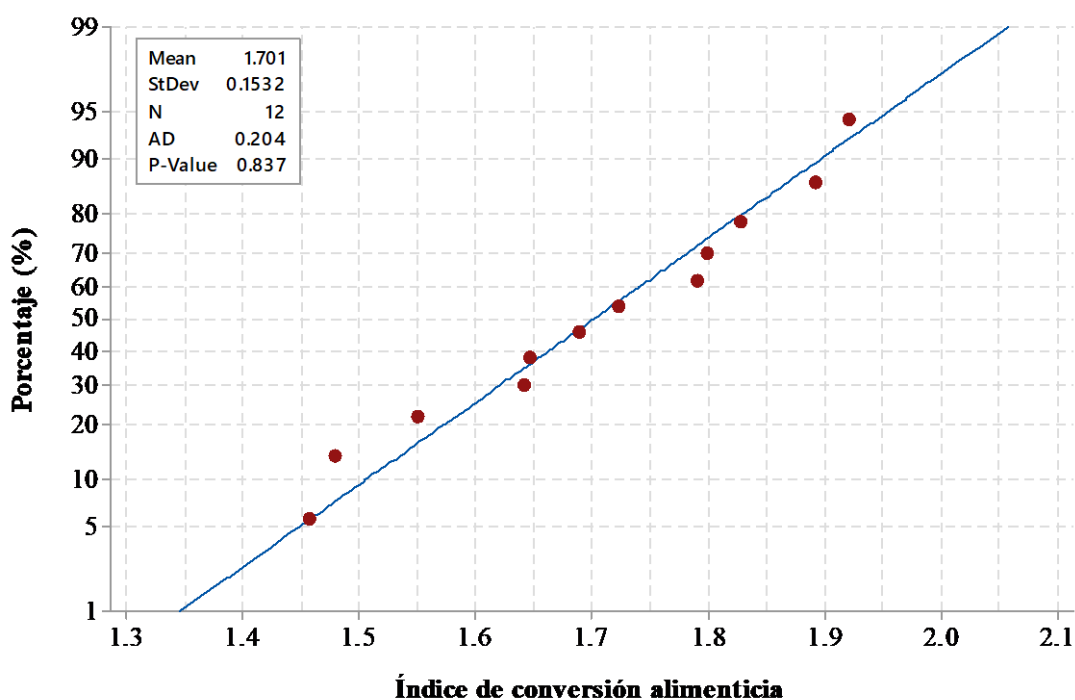
Factor	Niveles	Valores
Sistema	2	SC, SB
Dieta	2	DE, DP

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sistema	1	0,000035	0,000035	1,68	0,231
Dieta	1	0,000000	0,000000	0,02	0,904
Sistema*Dieta	1	0,000029	0,000029	1,35	0,278
Error	8	0,000168	0,000021		
Total	11	0,000233			

La tasa específica de crecimiento (%.d⁻¹) de los sistemas, dietas y sistema*dieta tienen el mismo efecto ($0,231 > \alpha$; $0,904 > \alpha$; $0,525 > \alpha$).

4. Índice de conversión alimenticia (kg.kg⁻¹)

4.1. Prueba de normalidad de Anderson-Darling ($\alpha: 0,05$)



El índice de conversión alimenticia (kg.kg⁻¹) se ajusta a una distribución normal ($0,837 > \alpha$).

8.2 Prueba de ANOVA – Modelo lineal general ($\alpha: 0,05$)

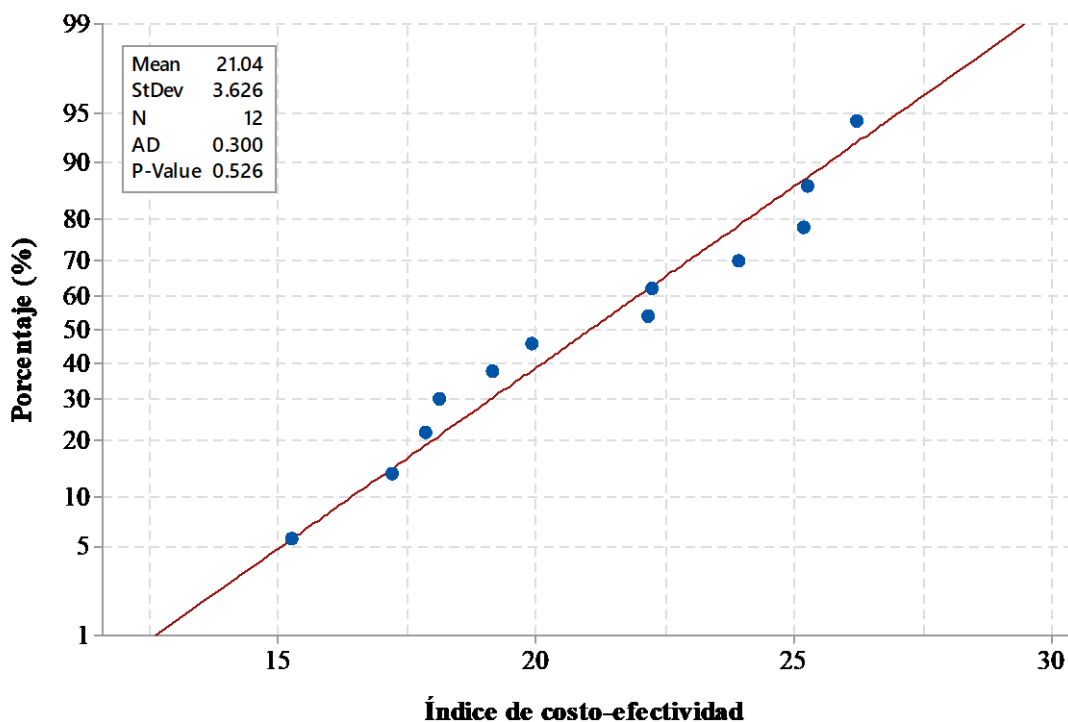
Factor	Niveles	Valores
Sistema	2	SC, SB
Dieta	2	DE, DP

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sistema	1	0,047806	0,047806	2,77	0,135
Dieta	1	0,000058	0,000058	0	0,955
Sistema*Dieta	1	0,072333	0,072333	4,19	0,075
Error	8	0,138023	0,017253		
Total	11	0,25822			

El índice de conversión alimenticia (kg.kg⁻¹) de los sistemas, dietas y sistema*dieta tienen el mismo efecto ($0,135 > \alpha$; $0,955 > \alpha$; $0,075 > \alpha$).

5. Índice de costo-efectividad ($S/..kg^{-1}$)

5.1. Prueba de normalidad de Anderson-Darling ($\alpha: 0,05$)



El índice de costo-efectividad se ajusta a una distribución normal ($0,837 > \alpha$).

5.2 Prueba de ANOVA – Modelo lineal general ($\alpha: 0,05$)

Factor	Niveles	Valores
Sistema	2	SC, SB
Dieta	2	DE, DP

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Sistema	1	117,347	117,347	50,31	0,000
Dieta	1	0,212	0,212	0,09	0,771
Sistema*Dieta	1	8,422	8,422	3,61	0,094
Error	8	18,661	2,333		
Total	11	144,642			

El índice de costo-efectividad ($S/..kg^{-1}$) de los sistemas y dietas no tienen el mismo efecto entre sistemas ($0,000 < \alpha$) pero tienen el mismo efecto entre dietas y sistema*dieta ($0,771 > \alpha$; $0,094 > \alpha$).

5.3 Comparación de medias (test de *Tukey*)

Sistema	N	Media	Agrupación
SC	6	24,1659	A
SB	6	17,9117	B

Dieta	N	Media	Agrupación
DP	6	21,1716	A
DE	6	20,906	A

Sistema*Dieta		N	Media	Agrupación
SC	DP	3	25,1364	A
SC	DE	3	23,1954	A
SB	DE	3	18,6167	B
SB	DP	3	17,2067	B

Los

tratamientos que incluyen el sistema semicerrado (SC) son estadísticamente diferentes a los tratamientos que incluyeron el sistema biofoc (SB).