

Relación entre factores dimensionales y de composición en la determinación de la calidad del huevo en tilapia roja (*Oreochromis spp*)*

Rubén Darío Valbuena Villarreal**, Rafael Rosado Puccini***, Carlos Arturo David Ruales****

Resumen

Introducción. La calidad del huevo es un módulo incluyente y necesario para la actividad acuícola, con una aplicabilidad que ha sido demostrada en especies sobre las que se manifiestan intereses productivos. **Objetivo.** Como estrategia para mejorar estándares de producción de semilla en tilapia roja, en este trabajo se buscó determinar la existencia de relaciones funcionales entre la estructura del huevo, tanto en dimensión como en composición, y los resultados de calidad definidos en términos de índices de supervivencia en las etapas iniciales. **Materiales y métodos.** El seguimiento fue adelantado sobre desoves de 50 hembras y, para cada una y su correspondiente puesta, se tomaron registros de 15 variables morfológicas y dimensionales, respectivamente, las que se complementaron con 11 variables más, asociadas con la composición de los huevos. Se determinó la eficiencia del proceso de producción a partir de la supervivencia, la que se registró en la forma de tres Índices de Eficiencia (IEINC: incubación; IELARV: larvicultura y el IETOTAL que aglutina los dos anteriores). El análisis de los datos se realizó con base en correlaciones significativas ($\alpha=0.05$), determinadas entre los pares de variables y entre estas y los índices; cuando fue procedente, se determinaron modelos descriptivos a través de regresión lineal simple y múltiple. **Resultados.** No se estableció relación significativa en la eficiencia entre las fases de incubación y larvicultura. Se obtuvieron ecuaciones lineales que explicaron el IEINC a través del volumen de la puesta, y el IELARV a través de la densidad del huevo, aunque con bajos coeficientes de determinación en los modelos de-

finidos. Relaciones lineales significativas, que con un mayor ajuste explican los índices, incluyeron el contenido de ácidos grasos saturados en particular. **Conclusiones.** Si bien los modelos calculados fueron significativos, su utilidad práctica se ve limitada por la baja capacidad predictiva que significan los reducidos coeficientes de determinación definidos. La eficiencia total del proceso depende principalmente de los resultados que se presentan durante la incubación, pues no hubo relación entre la supervivencia de las fases de incubación y larvicultura en la producción de alevinos de esta especie.

Palabras clave: *Oreochromis*, tilapia roja, calidad del huevo, incubación, larvicultura

Relationship between dimensional and composition factors to determine the quality of red tilapia fish eggs (*Oreochromis*)

Abstract

Introduction. The quality of eggs is an inclusive and necessary module for fish cultivation, and its applicability has been demonstrated in species of production interest. **Objective.** As a strategy to improve the production standards for red tilapia, this research work aimed to determine the existence of functional relationships between the egg's structure under dimension and composition terms, and the quality results defined in terms of survival during the first stages. **Materials and methods.** A follow up process was performed on the spawnings of 50 females and, for each one and her corresponding

* Artículo derivado del proyecto de investigación "Relación entre las características de calidad del huevo y parámetros de desempeño en fase de alevinaje de tilapia roja (*Oreochromis*)", adelantado por la Universidad Surcolombiana con el apoyo del Consejo Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación del Huila, CODECTI-HUILA (Convenio de Cooperación 178 de 2010 Gobernación del Huila - USCO).

** MSc. Decano Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Surcolombiana. Avenida Pastrana Borrero Carrera 1ª, Neiva, Huila, Colombia.

*** MSc. Docente Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Surcolombiana. Neiva, Huila, Colombia.

**** MSc. Docente de la Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia, Colombia. Director Grupo de Investigación en Producción, Desarrollo y Transformación Agropecuaria GITDTA

oviposition, records of 15 morphometric and dimensional variables were taken, respectively, and complemented with 11 variables more, associated to the egg's composition. The efficiency of the production process was determined departing from survival, which was registered through three efficiency rates (IEINC: incubation; IELARV: larvae culture and IETOTAL, which gathers the first two). The analysis of the data was performed based on significant correlations ($\alpha=0.05$), determined between the pairs of variables and between these and the indexes. When it was pertinent, descriptive models were determined via simple and multiple linear regressions. **Results.** No significant relationship was established in the efficiency between the incubation and larviculture stages. Linear equations were obtained, thus explaining IEINC through the volume of the oviposition and the IELARV through the density of the egg, although the determination coefficients were low in the models defined. The significant linear relationships, which with a major adjustment explain the indexes, included the content of saturated fat acids in particular. **Conclusions.** Despite the fact the models calculated were significant, their practical usefulness is limited because the low prediction capability provided by the reduced determination coefficients defined. The total efficiency of the process depends, mainly, on the results that appear during the incubation, because there was no relationship between the survival during the incubation and larvae culture stages in the production of fingerlings of this species.

Key words: *Oreochromis*, red tilapia fish, egg quality, incubation, larviculture.

Relação entre fatores dimensionais e de composição na determinação da qualidade do ovo em tilápia vermelha (*Oreochromis*)

Resumo

Introdução. A qualidade do ovo é um módulo incluído e necessário para a atividade aquícola, com uma

aplicabilidade que foi demonstrada em espécies sobre as que se manifestam interesses produtivos. **Objetivo.** Como estratégia para melhorar padrões de produção de semente em tilápia vermelha, neste trabalho se procurou determinar a existência de relações funcionais entre a estrutura do ovo, tanto em dimensão como em composição, e os resultados de qualidade definidos em termos de índices de sobrevivência nas etapas iniciais. **Materiais e métodos.** O seguimento foi adiantado sobre desovas de 50 fêmeas e, para cada uma e seu correspondente posta, tomaram-se registros de 15 variáveis morfológicas e dimensionais, respectivamente, as que se complementaram com mais 11 variáveis, sócias com a composição dos ovos. Determinou-se a eficiência do processo de produção a partir da sobrevivência, a que se registrou na forma de três Índices de Eficiência (IEINC: encubação; IELARV: larvicultura e o IETOTAL que aglutina os dois anteriores). A análise dos dados se realizou com base em correlações significativas ($\alpha=0.05$), determinadas entre os pares de variáveis e entre estas e os índices; quando foi procedente, determinaram-se modelos descritivos através de regressão linear simples e múltipla. **Resultados.** Não se estabeleceu relação significativa na eficiência entre as fases de encubação e larvicultura. Obtiveram-se equações lineares que explicaram o IEINC através do volume da posta, e o IELARV através da densidade do ovo, ainda que com baixos coeficientes de determinação nos modelos definidos. Relações lineares significativas, que com um maior ajuste explicam os índices, incluíram o conteúdo de ácidos gordurosos saturados em particular. **Conclusões.** Conquanto os modelos calculados foram significativos, sua utilidade prática seve limitada pela baixa capacidade previsível que significam os reduzidos coeficientes de determinação definidos. A eficiência total do processo depende principalmente dos resultados que se apresentam durante a encubação, pois não houve relação entre a sobrevivência das fases de encubação e larvicultura na produção de alevinos desta espécie.

Palavras importantes: *Oreochromis*, tilápia vermelha, qualidade do ovo, encubação, larvicultura.

Introducción

Las tilapias en general muestran una elevada plasticidad en lo que se refiere tanto a crecimiento como a la respuesta en parámetros de desempeño reproductivo; tanto por ésta como por la elevada demanda de semilla que suponen los elevados volúmenes de la producción que se destina a consumo, uno de los desafíos

en la actividad consiste en sostener una oferta suficiente, en términos de cantidad y calidad, de alevinos¹. Es en la viabilidad larvaria en donde la cuantificación del concepto de calidad se hace evidente en la producción de peces, lo que es finalmente el potencial resultado de la interacción de numerosos componentes, especie-específicos, asociados a las propiedades que el oocito adquiere durante su formación²;

de alguna manera, la estructura que finalmente lo configura está fundamentalmente dirigida a partir de la información materna³. En la calidad de los gametos en tilapias se consideran factores determinantes que, en la práctica, se abordan de forma diferente a los que tradicionalmente involucra el concepto; es común que se relacionen factores como fecundidad, talla del huevo y porcentajes de eclosión^{4, 5}, mientras que en otros se consideran también el intervalo entre desoves, la mortalidad en larvas sometidas a ayuno y la presencia de anomalías⁶. En pocas referencias se encuentran relaciones funcionales entre indicadores de desempeño y composición de los huevos. Bajo consideraciones de producción, en las que los requerimientos de un suministro constante de semilla se convierten en una limitante para el caso de las tilapias, dada su asincronía y relativamente baja fecundidad, los estándares de manejo se orientan entonces a mejorar los índices reproductivos. Esta visión se diferencia de la necesidad de establecer tempranamente factores de calidad, que existen para otras especies, en las que, por efectos de utilización de infraestructura y demanda de tiempo, se convierte en un requerimiento operativo obligado⁷. Así, la calidad del huevo es un módulo incluyente y necesario para la actividad, con una aplicabilidad que ha sido demostrada en especies sobre las que se manifiestan intereses productivos.

En esa línea experimental, el objetivo del presente trabajo fue establecer referentes dimensionales y de composición de los huevos, con fines de configurar indicativos destinados a la optimización en los procesos de producción de semilla para la especie. Igualmente, se presentan relaciones significativas destinadas a la predicción de índices de eficiencia en primeras etapas, analizando la viabilidad que en la práctica surge de los modelos obtenidos.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se adelantó en las instalaciones de la Estación Piscícola de Piedra Pintada, ubicada en el municipio de Aipe (Huila), aproximadamente a 38 km de la ciudad de Neiva. El centro se localiza a unos 400 msnm y se surte de las aguas del río Aipe, con un caudal de manejo de 30 L s⁻¹. La temperatura

media es de 27 ± 2.3 °C, el oxígeno disuelto es de 5.6 mg L⁻¹ y el pH es ligeramente alcalino (pH=7.4). En general, los parámetros de calidad de agua de la fuente permiten el manejo de especies de clima cálido, tanto para reproducción como para el levante y engorde. La actividad principal de la estación se focaliza en la producción y distribución de alevinos de tilapia roja; en la infraestructura de incubación y manejo de larvas se cuenta con un circuito cerrado de agua, lo que permite el control y la estabilidad en los parámetros de calidad para las etapas de sostenimiento temprano.

Selección y manejo de reproductores

Los ejemplares utilizados en el seguimiento fueron obtenidos de un lote compuesto por aproximadamente 2.000 reproductores de tilapia roja, entre hembras y machos, los que son mantenidos en lotes separados, en hapas suspendidas en estanques en tierra de aproximadamente 600 m². La revisión de cada lote se efectuó una vez por semana, seleccionando, al final de un período de 120 días, un total de 50 hembras que constituyeron la base del seguimiento experimental; en las revisiones, el criterio primario fue la presencia de huevos en la cavidad bucal, seleccionando finalmente aquellas en las que estos presentaron una coloración crema o amarilla, indicativa de una fertilización reciente. Las hembras seleccionadas fueron medidas en longitud total, utilizando un ictiómetro y aproximando al 0.5 cm más cercano; el peso se tomó con una balanza digital (OHAUS, Pioneer), con aproximación a 0.1 mg; las hembras utilizadas se marcaron en la aleta dorsal para facilitar la identificación y evitar su utilización en revisiones siguientes. Cada puesta fue recolectada por separado y trasladada inmediatamente a la zona de manejo en el laboratorio de la estación.

Manejo y seguimiento en incubación y larvicultura

El volumen de huevos de cada hembra fue medido en probeta de 10 mL, con aproximación a 0.2 mL. Se retiró una fracción de 3-5 g con destino a los análisis de laboratorio; la cantidad restante se ubicó en incubadoras, independientes para cada hembra. Después de la eclosión, las larvas fueron recogidas directamente

sobre canastillas, en donde permanecieron hasta completar la reabsorción, momento en el que fue contado el total de peces presentes. Durante todo el período la mortalidad fue retirada y registrada diariamente, lo que permitió precisar por diferencia el número exacto de huevos que fue obtenido e incubado en cada caso. Finalmente, sobre los tratamientos se registraron las siguientes variables: longitud total (cm), longitud estándar (cm), peso (g), factor de condición (K), volumen de la puesta (mL), peso de la puesta (g), fecundidad relativa (huevos por gramo de hembra), peso medio del huevo (mg), volumen medio del huevo (mm^3), densidad del huevo (mg mm^{-3}), diámetro mayor (mm), diámetro menor (mm) y la relación entre diámetros mayor y menor. La talla de las larvas pos reabsorción, tanto en longitud total como en peso, fue incluida dentro de los análisis. En lo que se refiere a composición, las variables fueron el contenido de proteína, lípidos, energía y ácidos grasos. Con los registros de número inicial de ingreso y las mortalidades en cada fase, la variable respuesta fue la supervivencia, la que se integró en la forma de los siguientes índices de eficiencia:

- Índice de Eficiencia en Incubación (IEINC): describe los resultados durante la etapa y se obtiene con la relación entre el número de huevos obtenido y el número de larvas eclosionadas.
- Índice de Eficiencia en Larvicultura (IE-LARV): se refiere a la etapa de reabsorción y corresponde a la relación número de larvas eclosionadas/número de alevinos comiendo.
- Índice de Eficiencia Total (IETOT): aglutina los dos anteriores y describe la totalidad del proceso; se calcula como número de huevos obtenido/número de alevinos comiendo.

Análisis proximal y perfiles de ácidos grasos

Las muestras destinadas a los análisis de composición fueron congeladas y mantenidas en nitrógeno líquido hasta su traslado a laboratorio, en donde fueron liofilizadas permitiendo su almacenamiento hasta adelantar los procedimientos correspondientes. Se determinó el contenido en proteína (Kjeldalh) y lípidos (Sox-

hlet)⁸, y la energía bruta fue medida en bomba calorimétrica (PARR 121EA, USA). Para los ácidos grasos, la extracción de los lípidos se realizó de acuerdo con la metodología de Folchet *al.*⁹ y la determinación cromatográfica de los ácidos según lo descrito por Betancourt *et al.*¹⁰. El peso de los lípidos fue determinado después de la evaporación del solvente y de la desecación en bomba de vacío a temperatura ambiente; el extracto lipídico fue derivatizado con hidróxido *m*-trifluorofenil-trimetilamonio (MethPrepAlltech®) para la transmetilación de los ácidos grasos presentes. Utilizando éter etílico como solvente, 1 μL fue inyectado en un cromatógrafo de gases (ShimadzuGC-14A) utilizando helio como fase móvil e hidrógeno en el detector FID (flameionization detector); los metil-ésteres de los ácidos grasos se identificaron por comparación con los tiempos de retención de una mezcla estándar de ácidos grasos (Supelco 37 component FAME Mix, SupelcoInc., USA). El perfil individual se realizó sobre 16 ácidos para las primeras 16 muestras y sobre 28 para las restantes; se calcularon los totales de monoinsaturados (MUFAs), poliinsaturados (PUFAs) y saturados (SFAs), además de los que corresponden a las series *n*-3, *n*-6, las relaciones *n*-3/*n*-6 y Eicosapentaenoico/Docosahexaenoico (EPA/DHA).

Análisis de datos

En los resultados de composición, los registros se presentan de forma descriptiva con cada variable expresada como el promedio \pm desviación estándar (DE). La posible relación entre los pares de variables se efectuó mediante análisis exploratorios a través de diagramas de dispersión, verificación de la normalidad de las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha=0,05$), determinando los coeficientes de correlación de Pearson (*r*) entre estas y su nivel de significancia ($p < 0.05$). Análisis de regresión lineal simple y múltiple fueron utilizados para determinar las correspondientes ecuaciones, con base en las correlaciones significativas encontradas. En la construcción se comprobó la significancia de los modelos y de los coeficientes de regresión ($\alpha=0,05$), al igual que la no colinealidad entre las variables incluidas. Los valores del coeficiente de determinación (R^2) y de determinación ajustado (R^2 ajustado) se utilizaron como criterio para determinar la

validez de los modelos, los que fueron definidos a través del procedimiento de pasos sucesivos en el módulo de análisis de regresión lineal del programa estadístico SPSS v 17.0.

Resultados

La temperatura de incubación se mantuvo en $28 \pm 1,54^{\circ}\text{C}$ durante el período de seguimiento; la eclosión se completó entre los 2 y 4 días siguientes al ingreso y las larvas permanecieron en los bastidores por 4-6 días adicionales hasta finalizar la reabsorción de vesícula cuando fue contado el total de los peces presentes. La longitud total promedio de las 50 hembras trabajadas fue de 21.53 ± 2.67 cm, en un rango

de 17.5 a 29 cm; el peso fue de $193.8 \pm 75.64\text{g}$, con rango de 95 a 450g. El valor del factor de condición (K) fue de 1.88 ± 0.27 . En la tabla 1 se presenta el resumen de los registros obtenidos para el total de las hembras y los respectivos lotes de huevos.

En lo referente a la composición de los huevos, los contenidos medios de proteína, lípidos, además de los integrados en ácidos grasos se resumen en la tabla 2. El perfil correspondiente al promedio de cada uno de los ácidos grasos determinados se encuentra en la tabla 3.

Finalmente, los resultados del seguimiento en supervivencia durante las etapas de producción, en la forma de índices, se presentan en la tabla 4.

Tabla 1. Rango, promedio (n = 50), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de las variables morfométricas sobre las hembras y de los resultados de las mediciones sobre cada lote de huevos

	Variables						
	LT	LS	W	K	WTH	VOLTH	FR
Maximo	29	23.5	450	3.03	12.3	16.8	11.24
Minimo	17.5	14	95	1.36	3.16	4.4	1.78
Promedio	21.53	17.39	193.8	1.88	6.62	9.01	5.33
DE	2.67	2.18	75.64	0.27	1.87	2.69	2.22
CV	12.39	12.54	39.03	14.56	28.27	29.91	41.63

	Variables							
	WH	VH	DENS	DMY	DMN	DMYMN	LTL	WL
Maximo	9.98	7.48	2.68	2.84	2.24	1.43	0.98	0.024
Minimo	2.59	3.7	0.5	2.2	1.74	1.2	0.68	0.004
Promedio	6.7	4.98	1.38	2.49	1.94	1.28	0.86	0.011
DE	1.88	0.84	0.43	0.16	0.11	0.05	0.06	0.005
CV	28	16.95	31.3	6.33	5.65	4.13	7.19	40.57

LT: longitud total (cm); LS: longitud estándar (cm); W: peso (g); K: factor de condición; WTH: peso total de la puesta (g); VOLTH: volumen total de la puesta (mL); FR: fecundidad relativa (huevos por gramo de hembra); WH: peso huevo (mg); VH: volumen huevo (mm^3); DENS: densidad huevo (mg/mm^3); DMY: diámetro mayor (mm); DMN: diámetro menor (mm); DMYMN: relación diámetros mayor/menor; LTL: longitud total larva (cm); WL: peso larva (mg).

Tabla 2. Valores medios de contenido en los componentes analizados en las muestras de huevos

Variable	Máximo	Mínimo	Promedio±DE	Cv
Proteína (% Materia Seca)	61.28	50.71	55.95 ± 2.349	4.2
Extracto Etéreo (% Materia Seca)	66.46	16.17	27.45 ± 9.013	32.8
Energía (cal g ⁻¹)	7167.79	3245.91	6320.91 ± 786.65	12.4
Á. grasos poliinsaturados (%)	31.61	19.28	24.06 ± 2.513	10.4
Á. grasos monoinsaturados (%)	38.76	29.99	34.72 ± 1.792	5.2
Á. grasos saturados (%)	45.52	37.04	41.22 ± 2.071	5.0
Ácidos grasos serie n - 3 (%)	19.93	8.36	12.01 ± 2.154	17.9
Ácidos grasos serie n - 6 (%)	13.47	8.81	11.44 ± 1.087	9.5
Relación n-3/n-6	1.80	0.68	1.057 ± 0.213	20.2
Relación EPA/DHA	0.08	0.02	0.04 ± 0.015	37.8

Tabla 3. Rango, valores medios y coeficiente de variación en el contenido de cada ácido graso analizado en las muestras de huevos

Ácido Graso	n	Máximo	Mínimo	Promedio	DE	CV
C12:0	34	0.105	0.019	0.053	0.02	37.17
C14:0	50	4.099	1.547	2.756	0.52	18.79
C14:1	49	0.589	0.000	0.156	0.15	94.29
C15:0	34	0.554	0.220	0.378	0.09	23.94
C16:0	50	29.317	23.718	25.994	1.22	4.71
C16:1	50	8.033	4.018	5.840	0.89	15.28
C17:0	34	0.727	0.239	0.450	0.12	25.65
C17:1	34	0.389	0.203	0.306	0.05	15.43
C18:0	50	11.814	7.813	9.455	0.93	9.89
C18:1n-9c	50	25.603	19.712	22.486	1.55	6.88
C18:1n-7	50	6.195	4.098	5.064	0.41	8.09
C18:2n-6t	50	11.465	6.948	9.447	1.14	12.12
C18:3n-6	50	1.132	0.496	0.741	0.16	21.18
C18:3n-3	50	2.344	0.617	1.132	0.36	31.97
C20:0	34	0.286	0.170	0.217	0.03	14.34
C20:1	50	1.290	0.651	0.915	0.15	15.92
C20:2	50	1.496	0.057	0.519	0.19	36.45
C20:3n-6	50	1.935	0.752	1.256	0.21	16.54
C20:3n-3	34	0.350	0.099	0.225	0.07	29.89
C20:4n-3	16	3.487	1.907	2.578	0.46	17.99
C20:5n-3	34	0.648	0.156	0.345	0.15	43.58
C22:0	34	0.193	0.017	0.070	0.04	56.58
C22:1n-9	34	0.100	0.042	0.068	0.01	19.63
C22:2	34	0.253	0.066	0.140	0.06	40.73
C22:5n-3	50	2.406	0.546	1.486	0.45	30.42
C22:6n-3	50	14.116	4.538	8.175	1.61	19.72
C23:0	34	3.654	2.629	3.125	0.28	8.81
C24:0	34	0.230	0.073	0.141	0.04	26.52

Tabla 4. Valores máximos, mínimos e índices de eficiencia promedio obtenidos para el conjunto de grupos de huevos (n=50)

	Índices de eficiencia		
	IEINC	IELARV	IETOTAL
Máximo	0.9983	0.9967	0.9950
Mínimo	0.3405	0.7424	0.3017
Promedio	0.8579	0.9377	0.8069
DE	0.165	0.057	0.172
CV	19.20	6.04	21.31

IEINC: Índice de eficiencia en incubación; IELARV: Índice de eficiencia en larvicultura; IETOTAL: Índice de eficiencia total

Considerando la totalidad de los datos, en lo que se refiere estrictamente a variables morfométricas, se establecen relaciones lineales significativas y directas de las longitudes totales y estándar con el peso de la reproductora y la cantidad de huevos obtenida, medida esta última con base tanto en el peso como con el volumen de cada puesta. Con una relación inversa, los coeficientes son significativos con la fecundidad relativa y el peso de la larva al final la reabsorción de vesícula. El caso del peso de la reproductora es similar para explicar el peso y el volumen de la puesta. Valores significativos y directos de correlación entre los tres índices de eficiencia considerados se encontraron entre el IETOTAL y el IEINC ($r = 0.962$) y entre el IETOTAL y el IELARV ($r = 0.52$); con el análisis de regresión correspondiente para definir modelos se obtuvieron ecuaciones lineales para explicar el IETOTAL a partir del IEINC ($R^2 = 0.926$) y, en menor grado con IELARV ($R^2 = 0.27$). Con el análisis no se logró definir una relación que explicara las variaciones en el IELARV a través de los valores del IEINC (sin relación lineal significativa, se obtuvo un $R^2 = 0.074$). Se determinó la existencia de una correlación significativa e inversa entre el IEINC y las variables de peso de la puesta ($r=-0.296$) y el volumen de la puesta ($r=-0.296$). Mediante regresión, el modelo significativo ($p=0.037$) fue lineal solamente con la variable volumen de la puesta, con $R^2=0.088$. En lo que se refiere al IELARV, las correlaciones significativas fueron con la fecundidad relativa ($r=0.332$), el peso del huevo ($r=-0.343$) y la densidad del huevo ($r=-0.348$). Únicamente con la densidad se obtuvo un modelo significativo ($p=0.014$), con un $R^2=0.121$.

Entre algunos de los contenidos de ácidos grasos considerados individualmente se presentaron coeficientes de correlación significativos que varían tanto en magnitud como en dirección. Coeficientes también significativos, aunque con una relación lineal débil, se encontraron solamente para relacionar la eficiencia durante la reabsorción (IELARV) con los contenidos de C22:2 ($r=0.405$) y C20:5n-3 ($r=0.309$). Mediante análisis de regresión se calculó la siguiente ecuación:

$$\text{IELARV} = 1.124 + 0.405 (\text{C22:2}) + 0.976 (\text{C14:1}) - 0.16 (\text{C16:0}); r=0.693, R^2=0.48$$

Con el mismo procedimiento, ninguno de los contenidos en ácidos grasos individuales pudo asociarse significativamente con los resultados obtenidos en los índices de eficiencia tanto para incubación (IEINC) como para el total de las etapas (IETOTAL). En la explicación de los índices de eficiencia, la única relación significativa que se pudo determinar fue con el contenido de ácidos grasos saturados, aunque los coeficientes de correlación y de determinación fueron de reducido valor; las ecuaciones son:

$$\begin{aligned} \text{IETOTAL} &= 2.739 - 0.046 \text{ SFA} \\ &(r = 0.387 \text{ y } R^2 = 0.15; p = 0.031) \\ \text{IELARV} &= 1.681 - 0.018 \text{ SFA} \\ &(r = 0.479 \text{ y } R^2 = 0.229; p = 0.006) \end{aligned}$$

Al considerar la totalidad de los datos, tanto dimensionales como de composición, se obtuvo un modelo significativo ($p=0.008$) para la explicación de la eficiencia en incubación, con la forma siguiente: $\text{IEINC} = 1.559 - 0.761$

(diámetro menor) + 0.07 (ácidos grasos n-6), con $r=0.54$ y $R^2=0.291$. El modelo con mejor ajuste para explicar la eficiencia durante la totalidad del proceso incluyó las variables de diámetro menor y el contenido de ácidos grasos; el R^2 en este caso alcanzó un valor de 0.366 y la ecuación final fue:

$$\text{IETOTAL} = 1.716 - 0.885 \\ (\text{diámetro menor}) + 0.074 (\text{ácidos grasos n-6}).$$

Discusión

La evaluación indirecta del estado general de las reproductoras puede aproximarse a través del factor de condición. El valor medio de 1.88 (CV=14.8%) es similar al que reportan Aguilar *et al.*¹¹ para tilapias de talla equivalente y bajo condiciones controladas de calidad nutricional de las dietas y práctica alimenticia. Al menos en lo que corresponde a este factor, los reproductores mantienen una relación peso/longitud adecuada bajo el régimen alimenticio que se aplica en la estación, el que se basa en dietas comerciales formuladas para la especie. En los trabajos que abordan el análisis sobre aspectos reproductivos en géneros de tilapias se tienen, más que términos estrictos de calidad de huevo, descriptores operativos en la producción de semilla. Esta visión conceptual es necesaria para tratar las posibles relaciones determinantes de calidad con base en los datos integrados de desempeño. Estos análisis son escasos dentro de la literatura, pues tal y como discuten ampliamente Rana¹², Rana y McIntosh¹³ y Coward y Bromage¹⁴, los esfuerzos experimentales se dirigen especialmente a la optimización de los valores que se consideran relevantes para incrementar la oferta de semilla; especial importancia adquieren aquellos en los que se promueven tanto la cantidad absoluta de huevos obtenidos como la reducción en los intervalos entre desoves sucesivos. Modelos matemáticos para este tipo de relaciones se encuentran, por ejemplo, para *T. zillii*¹⁵ y *O. niloticus*^{16, 17}, entre otros; sin embargo, en las relaciones entre algunas de las variables de las reproductoras y las de los huevos obtenidos no se incluyen valoraciones en las que los resultados de eficiencia sean considerados para establecer los modelos, lo que al final dificulta establecer comparaciones con los resultados aquí obtenidos. Para este caso, el rango de

supervivencia que se presentó entre los diferentes grupos de huevos durante la incubación fue amplio (entre 34 y 99.8%), con una media que alcanzó un valor de 85.8%, prácticamente igual al que reportan Lu y Takeuchi¹⁸, con un 85.5%. En *O. niloticus* se dispone de ecuaciones que relacionan la fecundidad con el peso de la hembra^{19, 20}, con ajustes mayores a los que aquí se reportan; se debe tener en cuenta que se trata de estimaciones que parten de la cuantificación de la totalidad de los huevos presentes en los ovarios, en una clara sobreestimación de la cantidad real²¹, lo que implica dificultades comparativas con las cantidades obtenidas bajo condiciones normales de producción intensiva.

No se determinaron correlaciones significativas entre el tamaño de la hembra (en longitudes total y estándar y en peso) con el tamaño de los huevos, medido en términos de peso y volumen. Al respecto, Lu y Takeuchi²² no detectan diferencias en el diámetro de los huevos provenientes de hembras sometidas a dietas de diferente origen, indicando, en concordancia con lo que reportan Rana²³ y Rana y McIntosh²⁴, que en hembras de edad similar no se presentan relaciones significativas entre estas dos variables. Desde la perspectiva clásica que considera la supervivencia de los alevinos como un determinante de la calidad de los gametos, el primer resultado obtenido con base en las correlaciones calculadas indica independencia lineal (coeficientes no significativos) entre las fases de incubación y larvicultura para la especie. Es decir que los resultados durante la incubación no son un modulador de las etapas siguientes; así, el valor del índice que aglutina la totalidad del proceso (IETOTAL) depende más de los resultados durante la etapa de incubación que de las pérdidas durante la fase de reabsorción de vesícula. Sin utilizar estos índices, Rana²⁵ realiza una interpretación similar cuando establece que la relación entre el número de huevos y la cantidad de alevinos obtenidos es débil. Por otra parte, globalmente consideradas, las correlaciones encontradas entre algunos de los parámetros morfométricos de las reproductoras y otros asociados a las puestas mismas son, de cierta forma, previsibles y, en varios sentidos, se corresponden con las que han sido referenciadas por diferentes autores. Por ejemplo, para el rango de tallas en

el que se encontraron las hembras trabajadas, las relaciones de la longitud total con la estándar y el peso son fuertes y directas, lo que ofrece utilidad, como se verá posteriormente, para el manejo de ecuaciones de predicción. Aunque la media obtenida en la eficiencia total del proceso fue relativamente elevada (80.7%) y comparable con reportes de seguimiento en producción, el rango de variación fue alto, encontrándose hembras desde un 30.1% hasta un 99.5%. En lo que se refiere a los parámetros de producción total de huevos, la variabilidad entre las hembras (en términos de peso, volumen de la puesta y fecundidad relativa) es elevada; esto explica que las relaciones entre estos y las variables morfométricas de las reproductoras, aunque significativas, no hayan sido lo suficientemente altas como para disponer de modelos que ofrezcan en la práctica un razonable nivel de predicción. En producción, con la fecundidad relativa se cuenta con un mejor acercamiento y se facilita la comparación entre diferentes reportes y condiciones. Particularmente *T. Zillii*, Coward y Bromage²⁶ calculan una ecuación lineal con un $R^2=0.22$ para explicar la fecundidad relativa con base en la longitud total y el peso de la reproductora; en este caso los valores encontrados fueron de 0.108 y 0.11, respectivamente, siendo por tanto, ecuaciones que en la práctica tienen una baja capacidad predictiva; los valores negativos de r indican una relación inversa, que explica que conforme se incrementa el tamaño de la hembra se reduce la cantidad de huevos por unidad de biomasa.

Para efectos de optimización productiva resulta razonable disponer de evaluaciones en las que la fecundidad (tanto absoluta como relativa) se calcule a las cantidades que se obtienen realmente en los procedimientos de desove, en el sentido conceptual y práctico que describen sobre este aspecto Coward y Bromage²⁷. El registro de 5.33 huevos g^{-1} es inferior a los que reportan Lu y Takeuchi²⁸ con 7.7 huevos g^{-1} , Ng y Wang²⁹ de 7 huevos g^{-1} y del rango de 6 a 7.2 huevos g^{-1} que, bajo diferentes regímenes de fotoperíodo, presentan Campos-Mendoza *et al.*³⁰; tal como se anotó, estas comparaciones deben ser interpretadas con cautela, pues la forma en la que la fecundidad es determinada en estos géneros varía según los diseños experimentales trazados por los autores. En la

mayoría de los trabajos se utiliza el valor medio del diámetro como una aproximación a la talla del huevo, aun cuando la forma del huevo en tilapias se aleja de la esfericidad en alrededor de un 25%. Tanto el promedio del diámetro mayor como el menor se presentaron con bajos coeficientes de variación (alrededor del 6%), indicando una alta homogeneidad entre las hembras trabajadas; la relación entre uno y otro puede ser un indicador más preciso para definir esta talla y este, consecuentemente, también reflejó tal homogeneidad. Como parámetro reproductivo, esta talla es comúnmente registrada, aún cuando se reconoce que los mecanismos moduladores para su definición no son claros en tilapias^{31, 32}. El peso medio de los huevos que fue descrito, aunque variable entre las hembras, alcanzó un valor de 6.7 mg, comparable al que reportan para la especie Duponchelle *et al.*³³: entre 5.8 y 7.7 mg. También fue significativa la relación inversa que se presentó entre el tamaño del huevo y la fecundidad relativa la que, con diferentes órdenes de magnitud respecto a la fuerza de las relaciones, se ajusta a lo establecido para *O. niloticus*^{34, 35} y *T. zillii*³⁶. La falta de relación entre el tamaño de la hembra y el peso medio del huevo que produce coincide con lo encontrado por Duponchelle *et al.*³⁷.

Conclusiones

Para efectos de producción de semilla en la especie, es relevante la demostración de la independencia que se presenta entre los resultados que se obtienen entre las fases de incubación y larvicultura, siendo este último un período estable en términos de supervivencia. La eficiencia total del proceso es altamente dependiente de los resultados que se presentan durante la incubación, por lo que los esfuerzos de optimización deberán dirigirse específicamente a esta fase. Tomada en conjunto, la serie de registros analizados estaría indicando que, bajo condiciones estándar de manejo nutricional y suponiendo que se ofrecen en la dieta los mínimos requeridos, se presenta una condición conservativa en la composición final de los huevos, que explica los reducidos coeficientes de determinación que se presentaron con los modelos. En este sentido, aún con la validez estadística que fue demostrada, la utili-

dad práctica real de las ecuaciones que intentan describir las variaciones en la eficiencia productiva no alcanza una magnitud que pueda considerarse relevante. La línea base que fue descrita, en todos los factores que fueron incluidos, ofrece no obstante un punto de partida, a partir del cual las posibilidades experimentales radicarán precisamente en promover su variación para, de esta forma, estructurar procedimientos de manejo tendentes a incrementar la escala de los indicadores y, consecuentemente, determinar modelos con mayor capacidad explicativa. En resumen, hasta el momento, la determinación de la eficiencia en las etapas de incubación y larvicultura para la especie no parece ser factible con razonables grados de predicción, al menos con la serie de variables que fueron definidas y dentro de los rangos trabajados.

Referencias bibliográficas

1. EL-SAYED, A-F y KAWANNA, M. Effects of dietary protein and energy levels on spawning performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock in a recycling system. En: Aquaculture. 2008. Vol. 280, p. 179-184.
2. KJØRSVIK, E; MANGOR-JENSEN, A. & HOLMEFJORD, T. Egg quality in fishes. En: BLAXTER, JHS y SOTHWARD, AJ (Eds.). Advances in marine biology. London: Academic Press, 1990. p. 71-113.
3. BROOKS, S.; TYLER, C. & SUMPTER, J. Egg quality in fish: what makes a good egg? En: Reviews in Fish Biology and Fisheries. 1997. Vol. 7, p. 387-416.
4. TSADIK, G. y BART, A. Characterization and comparison of variations in reproductive performance of Chitralada strain Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). En: Aquaculture Research. 2007. Vol. 38, p. 1066-1073.
5. _____. Effects of feeding, stocking density and water-flow rate on fecundity, spawning frequency and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). En: Aquaculture. 2007. Vol. 272, p. 380-388.
6. LU, J. & TAKEUCHI, T. Spawning and egg quality of the tilapia *Oreochromis niloticus* fed solely on raw *Spirulina* throughout three generations. En: Aquaculture. 2004. Vol. 234, p. 625-640.
7. BOBE, J. y LABBÉ, C. Egg and sperm quality in fish. En: Gen. Comp. Endocrinol. 2010. Vol. 165, N°3, p. 535-548.
8. AOAC INTERNATIONAL. Official methods of analysis. 17th ed. Gaithersburg, Maryland: Association of Analytical Communities, 2000.
9. FOLCH, J.; LEES, M. & SLOANE-STANLEY, GH. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. En: Journal of Biological Chemistry. 1957. Vol. 226, p. 497-509.
10. BETANCOURT, L.; *et al.* Effect of ensiled trout (*Oncorhynchus mykiss*) intestines on productive traits of broiler chickens and the content of omega-3 fatty acids in liver, thighs and breast. En: Livestock Research for Rural Development. 2005. Vol. 17, N° 9. Url disponible en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/9/beta17106.htm>
11. AGUILAR, F.; AFANADOR, G. y MUÑOZ, A. Efecto del procesamiento de la dieta sobre el desempeño productivo de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* Var. Chitralada) en un ciclo comercial de producción. En: Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. 2010. Vol. 57, N° 2, p. 104-118.
12. RANA, K. Reproduction biology and the hatchery rearing of tilapia eggs and fry. En: MUIR, JF y ROBERTS, RJ (Eds). Recent Advances in Aquaculture. London: Croom Helm, 1998. p. 343-406.
13. RANA, K. & MACINTOSH, D. A comparison of the quality of hatchery-reared *Oreochromis niloticus* and *Oreochromis mossambicus* fry. En: Tilapia in Aquaculture - The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture (Bangkok, Thailand). ICLARM Conference Proceedings. 1990. Vol. 15, p. 497-502.
14. COWARD, K. & BROMAGE, N. Reproductive physiology of female tilapia broodstock. En: Reviews in Fish Biology and Fisheries. 2000. Vol. 10, p.1-25.
15. *Ibíd.*, p. 10-15.
16. TSADIK, G. y BART, A. Characterization and comparison of variations in reproductive performance of Chitralada strain Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Op. cit.*, p. 1066-1073.
17. _____. Effects of feeding, stocking density and water-flow rate on fecundity, spawning frequency and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Op. cit.*, pp. 380-388.
18. LU, J. y TAKEUCHI, T. Spawning and egg quality of the tilapia *Oreochromis niloticus* fed solely on raw *Spirulina* throughout three generations. *Op. cit.*, p. 625-640.
19. DUPONCHELLE, F.; *et al.* Variations in fecundi-

- ty and egg size of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, from man-made lakes of C^ote d'Ivoire. En: Environmental Biology of Fishes. 2000. Vol. 57, p.155-170.
20. OFFEM, B. O.; AKEGBEJO-SAMSONS, Y. & OMONIY, IT. Biological assessment of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae; Linne, 1958) in a tropical floodplain River. En: African Journal of Biotechnolog. 2007. Vol. 6, N^o 16, p. 1966-1971.
 21. RANA, K.; Op. cit., p. 343-406.
 22. LU, J. & TAKEUCHI, T.; Op. cit., p. 625-640.
 23. RANA, K.; Op. cit., p. 343 – 406.
 24. RANA, K y MACINTOSH, D.; Op. cit., p. 497-502.
 25. RANA, K.; Op. cit., p. 343-406.
 26. COWARD, K & BROMAGE, N. Op. cit., p. 1-25.
 27. *Ibid.*, p. 1-25
 28. LU, J. y TAKEUCHI, T.; Op. cit., p. 625-640.
 29. NG, W. y WANG, Y. Inclusion of crude palm oil in the broodstock diets of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, resulted in enhanced reproductive performance compared to broodfish fed diets with added fish oil or linseed oil. En: Aquaculture. 2011. Vol. 314, p. 122-131.
 30. CAMPOS-MENDOZA, A.; *et al.* Reproductive response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to photoperiodic manipulation; effects on spawning periodicity, fecundity and egg size. En: Aquaculture. 2004. Vol. 231, p. 299-314.
 31. *Ibid.*, p.5-12.
 32. COWARD, K y BROMAGE, N.; Op. cit., p. 1-25.
 33. DUPONCHELLE, F.; *et al.* Op. cit., p. 155-170.
 34. EL-SAYED, A-F.; MANSOUR, C. R. Y EZZAT, A. A. Effects of dietary protein levels on spawning performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock reared at different water salinities. En: Aquaculture. 2003. Vol. 220, pp. 619-632.
 35. TSADIK, G. Effects of Maternal Age on Fecundity, Spawning Interval, and Egg Quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). En: Journal of the World Aquaculture Society. 2008. Vol. 39, N^o 5, p. 671-677.
 36. COWARD, K y BROMAGE, N.; Op. cit., p. 1-25.
 37. DUPONCHELLE, F.; *et al.* Op. cit., p. 155-170.