

Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva

Growth and sperm quality in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) during the reproductive season

Jesús Dámaso Bustamante-González, Araceli Cortés-García y Martha Rodríguez-Gutiérrez

Laboratorio de Reproducción Genética y Sanidad Acuicola. Departamento El Hombre y su Ambiente. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, col. Villa Quietud, Coyoacán, Ciudad de México, 04906. México
e-mail: jesusbustamantegonzalez@gmail.com

Recibido: 23 de marzo de 2017.

Aceptado: 18 de junio de 2018.

Bustamante-González J. D., A. Cortés-García y M. Rodríguez-Gutiérrez. 2018. Crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Teleostei: Salmonidae) durante la temporada reproductiva. *Hidrobiológica* 28 (1): 163-170. DOI: 10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n2/Bustamante

RESUMEN

Antecedentes. *Oncorhynchus mykiss* es una de las especies que más se cultiva en el mundo y que tiene alto valor económico, por tal motivo, optimizar su crecimiento y reproducción es fundamental para la acuicultura. **Objetivos.** Evaluar el crecimiento y calidad espermática en trucha arcoíris durante la temporada reproductiva. **Métodos.** La investigación se realizó en el centro acuícola El Zarco, Estado de México, con 32 machos sexualmente maduros de tres años. De julio a febrero se registraron mensualmente: longitud total, altura, grosor (cm), peso (g), ganancia de peso (GP), tasa de crecimiento absoluto (TCA) y tasa instantánea de crecimiento (TIC). Las muestras de semen se obtuvieron de agosto a febrero. Las variables para determinar la calidad espermática fueron: volumen, color, consistencia, concentración, pH y movilidad. **Resultados.** En cuando a longitud y peso, la mayor TCA, GP y TIC se obtuvo de julio a agosto, mes previo al periodo reproductivo. De agosto a febrero la TCA fue de 1.13 cm; GP de 0.01 g y TIC de 0.0321 ± 0.0522 cm y 0.0932 ± 0.2223 g en promedio. En julio se registraron diferencias en longitud y peso ($p < 0.05$) en comparación con los meses del periodo reproductivo. El patrón de producción de semen se incrementó de agosto a octubre y decreció hasta febrero con diferencias significativas ($p < 0.05$). En general, se encontró semen de color blanco y consistencia lechosa. La mayor concentración espermática se presentó en septiembre ($8.17 \pm 2.06 \times 10^9$ mL⁻¹) y disminuyó hasta febrero, con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los meses. El pH fue alcalino, con un promedio de 8.07 ± 0.31 . La movilidad mostró un incremento de agosto a diciembre y un decremento de enero a febrero, con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los meses. **Conclusiones.** Durante el periodo reproductivo la energía procedente del alimento se destina a asegurar la reproducción, por lo que el crecimiento se ralentiza y la calidad espermática varía entre los meses.

Palabras clave: color, concentración espermática, consistencia, movilidad, peso, pH, producción de semen, talla, trucha arcoíris

ABSTRACT

Background. *Oncorhynchus mykiss* is a species that is widely cultivated in the world with high economic value. For this reason, it is essential to optimize its growth and reproduction for aquaculture. **Goals.** Evaluate the growth and sperm quality of rainbow trout during the reproductive season. **Methods.** We conducted research at the "El Zarco" Aquaculture Center in the state of Mexico, with 32 sexually mature three-year-old males. Once a month, we recorded total length, height, thickness (cm), and weight (g) during July-February, and calculated weight gain (WG), absolute growth rate (AGR), and instantaneous growth rate (IGR). Semen samples were obtained during (August-February). In order to evaluate the spermatic quality, we measured volume, color, consistency, concentration, pH, and mobility. **Results.** The highest AGR, WG, and IGR in terms of length and weight were obtained from July-August, i.e., a month prior to the reproductive period; from August-February the AGR was 1.13 cm, WG was 0.01 g, and there was an average IGR of 0.0321 ± 0.0522 cm and 0.0932 ± 0.2223 g. Differences ($p < 0.05$) in length and weight were found between July and the months of the reproductive period. There was a pattern of semen production: It increased from August to October and then decreased until February, with significant differences ($p < 0.05$). Usually, white semen and milky consistency were found. The highest sperm concentration occurred in September ($8.17 \pm 2.06 \times 10^9$ mL⁻¹) and decreased until February, with significant differences ($p < 0.05$) between months. The pH was alkaline with an average value of 8.07 ± 0.31 . Mobility increased from August to December and decreased from January to February, with significant differences ($p < 0.05$) between months. **Conclusions.** During the reproductive period, food energy is channeled to ensure reproduction, so that growth slows and sperm quality varies during the reproductive months.

Keywords: color, consistency, motility, pH, rainbow trout, semen production, size, sperm concentration, weight

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es parte esencial del quehacer económico y social, ya que ha favorecido la sobreexplotación de pesquerías y el aumento en el consumo de productos acuícolas, los cuales han permitido que esta actividad se convierta en una alternativa para ampliar y contribuir a la oferta alimentaria, además de crear fuentes permanentes de empleo que estimulan el desarrollo regional y generación de divisas (FAO, 2012).

Entre las especies acuícolas de mayor consumo en México, de acuerdo con el Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca (SAGARPA, 2014), destaca la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), que se ubica en el sexto lugar de la producción nacional, con 15 695 toneladas, y a nivel mundial en el treintavo lugar.

En los centros de cultivo de peces el alimento representa el mayor costo en la producción; puede llegar a ser de hasta un 30%, mientras que su calidad y cantidad afectan directamente la fisiología, que de manera sustancial se ve reflejada en la reproducción (Bobe & Labbé, 2010; Hajirezaee *et al.*, 2010).

Para la mayoría de los peces el ciclo reproductivo es estacional y su duración es variable; ésta determina la calidad y cantidad de los gametos (Büyükhapoglu & Holtz, 1984; Munkittrick & Moccia, 1987; Aral *et al.*, 2005; Sahin *et al.*, 2014; Bustamante-González *et al.*, 2016a).

En la reproducción de peces uno de los factores que afecta el potencial de fertilidad es la calidad espermática (Bobe & Labbé, 2010; Hajirezaee *et al.*, 2010), la cual se define como la habilidad del espermatozoide para fertilizar un óvulo. De acuerdo con Alavi & Cosson (2005), Aral *et al.* (2007), Cosson (2008), Alavi *et al.* (2008a, b) y Bustamante-González *et al.* (2016b), su evaluación se realiza a partir de parámetros cualitativos, como color y consistencia, y cuantitativos, como volumen, pH, concentración espermática y movilidad. Sin embargo, al igual que en otras especies, hay factores que contribuyen a las variaciones reproductivas entre los individuos: edad, tipo de alimentación, origen genético, fotoperiodo, temperatura, temporada reproductiva y estrés generado durante la manipulación, pues influyen directamente sobre la calidad del semen (Billard *et al.*, 1995; Rurangwa *et al.*, 2004; Bobe & Labbé, 2010; Hajirezaee *et al.*, 2010).

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el crecimiento de la trucha arcoíris y su calidad espermática durante la temporada reproductiva, información que permitirá establecer estrategias para optimizar su reproducción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el centro acuícola El Zarco, en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México, con una muestra de 32 machos sexualmente maduros de tres años de edad, monitoreados de julio a febrero (Bustamante-González *et al.*, 2016a).

Los organismos se mantuvieron en estanque rústico de 13.5 m de largo y 6 m de ancho, con una profundidad de 75 cm, un flujo promedio de 121.27 L min⁻¹, una temperatura promedio del agua de 11.31 ± 1.25 °C y con un fotoperiodo natural. Fueron alimentados una vez al día con Winfish-Zeigler® para trucha, equivalente al 1.3% de la biomasa, ajustada mensualmente. Previo a la obtención de muestras, se mantuvieron en ayuno durante 24 horas, con el fin de prevenir la conta-

minación del semen con materia fecal. Para minimizar el estrés fueron sedados con esencia de clavo a una concentración de 0.05 mL L⁻¹ de agua (Rodríguez-Gutiérrez *et al.*, 2007).

Biometría. La longitud total, altura y grosor (cm) se determinaron mediante un ictiómetro de 90 cm ± 0.01 de precisión y escuadra de 90°; el peso (g), con una balanza Adam CBK 70a Max 32 kg d = 1.0 g, una vez al mes.

Crecimiento. La ganancia de peso (GP) se calculó de acuerdo con la fórmula propuesta por Moreno *et al.* (2000):

$$GP = W_2 - W_1$$

Donde:

GP = ganancia de peso en gramos

W₂ = peso en gramos al finalizar el periodo

W₁ = peso en gramos al iniciar el periodo

La tasa de crecimiento absoluto (TCA) se determinó de acuerdo con la fórmula propuesta por Wootton (1999):

$$TCA = VBF - VBI$$

Donde:

TCA = tasa de crecimiento absoluto

VBF = variable biométrica final (longitud, altura, grosor, peso)

VBI = variable biométrica inicial (longitud, altura, grosor, peso)

La tasa instantánea de crecimiento (TIC) se estableció conforme a lo propuesto en Soriano y Hernández (2002):

$$TIC = \ln VBF - \ln VBI / T \times 100$$

Donde:

ln = logaritmo natural

VBF = variable biométrica final (longitud, altura, grosor, peso)

VBI = variable biométrica inicial (longitud, altura, grosor, peso)

T = tiempo (días)

Recolecta y evaluación del semen. Las muestras se obtuvieron durante el periodo reproductivo, de agosto a febrero (Bustamante-González *et al.*, 2016a). La extracción se obtuvo mediante ligera presión abdominal en dirección opérculo-caudal y se recolectó en tubos graduados con capacidad de 50 mL, para evitar la contaminación con orina, heces, sangre o agua (Rodríguez-Gutiérrez *et al.*, 2007).

Se evaluó color, consistencia y concentración espermática del semen a partir de una solución madre compuesta de formol al 4% y NaCl al 0.9%, con el semen previamente homogeneizado, y el volumen se expresó en mL. El conteo se realizó en cámara de Neubauer con el programa Image-Pro 5.1®, bajo un microscopio Olympus Optical BX41TF®, y se expresó como número de células mL⁻¹ (Rodríguez-Gutiérrez *et al.*, 2007; Bustamante-González *et al.*, 2016b).

El pH del semen se determinó con potenciómetro Hanna HI 9125® y electrodo HI 1330®. La movilidad (n ≥ 5) se activó con agua y se registró con cronómetro la duración total, en segundos, bajo el microscopio óptico Olympus Optical BX41TF® 40x (Bustamante-González *et al.*, 2016b).

Análisis estadístico. Las variables de estudio fueron procesadas con análisis descriptivos, expresados con media \pm desviación estándar (DE), y por medio del análisis de varianza de una vía (ANOVA). Al determinar diferencias se aplicó la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0.05$ (Daniel, 2017).

Asimismo, por mes de muestreo se realizó un análisis de correlación múltiple entre las variables independientes: longitud (cm), peso (kg), altura (cm) y grosor (cm), con respecto a las variables dependientes: volumen de semen (mL) y concentración espermática, con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Crecimiento. En cuanto a longitud y peso, los mayores valores de TCA, GP y TIC se obtuvieron de julio a agosto, mes previo al periodo reproductivo. De agosto a febrero la TCA fue de 1.13 cm; GP de 0.01 g y TIC de 0.0321 ± 0.0522 cm y 0.0932 ± 0.2223 g, en promedio (Tabla 1). Al respecto, se establecieron diferencias en longitud y peso ($p < 0.05$) entre julio y los meses que comprenden el periodo reproductivo. Las curvas del crecimiento se ajustaron al modelo logarítmico (longitud y altura), polinómico (peso) y potencial (grosor) (Fig. 1).

Producción de semen. El patrón de producción de semen incrementó de agosto a octubre, y tras este periodo la producción decreció hasta febrero. Las diferencias establecidas entre septiembre, octubre y noviembre fueron de ($p < 0.05$), lapso donde se presentó la mayor producción y porcentaje de madurez, que determina el pico reproductivo de la especie (Tabla 2).

Color y consistencia del semen. De acuerdo con el análisis de frecuencias, es más común encontrar semen de color blanco y consistencia lechosa (Tabla 3).

Concentración espermática. La mayor concentración se presentó en septiembre, con $8.17 \pm 2.06 \times 10^9$ mL⁻¹ y disminuyó durante la temporada reproductiva (Tabla 2) con diferencias significativas ($p < 0.05$).

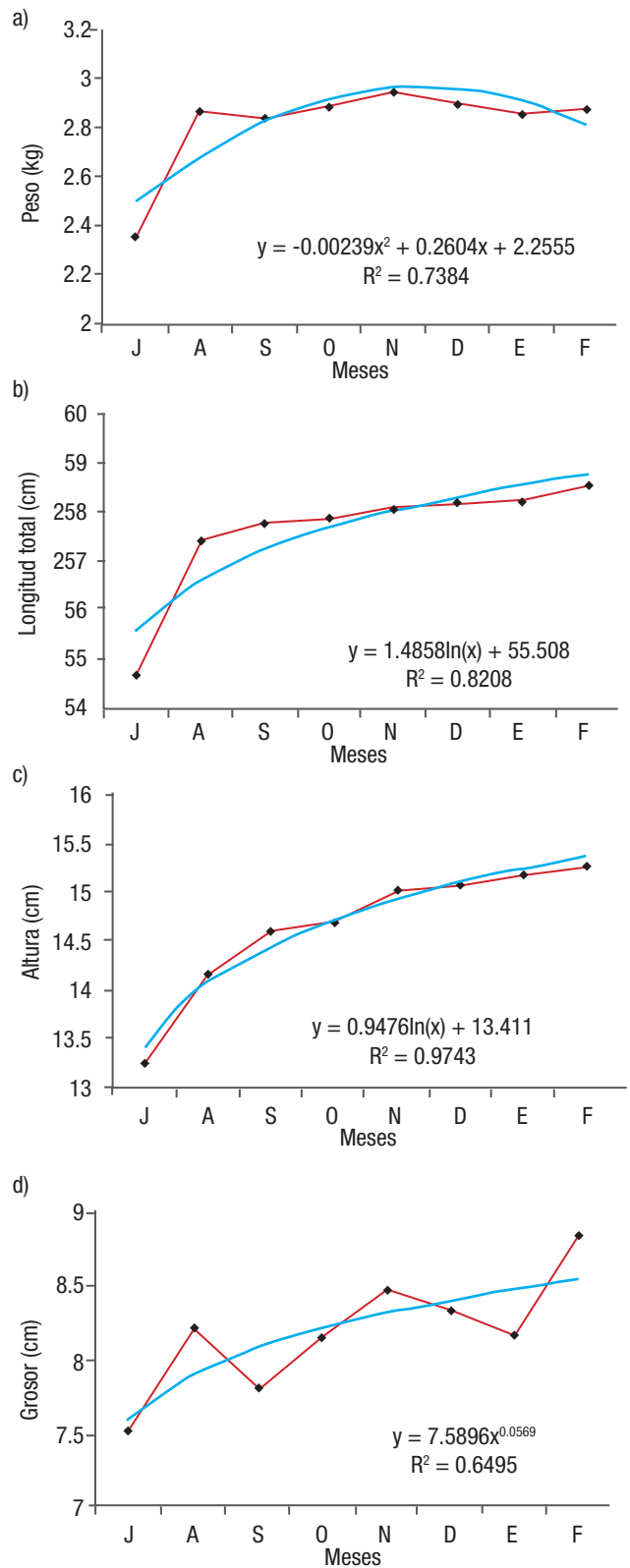
pH. Se estableció un rango de alcalinidad a partir del valor máximo de 8.58 ± 1.89 registrado en noviembre y un valor mínimo de 7.87 ± 0.36 , registrado en diciembre. El valor promedio fue de 8.07 ± 0.31 (Tabla 2). No se detectaron diferencias significativas entre los meses ($p > 0.05$).

Movilidad espermática. Se detectó un incremento de agosto a diciembre y un decremento de enero a febrero. En diciembre se obtuvo la mayor duración con 88.79 ± 10.64 s. Se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los meses (Tabla 2).

Asociación de variables. El análisis de correlación múltiple determinó que no hay asociación entre peso (kg), longitud total (cm), longitud patrón (cm), altura (cm) y grosor (cm) con respecto al volumen de semen (mL) y la concentración espermática entre los meses que comprenden el periodo reproductivo (Tabla 4).

DISCUSIÓN

El crecimiento en los peces es continuo hasta alcanzar el peso o longitud final, pero su tasa varía durante el ciclo de vida, que se ve afectado por la cantidad y tipo de alimento, condiciones físico-químicas del agua, densidad y el estado fisiológico de los organismos (Von Bertalanffy, 1938; Royce 1972).



Figuras 1a-d. Curvas de tendencia de crecimiento de julio a febrero de *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). a) peso (kg); b) longitud total (cm); c) altura (cm); d) grosor (cm).

Tabla 1. Indicadores del crecimiento de *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), valores promedio \pm DE, desde julio hasta febrero.

Mes	Días	Variable	Valor inicial	Valor final	TCA	TIC
Jul. - Agosto	31	Longitud total (cm)	54.68 \pm 2.34	57.44 \pm 2.56	2.76	0.1586
		Altura (cm)	13.26 \pm 0.55	14.17 \pm 0.73	0.91	0.2143
		Grosor (cm)	7.52 \pm 0.36	8.22 \pm 0.61	0.70	0.2862
		Peso (kg)	2.37 \pm 0.30	2.87 \pm 0.38	0.50	0.6250
Agosto - Sept.	38	Longitud total (cm)	57.44 \pm 2.56	57.79 \pm 2.81	0.35	0.0160
		Altura (cm)	14.17 \pm 0.73	14.61 \pm 0.92	0.44	0.0800
		Grosor (cm)	8.22 \pm 0.61	7.77 \pm 0.34	-0.42	-0.1376
		Peso (kg)	2.87 \pm 0.38	2.84 \pm 0.39	-0.04	-0.0335
Sept. - Oct.	36	Longitud total (cm)	57.79 \pm 2.81	57.87 \pm 2.78	0.08	0.0037
		Altura (cm)	14.61 \pm 0.92	14.71 \pm 1.09	0.10	0.0190
		Grosor (cm)	7.77 \pm 0.34	8.16 \pm 0.60	0.36	0.1258
		Peso (kg)	2.84 \pm 0.39	2.89 \pm 0.47	0.05	0.0503
Oct. - Nov.	30	Longitud total (cm)	57.87 \pm 2.78	58.09 \pm 2.71	0.22	0.0127
		Altura (cm)	14.71 \pm 1.09	15.03 \pm 1.22	0.32	0.0719
		Grosor (cm)	8.16 \pm 0.60	8.48 \pm 0.69	0.32	0.1280
		Peso (kg)	2.89 \pm 0.47	2.95 \pm 0.46	0.06	0.0718
Nov. - Dic.	35	Longitud total (cm)	58.09 \pm 2.71	58.20 \pm 2.96	0.11	0.0053
		Altura (cm)	15.03 \pm 1.22	15.09 \pm 1.15	0.06	0.0116
		Grosor (cm)	8.48 \pm 0.69	8.34 \pm 0.65	-0.14	-0.0492
		Peso (kg)	2.95 \pm 0.46	2.90 \pm 0.47	-0.05	-0.0537
Dic. - Enero	28	Longitud total (cm)	58.20 \pm 2.96	58.24 \pm 2.86	0.04	0.0024
		Altura (cm)	15.09 \pm 1.15	15.19 \pm 1.29	0.10	0.0241
		Grosor (cm)	8.34 \pm 0.65	8.17 \pm 0.52	-0.17	-0.0718
		Peso (kg)	2.90 \pm 0.47	2.86 \pm 0.45	-0.04	-0.0500
Enero - Feb.	22	Longitud total (cm)	58.24 \pm 2.86	58.57 \pm 2.90	0.33	0.0260
		Altura (cm)	15.07 \pm 1.23	15.35 \pm 1.19	0.19	0.0554
		Grosor (cm)	8.17 \pm 0.52	8.85 \pm 0.84	0.68	0.3620
		Peso (kg)	2.86 \pm 0.45	2.88 \pm 0.47	0.03	0.0424

TCA = Tasa de crecimiento absoluto. TIC = Tasa instantánea de crecimiento.

Los resultados con respecto al crecimiento, previos a la temporada reproductiva, demostraron un incremento significativo ($p < 0.05$) y mayor TIC entre julio y agosto; sin embargo, durante el periodo reproductivo (de agosto a febrero) el crecimiento fue mínimo y no se detectaron diferencias ($p > 0.05$), probablemente a que el suministro de alimento fue menor a la tasa recomendada por el proveedor, lo cual está sustentado en estudios previos como los de Hunter y Leong (1981) y Camacho *et al.* (2000).

No obstante lo anterior, la producción de semen no se vio afectada, ya que la energía proporcionada por el alimento fue destinada para asegurar la reproducción, tal como se reporta en Wootton (1999) y Hao y Chen (2009), quienes mencionan que la energía adquirida del alimento se reparte entre el crecimiento y supervivencia, y al entrar en

etapa reproductiva gran parte de ésta energía se destina a los diversos procesos de maduración sexual.

Evaluar la calidad y cantidad del semen en los centros de cultivo a lo largo de la temporada reproductiva permite estimar el potencial reproductivo de la población y el número de machos necesarios para la reproducción (Sahin *et al.*, 2014; Bustamante-González *et al.*, 2016a). Se ha reportado que la madurez sexual en machos de trucha arcoíris inicia al año y medio de edad, de agosto a febrero, y que está directamente relacionada con los factores bióticos y abióticos (Sosa *et al.*, 2000; Bustamante-González *et al.*, 2016a). Los resultados de esta investigación, que corresponden a machos sexualmente maduros de tres años, determinaron que el volumen de semen, concentración espermática y movilidad varían significativamente durante la temporada repro-

Tabla 2. Valores promedio \pm DE, porcentaje de madurez, volumen de semen, concentración, pH y movilidad espermática en *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), durante la temporada reproductiva.

n	Temporada reproductiva	% madurez	Volumen de semen (mL)	Concentración espermática ($\times 10^9 \text{ mL}^{-1}$)	pH	Movilidad	
						n	Duración (s)
32	Agosto	66	11.58 \pm 9.97 ^{SON}	6.02 \pm 4.87 ^{SDEF}	8.11 \pm 0.15	8	41.31 \pm 2.80 ^{NDE}
31	Septiembre	100	22.38 \pm 14.51 ^{ADEF}	8.17 \pm 2.06 ^{AODEF}	8.19 \pm 0.20	17	32.71 \pm 8.45 ^{NDE}
31	Octubre	94	24.62 \pm 11.04 ^{ADEF}	5.99 \pm 1.75 ^{SF}	8.00 \pm 0.20	9	42.61 \pm 6.02 ^{NDE}
26	Noviembre	96	19.86 \pm 16.01 ^{AEF}	6.90 \pm 2.34 ^{DEF}	8.58 \pm 1.89	6	61.06 \pm 12.27 ^{SODF}
25	Diciembre	88	12.25 \pm 8.34 ^{SD}	4.10 \pm 1.82 ^{ASNF}	7.87 \pm 0.36	7	88.79 \pm 10.64 ^{ASONEF}
20	Enero	85	9.21 \pm 7.88 ^{SD}	3.77 \pm 1.64 ^{ASNF}	8.01 \pm 0.26	5	65.50 \pm 3.83 ^{ASODF}
19	Febrero	32	4.88 \pm 2.35 ^{SON}	2.25 \pm 1.51 ^{ASONDE}	7.94 \pm 0.48	5	38.67 \pm 2.99 ^{NDE}
	Promedio		17.26 \pm 13.15	5.89 \pm 3.19	8.07 \pm 0.31		48.75 \pm 21.39

Los superíndices indican la inicial de los meses durante los que se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$).

ductiva ($p < 0.05$), comportamiento similar al reportado en salmónidos (Büyükhapoglu & Holtz, 1984; Munkittrick & Moccia, 1987; Hajirezaee *et al.*, 2010; Johnson *et al.*, 2013).

En cuanto al volumen de semen, se alcanzó un comportamiento análogo al obtenido para esta especie por Büyükhapoglu y Holtz (1984) en Alemania, en Canadá por Munkittrick y Moccia (1987) y en Turquía por Aral *et al.* (2005) y Sahin *et al.* (2014), quienes refieren que la producción de semen va en aumento en los primeros meses y alcanza su máximo entre el tercer y cuarto mes, comportamiento contrario al reportado en otros teleósteos de la familia Ciprinidae, como *Barbus barbatus* (Linnaeus, 1758) (Alavi *et al.*, 2008b) y como *Pseudoplattostoma metaense* (Bleeker, 1862) de la familia Pimelodidae (Ramírez-Merlano *et al.*, 2011), especies cuya madurez inicia con el volumen máximo, a partir del cual comienza el decremento, que se extiende hasta el final de la temporada reproductiva.

El color y consistencia del semen se atribuyen a la concentración espermática y del líquido seminal, que sirve como medio de suspensión. Valdebenito *et al.* (1995), Cruz-Casallas (2001) y Torres *et al.* (2014) reportan que el semen en salmónidos es de color blanco, consistencia lechosa y, en algunos casos, viscoso, características que concuerdan con las obtenidas en la presente investigación, donde el color

blanco de consistencia lechosa fue el más frecuente durante el periodo reproductivo, lo cual está relacionado también con el hecho de que los espermatozoides de los peces obtienen la capacitación y maduración durante la migración a lo largo del conducto eferente con la producción del fluido que determina su hidratación (Schulz & Miura, 2002).

La concentración espermática incrementó progresivamente y el máximo registro se presentó en septiembre. Varios estudios en salmónidos concuerdan con este resultado en *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) (Aral *et al.*, 2005; Sahin *et al.*, 2014; Bustamante-González *et al.*, 2016a), *Salmo trutta caspius* (Kessler, 1877) (Hajirezaee *et al.*, 2010) y *Salvelinus namaycush* (Walbaum, 1792) (Johnson *et al.*, 2013), pero es contrario en ciprínidos como *Schizothorax richardsonii* (Gray, 1832) (Agarwal & Raghuvanshi, 2009), *Barbus barbatus* (Linnaeus, 1758) (Alavi *et al.*, 2008b) y *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) (Zuromska, 1981), así como espáridos: *Sparus aurata* (Linnaeus, 1758) y morónidos como: *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) (Kara & Labeled, 1994), lo cual demuestra que la concentración espermática y el volumen de semen tienen una relación específica.

De acuerdo con Rurangwa *et al.* (2004), Bradshaw y Holpsafel (2007), Bobe y Labbé (2010), Hajirezaee *et al.* (2010), Aragón-Flores *et al.* (2014) y Bustamante-González *et al.* (2016a) las diferencias en

Tabla 3. Análisis de frecuencias de acuerdo al color y consistencia del semen en *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), durante la temporada reproductiva.

Color	Consistencia	Frecuencia relativa (%)						
		Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.
Transparente	Acuosa							0.17
Grisáceo	Acuosa						0.12	
Grisáceo	Lechosa		0.10					
Blanco	Acuosa		0.10	0.28	0.24	0.68	0.41	0.33
Blanco	Lechosa	0.82	0.70	0.72	0.68	0.32	0.41	0.50
Blanco	Cremosa	0.13	0.10		0.08		0.06	
Amarillento	Lechosa	0.05						

Tabla 4. Análisis de correlación múltiple entre las variables peso, longitud total, longitud patrón, altura y grosor, con las variables volumen de semen y concentración espermática (mL⁻¹) en *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), durante la temporada reproductiva.

Variables	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.
	r	r	r	r	r	r	r
Peso (kg)-Volumen de semen (mL)	0.1079	-0.0165	-0.1345	0.1697	0.3184	0.3471	0.1441
Peso (kg)-Concentración espermática (mL ⁻¹)	-0.0003	-0.239	-0.201	-0.1958	0.1373	0.153	0.2948
Longitud total (cm)-Volumen de semen (mL)	0.1134	0.0897	0.0749	0.301	0.2088	0.3339	0.3444
Longitud total (cm)-Concentración espermática (mL ⁻¹)	0.1549	-0.3003	-0.2887	-0.3181	-0.1237	-0.0706	0.0981
Longitud patrón (cm)-Volumen de semen (mL)	0.0371	0.0396	0.1150	0.3009	0.2761	0.3318	0.3381
Longitud patrón (cm)-Concentración espermática (mL ⁻¹)	0.0846	-0.2979	-0.2757	-0.3538	-0.0854	0.0471	0.1380
Altura (cm)-Volumen de semen (mL)	0.1883	0.1052	-0.1435	0.1929	0.2947	0.5004*	-0.0043
Altura (cm)-Concentración espermática (mL ⁻¹)	0.0035	-0.2049	-0.1452	-0.1399	0.0975	0.1038	0.4425
Grosor (cm)-Volumen de semen (mL)	-0.1084	0.0092	-0.1836	0.3136	0.1541	0.2407	-0.0097
Grosor (cm)-Concentración espermática (mL ⁻¹)	-0.1533	-0.2033	-0.1792	-0.1343	0.0094	0.0022	0.2538
Volumen de semen (mL)- Concentración espermática (mL ⁻¹)	0.4535*	-0.2783	0.3035	0.041	0.5158*	0.4186	0.5837*

*Indica diferencias significativas ($p < 0.05$).

el volumen de semen y concentración espermática pueden atribuirse a la especie, temporada reproductiva, alimentación, edad, origen genético, métodos de recolecta y estímulos ambientales como temperatura y fotoperiodo, donde estos últimos, que dependen de la latitud, altitud y estación del año, resultan relevantes para la reproducción. Lo anterior, explica las diferencias entre los resultados de la presente investigación y los reportes previos de Büyükhatoğlu y Holtz (1984), Munkittrick y Moccia (1987), Aral *et al.* (2005), Sahin *et al.* (2014) y Bustamante-González *et al.* (2016a).

La movilidad de los espermatozoides en peces de fertilización externa se adquiere al iniciar el contacto con un medio acuoso, en donde responden a condiciones fisicoquímicas, como cambios en la presión osmótica, temperatura y pH, las cuales se pierden pocos segundos después (Alavi & Cosson, 2005, 2006; Bustamante-González *et al.*, 2016b).

El pH cumple un papel relevante en la activación de la movilidad espermática, Alavi y Cosson (2005) mencionan que el pH del plasma seminal se encuentra usualmente entre 7.5 y 8.5; de la misma forma, Billard (1986) y Gatti *et al.* (1990) reportan que el pH interno de los espermatozoides es de aproximadamente una unidad por debajo del externo. El pH externo influye en la concentración de protones intracelulares, los cuales afectan el potencial de membrana y la movilidad (Boitano & Omoto, 1992). Lahnsteiner *et al.* (1998) señalan que el pH para la movilidad óptima de los espermatozoides en trucha arcoíris es de 8.0 a 8.2; sin embargo, se ha reportado que la frecuencia del batido flagelar de los espermatozoides de trucha depende del pH de la solución activadora (Billard & Cosson, 1989).

Al respecto, hay registros de movilidad superior al minuto con un $pH \leq 8.0$. En el presente estudio el pH promedio fue de 8.07 ± 0.31 , con movilidad entre 24.22 y 127 s, similar a lo obtenido con trucha arcoíris por Secer *et al.* (2004), Rurangwa *et al.* (2004), Dietrich *et al.* (2005), Bozkurt (2006), Aral *et al.* (2007), Cosson (2008) y Nynca *et al.*

(2012) al utilizar agua como solución activadora. Lo anterior demuestra que el volumen, concentración espermática, pH y movilidad son parámetros que definen la calidad de semen y pueden ser utilizados como indicadores de la capacidad fecundante (Rurangwa *et al.*, 2004; Cosson, 2008; Bobe & Labbé, 2010; Hajirezaee *et al.*, 2010), la cual varía de acuerdo con la especie, organismos y temporada reproductiva (Büyükhatoğlu & Holtz, 1984; Munkittrick & Moccia, 1987; Aral *et al.*, 2005; Sahin *et al.*, 2014; Alavi *et al.*, 2008b; Agarwal & Raghuvanshi, 2009; Ramírez-Merlano *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2013; Bustamante-González *et al.*, 2016a).

El estudio demostró que al entrar en el periodo reproductivo la energía procedente del alimento se destina a asegurar la reproducción, por lo que el crecimiento se ralentiza; sin embargo, la calidad del semen no se ve afectada y varía durante la temporada reproductiva.

AGRADECIMIENTOS

A la Subdelegación de Pesca del Estado de México, por autorizar la realización de la investigación; al responsable del centro acuícola El Zarco MVZ. Fernando Vergara Domínguez y a los revisores anónimos, por sus aportes para enriquecer el manuscrito.

REFERENCIAS

- AGARWAL, N. K. & S. K. RAGHUVANSHI. 2009. Spermatocrit and sperm density in Snowtrout (*Schizothorax richardsonii*): correlation and variation during the breeding season. *Aquaculture* 291: 61-64. DOI:10.1016/j.aquaculture.2009.03.020
- ALAVI, S. M. & J. COSSON. 2005. Sperm motility in fishes. (I) Effects of temperature and pH: a review. *Cell Biology International* 29: 101-110. DOI:10.1016/j.cellbi.2004.11.021

- ALAVI, S. M. & J. COSSON. 2006. Sperm motility in fishes. (II) Effects of ions and osmolality: a review. *Cell Biology International* 30 (1): 1-14. DOI:10.1016/j.cellbi.2005.06.004
- ALAVI, S. M. H., O. LINHART, K. COWARD & M. RODINA. 2008a. Fish spermatology: Implications for aquaculture management. *In: Alavi, S. M. H., J. J. Cosson, K. Coward & G. Rafiee (Eds.). Fish spermatology*. Alpha Science, Oxford, pp. 397- 460.
- ALAVI, S. M. H., M. PSENICKA, M. RODINA, T. POLICAR & O. LINHART. 2008b. Changes of sperm morphology, volumen, density and motility and seminal plasma composition in *Barbus barbus* (Teleostei: Cyprinidae) during the reproductive season. *Aquatic Living Resources* 21: 75-80. DOI:10.1051/alr:2008011
- SAGARPA (SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN). 2014. Anuario Estadístico Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 2014. También disponible en la página web: (Consultado el 17 de abril 2017) <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadisticode-acuicultura-y-pesca>. Ciudad de México, 306 p.
- ARAGÓN-FLORES, E. A., MARTÍNEZ-CÁRDENAS, L. & VALDEZ-HERNÁNDEZ, E. F. 2014. Efecto del fotoperiodo en peces de consumo cultivados en distintos tipos de sistemas experimentales. *Bio Ciencias* 3 (1): 17-27. DOI:10.15741/revbio.03.01.03
- ARAL, F., E. PAHYNOZ & Z. DOGU. 2005. Annual Changes in Sperm Characteristics of Young Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W., 1792.) During Spawning Season in Atatürk Dam Lake, Sanliurfa, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 4 (2): 309-313.
- ARAL, F., E. SAHINOZ & Z. DOGU. 2007. A study on the milt quality of *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) and *Carasobarbus luteus* (Heckel, 1843) in Atatürk Dam Lake, Southeastern Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science* 7: 41-44.
- BILLARD, R. 1986. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species. *Reproduction Nutrition Development* 2: 877-920.
- BILLARD, R. & M. P. COSSON. 1989. Measurement of sperm motility in trout and carp. *In: N. De Pauw., E. Jaspers, H. Ackefors & N. Wilkins (Eds.). Aquaculture, a biotechnology in progress*. Bredene, Belgium: European Aquaculture Society, pp. 499-503.
- BILLARD, R., J. COSSON, G. PERCHEC & O. LINHART. 1995. Biology of sperm and artificial reproduction in carp. *Aquaculture* 129: 95-112.
- BOBE, J. & C. LABBÉ. 2010. Egg and sperm quality in fish. *General and Comparative Endocrinology* 165: 535-548. DOI:10.1016/j.ygcen.2009.02.011
- BOITANO, S., C. K. OMOTO. 1992. Trout sperm swimming patterns: role of intracellular Ca²⁺. *Cell Motil Cytoskel* 21:74-82.
- BONDARENKO, O., B. DZYUBA, J. COSSON, G. YAMANER, G. PROKOPCHUK, M. PSENICKA & O. LINHART. 2013. Volume changes during the motility period of fish spermatozoa: Interspecies differences. *Theriogenology* 79: 872-881. DOI: org/10.1016/j.theriogenology.2013.01.005
- BOZKURT, Y. 2006. The relationship between body condition, sperm quality parameters and fertilization success in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Animal and Veterinary Advances* 5 (4): 284-288.
- BRADSHAW, W. E. & C. M. HOLZAPFEL. 2007. Evolution of animal photoperiodism. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 38: 1-25. DOI:10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110115
- BUSTAMANTE-GONZÁLEZ, J. D., M. RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, A. CORTES-GARCÍA & M. GONZÁLEZ-RENTERIA. 2016a. Reproductive behavior of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during reproductive period. *Scientific Journal of Animal Science* 5 (4): 261-267. DOI: 10.14196/sjas.v5i4.2163
- BUSTAMANTE-GONZÁLEZ, J. D., M. GONZÁLEZ-RENTERIA, M. RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, A. CORTES-GARCÍA & A. ÁVALOS-RODRÍGUEZ. 2016b. Methodologies for spermatic evaluation in teleost. *International Journal of Aquatic Science* 7 (2): 95-106.
- BÜYÜKHATİPOĞLU, S. & W. HOLTZ. 1984. Sperm output in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) effect of age, timing and frequency of stripping and presence of females. *Aquaculture* 37: 63-71. DOI:10.1016/0044-8486(84)90044-9
- CAMACHO, B. E., R. M. A. MORENO, G. M. RODRÍGUEZ, R. C. LUNA & H. M. VÁSQUEZ. 2000. *Guía para el cultivo de la trucha*. SEMARNAP. México, D.F., 135 p.
- COSSON, J. J. 2008. Methods to Analyse the Movements of Fish Spermatozoa and their Flagella. *In: S. M. H. Alavi., J. J. Cosson, K. Coward & G. Rafiee (Eds.). Fish spermatology*. Alpha Science, Oxford, pp. 64-102.
- CRUZ-CASALLAS, P. E. 2001. Técnicas de laboratorio para la evaluación de la calidad seminal en peces. *Orinoquia* 5 (1): 155-163.
- DANIEL, W. W. 2017. *Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa, 4ª edición, México, 928 p.
- DIETRICH, G. J., R. KOWALSKI, M. WOJTCZAK, S. DOBOSZ, K. GORYCZKO & A. CIERESZKO. 2005. Motility parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa in relation to sequential collection of milt, time of post-mortem storage and anesthesia. *Fish Physiology Biochemistry* 31: 1-9. DOI: 10.1007/s10695-005-3527-4
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). 2012. *El estado mundial de la pesca y acuicultura*. Roma, Italia, 251 p.
- GATTI, J. L., R. BILLARD & R. CHRISTEN. 1990. Ionic regulation of the plasma membrane potential of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) sperm: role in the initiation of motility. *Journal of Cellular Physiology* 143: 546-54.
- HAJIREZAEI, S., B.M. AMIRI & A. MIRUAGHEFI. 2010. Fish milt quality and major factors influencing the milt quality parameters: A review. *African Journal of Biotechnology* 9 (59): 9148-9159.
- HAO, F. & Y. CHEN. 2009. The reproductive traits of brown trout (*Salmo trutta fario* L.) from the Yadong River, Tibet. *Environmental Biology of Fishes* 86: 89-96. DOI: 10.1007/s10641-008-9363-5
- HUNTER, J. R. & R. LEONG. 1981. The spawning energetics of female northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin* 79 (2): 215-229.

- JOHNSON, K., I. A. E. BUTTS., C. C. WILSON., & T. E. PITCHER. 2013. Sperm Quality of hatchery-Reared Lake Trout throughout the Spawning Season. *North American Journal of Aquaculture* 75 (1): 102-108.
- KARA, M.H. & S. LABED. 1994. Évolution des caractéristiques du sperme de *Sparus aurata* et *Dicentrarchus labrax* au cours d'une saison de reproduction. *Cahiers de Biologie Marine* 35: 281-288.
- LAHNSTEINER, F., B. BERGER, T. WEISMANN & R. A. PATZNER. 1998. Determination of semen quality of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, by sperm motility, seminal plasma parameters, and spermatozoal metabolism. *Aquaculture* 163: 163-81. DOI:10.1016/S0044-8486(98)00243-9
- MANCINI, A. M. 2002. Introducción a la biología de los peces. Producción animal I, Facultad de Agronomía y Veterinaria de Río Cuarto (FAV UNRC), pp: 1-19.
- MORENO, A. M. J., J. G. HERNÁNDEZ, R. ROVERO, A. TABLANTE & L. RANCEL. 2000. Alimentación de tilapia con raciones parciales de cáscaras de naranja. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 3 (1): 29-33.
- MUNKITTRICK, K. & D. MOCCIA. 1987. Seasonal changes in the quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) semen: effect of delay in stripping on spermatozoa, motility, volume and seminal plasma constituents. *Aquaculture* 64: 147-156. DOI: org/10.1016/0044-8486(87)90350-4
- NYNCA, J., G. J. DIETRICH, H. KUZMINSKI, S. DOBOSZ & A. CIERESZKO. 2012. Motility activation of rainbow trout spermatozoa at pH 6.5 is directly related to contamination of milt with urine. *Aquaculture* 300: 185-188. DOI:10.1016/j.aquaculture.2011.12.023
- RAMÍREZ-MERLANO, J., V. MEDINA-ROBLES & P. CRUZ-CASALLAS. 2011. Variación estacional de las características seminales del bagre rayado *Pseudoplatystoma metaense* (Teleostei, pimelodidae). *Revista MVZ Córdoba* 16 (1): 2336-2348.
- RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, M., D. CONTRERAS-GARCÍA, A. K. RODRÍGUEZ-VICENTE, A. CORTÉS-GARCÍA & H. HERNÁNDEZ-RUIZ. 2007. Evaluación de la reproducción inducida en ciprinidos. In: L. Ayala-Pérez, R. Gío-Argáes & N. Trigo-Boix (Eds.). *Contribuciones metodológicas al conocimiento de los recursos naturales*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, México, pp. 115-126.
- ROYCE, W. F. 1972. *Introduction to the fishery sciences*. Academic Press, Inc, 351 p.
- RURANGWA, E., D. E. KIME, F. OLLEVER & J. P. NASH. 2004. The measurement of sperm motility and factors affecting sperm quality in culture fish. *Aquaculture* 234: 1-28. DOI:10.1016/j.aquaculture.2003.12.006
- SAHIN, T., I. Z. KURTOGLU & F. BALTA. 2014. Quantitative characteristics of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) semen throughout the reproductive season. *Turkish Journal of Science and Technology* 26 (1): 81-87.
- SEGER, S., N. TEKIN, Y. BOZKURT, N. BUKAN & E. AKCAY. 2004. Correlation between biochemical and spermatological parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) semen. *The Israeli Journal of Aquaculture Bamidgah* 56 (4): 274-280.4.
- SORIANO, S. M. B. & O. D. HERNÁNDEZ. 2002. Tasa de crecimiento del pez ángel *Pterophyllum scalare* (Pisciformes: Cichlidae) en condiciones de laboratorio. *Acta Universitaria* 12 (2): 28-33.
- SOSA, L. F., C. M. A. ROSA, DE LA M. G. INGLE, R. L. M. TORRES & M. M. HERNÁNDEZ. 2000. Trucha. In: C. A. J. Díaz de León, T. N. A. López & A. R. Mendoza. (Eds). *Estado de Salud de la Acuicultura*. Instituto Nacional de Pesca, Ciudad de México, pp.109-145.
- TABARES, C. J., A. TARAZONA & A. OLIVERA. 2005. Fisiología de la activación del espermatozoide en peces de agua dulce. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18: 149-161.
- TORRES, G. J. M., P. R. A. MAÍZ & R. J. J. CASTELLANO. 2014. Aspectos de la producción anual de semen de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en los Andes tropicales Venezolanos. *Mundo Pecuário* 1: 9-14.
- SCHULZ, R.W. & T. MIURA. 2002. Spermatogenesis and its endocrine regulation. *Fish Physiology and Biochemistry* 26: 43-56. DOI:10.1023/A:1023303427191
- VALDEBENITO, I., J. BARILES, R. VEGA, P. DANTAGNAN, A. BÓRQUEZ & E. CARREÑO. 1995. Análisis cualitativo y cuantitativo del semen de puye *Galaxias maculatus*. *Biología Pesquera* 24: 17-21.
- VON BERTALANFFY, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10: 181-213.
- WOOTTON, R. F. 1999. Ecology of Teleost Fishes. *Fish and Fisheries Series*. Springer Netherlands, 386 p.
- ZUROMSKA, H. 1981. Effect of different thermal regimes on reproductive cycles of tench (*Tinca tinca*). Part VI. Estimation of milt quality. *Polish Archives of Hydrobiology* 28: 229-241.