



Original

Caracterización morfométrica y seminal de reproductores de *Clarias gariepinus* en épocas pre-reproductiva y reproductiva

Morphometric and Seminal Characterization of *Clarias gariepinus* Breeding Stock at the Pre-Breeding and Breeding Stages

Anaysi Portales González *^{ORCID}, María Teresa García de la Cruz **^{ORCID}, Mirta Vinjoy Campa **^{ORCID}, Lisbani Interian Álvarez *^{ORCID}

*Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT), Loma de Tierra, Cotorro, La Habana, Cuba.

**Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA), UDI "El Dique", Loma de Tierra, Cotorro, La Habana, Cuba.

Correspondencia: aportales@cima-minag.cu

Recibido: Octubre, 2022; Aceptado: Noviembre, 2022; Publicado: Diciembre, 2022.

RESUMEN

Antecedentes: La reproducción artificial en *Clarias gariepinus* implica sacrificar el macho; se precisa conocer las características físicas del semen y sus variaciones, para su conservación en época pre-reproductiva y su aprovechamiento en la campaña de reproducción. **Objetivo.** Caracterizar los cambios morfométricos y la calidad seminal en *Clarias gariepinus* durante las épocas pre-reproductiva (EPR) y reproductiva (ER). **Métodos:** Se evaluaron 42 reproductores machos, en ambas épocas, mediante los indicadores peso (PV) (kg), largo (LT) (cm), peso gonadal (PG) y de vesículas seminales (PVS) (g), factor de condición (FC), índices gonadosomático (IGS) y vesículas seminales-somático (IVS-S). Se colectaron muestras de semen testicular (ST) y semen testicular-plasma seminal (ST-PS), con evaluación del color, consistencia, volumen seminal testicular (VST) y del plasma seminal (VPS) (ml), motilidad (%), tiempo de activación espermática (TAE) (sg), concentración espermática (CE) ($\times 10^9$ spz/ml) y espermatozoides (SPCTO) (%). Se realizó un análisis de varianza de dichas variables considerando la época como fuente de variación y un análisis de correlación de Pearson. **Resultados:** Se incrementaron significativamente ($P < 0,05$) el PV, PG e IGS en ER. El VST y VPS fueron inferiores en EPR, con mayor CE. El semen cremoso mostró elevadas CE ($21,14 \pm 2,90 \times 10^9$ spz/ml) y SPCTO ($19,50 \pm 1,24$ %); cuya correlación fue moderada ($r=0,58$, $P < 0,001$). **Conclusiones:** Se deben descartar los reproductores machos con bajo IGS y semen acuoso, por su baja densidad celular. Es posible predecir la CE a través del espermatozoides y disponer de semen de buena calidad en EPR para su conservación.

Palabras clave: *Clarias gariepinus*, características seminales, época, Morfometría (Fuente: MeSH)

Como citar (APA)

Portales González, A., García de la Cruz, M., Vinjoy Campa, M., & Interian Álvarez, L. (2022). Caracterización morfométrica y seminal de reproductores de *Clarias gariepinus* en épocas pre-reproductiva y reproductiva. *Revista de Producción Animal*, 35(1). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4316>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

ABSTRACT

Background: Artificial breeding of *Clarias gariepinus* entails sacrificing the male, which is necessary to know the semen's physical features and variations for preservation during the pre-breeding stage, and its utilization for the breeding stage. **Aim.** To characterize the morphometric changes and seminal quality of *Clarias gariepinus* during the pre-breeding (PRS) and breeding (BS) stages. **Methods:** A number of 42 breeding males were evaluated in the two stages, using weight (LW) (kg), length (LT) (cm), gonadal weight (GW), and seminal vesicles (SVW) (g), condition factor (CF), gonadosomatic index (GSI), and seminal-somatic vesicles index (S-SVI). Samples from testicle's semen (TS) and seminal plasma/testicle's semen (SP-TS) were collected. Their color, testicle seminal volume (TSV), and seminal plasma volume (SPV) (ml), motility, sperm activation time (SAT) (sec), sperm concentration (SC) ($\times 10^9$ spz/ml), and spermatocrits (SPCTO) (%), were evaluated. An analysis of variance of the variables was conducted, considering the time as the variation source, along with a Pearson correlation analysis. **Results:** The LW, GW, and SGI increased significantly ($P < 0.05$) during the BS). The TSV and SPV were lower in the PBS, with a higher SC. The creamy semen showed high SC ($21.14 \pm 2.90 \times 10^9$ spz/ml) and SPCTO (19.50 ± 1.24 %), whose correlation was moderate ($r = 0.58$, $P < 0.001$). **Conclusions:** The breeding males with low SGI and aqueous semen should be rejected due to their low cellular density. SC can be predicted through the spermatocrit, so that high-quality semen can be available during the PBS through conservation.

Keywords: *Clarias gariepinus*, seminal features, stage, morphometry (Source: MeSH)

INTRODUCCIÓN

La acuicultura registra un incremento en la productividad a nivel mundial; en la cual se manifiesta la contribución del pez gato africano, *Clarias gariepinus*, que reemplazó a la tilapia al ser el pez más cultivado desde el 2004 en África (FAO, 2012) y de marcada influencia en el rápido crecimiento del sector en Nigeria (Jimoh *et al.*, 2021). Se considera uno de los peces gato tropicales más importantes en la acuicultura en Asia e incluso en Europa (Viveiros, So y Komen, 2000; Okoye *et al.*, 2017) y actualmente se cultiva en sistemas modernos con recirculación de agua en Holanda (Fleuren, Nooijen y Roosendaal, 2013). En Cuba, ocupa el segundo lugar en las producciones dulceacuícolas, debido a su alta tasa de crecimiento, resistencia a condiciones ambientales y reproducción continua (De Graaf, Galemoni y Banzoussi, 1995).

El desove inducido implica sacrificar al macho para recolectar el semen de los testículos (Steyn y Van Vuren, 1987) lo que permite disponer de una cantidad de esperma limitada (Viveiros, So y Komen, 2000; Mansour, Lahnsteiner y Patzner, 2002). La colección seminal por masaje abdominal es casi imposible ya que la presión digital hará que el semen se mueva hacia la vesícula seminal y no a través del poro de la papila genital (De Graaf, Galemoni y Banzoussi, 1995; Viveiros *et al.*, 2002). Se necesita disponer de semen con buena calidad para incrementar la eficiencia de la fertilización artificial en las especies piscícolas, para lo cual se requiere emplear reproductores machos con alta viabilidad espermática y alto volumen seminal (Solomon *et al.*, 2015), pues se reconocen variaciones en la calidad del semen testicular entre machos (Mansour, Lahnsteiner y Berger, 2004). Por consiguiente, la determinación de los parámetros de calidad

espermática del semen fresco es un prerequisite para la evaluación satisfactoria de su capacidad reproductiva, puede ayudarnos a mejorar la reproducción artificial en granjas de peces (Alavi *et al.*, 2009).

La capacidad del espermatozoide de fertilizar el ovocito es el principal factor que afecta las tasas de fertilización. Tal capacidad depende de parámetros cualitativos y cuantitativos tales como el volumen, la concentración, la motilidad, la viabilidad y la morfología espermática (Bustamante-González *et al.*, 2016), de los cuales el volumen indica la eficiencia, y la concentración junto a la motilidad determinan la capacidad de fertilización del espermatozoide (Cabrita *et al.*, 2014), debido a que las propiedades químicas del fluido seminal garantizan que los espermatozoides de los peces permanezcan inmóviles en dicho fluido (Coward, Campos y Parrington, 2008).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar los cambios morfométricos y la calidad seminal en *Clarias gariepinus* durante las épocas pre-reproductiva y reproductiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Se trabajó con el banco de reproductores del pez gato africano *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) de la Unidad de Desarrollo e Innovación (UDI) "El Dique", de la Empresa de Desarrollo de Tecnologías Acuícolas (EDTA).

Manejo de los reproductores

Los reproductores se mantuvieron en un estanque de concreto con circulación continua de agua y alimentación diaria con pienso comercial (36 % proteína bruta, PB y 2 964 Kcal/kg energía digestible, ED), al 1 % de la biomasa.

Diseño experimental y animales muestreados

Para el estudio se emplearon 42 reproductores machos seleccionados al azar, de 2 años de edad promedio, 23 en época pre-reproductiva y 19 en época reproductiva, con colecta de muestras de semen testicular (ST) y semen testicular más plasma seminal (ST-PS) en ambos períodos, como se describe en acápite "Colección del semen testicular y del plasma seminal".

Morfometría

Se evaluaron los indicadores morfométricos: peso vivo (PV, kg), largo total (LT, cm), peso de las gónadas (PG, g) y peso de las vesículas seminales (PVS, g). Para determinar el estado general de desarrollo del pez se utilizó el factor de condición (FC) de Fulton (1902), calculado mediante la fórmula:

$$FC = \frac{PV}{LT^3} \times 100$$

Se calculó el índice gonadosomático (IGS) (Ferrer, 1988) para determinar la madurez de las gónadas y el índice vesículas seminales-somático (IVS-S) (Viveiros, Eding y Komen, 2001) mediante las fórmulas:

$$\text{IGS (\%)} = \frac{\text{PG}}{\text{PV}} \times 100 \quad \text{e} \quad \text{IVS-S (\%)} = \frac{\text{PVS}}{\text{PV}} \times 100$$

El pesaje se realizó mediante dos balanzas digitales marca GRAM, con capacidades de 60 kg y 1 kg. Para medir el largo del pez se utilizó un ictiómetro.

Colección del semen testicular y del plasma seminal

La colección seminal se realizó en tubos aforados plásticos, inmediatamente después de sacrificados los animales, mediante disección del abdomen y extracción de los testículos (Elizarde *et al.*, 2007). Para la colecta del semen testicular y del plasma seminal se realizaron múltiples cortes a los testículos y vesículas seminales con extensiones en formas de dedos, respectivamente. El material obtenido se filtró con malla de zooplancton (200 μm). Las muestras se conservaron a 4°C hasta su evaluación macro y microscópica dentro de 3 horas posteriores a la extracción.

Caracterización física del semen

Se caracterizaron las muestras en cuanto a: color, consistencia, volumen seminal testicular (VST, ml) y volumen del plasma seminal (VPS, ml). Se realizó la evaluación subjetiva de la motilidad (%) en la escala de 5 puntos de 0 a +4 propuesta por Ninhaus-Silveira *et al.* (2006), mezclando una gota de semen fresco con una gota de agua destilada, la cual se observó al microscopio usando lentes 10x y 40x. Posteriormente se evaluó el tiempo de activación espermática (TAE, sg) mezclando una gota de semen con agua común para la activación de la motilidad (López-Hernández *et al.*, 2018). Se determinó la concentración espermática (CE, $\times 10^9$ sptz/ml) mediante una dilución 1:800 (0,01 ml de semen en 8 ml de solución salina al 3 %) realizando el conteo por duplicado en cámara de Neubauer con objetivo 40X, promediando las dos lecturas, según metodología tradicional utilizada para el recuento hematológico descrito por Oppenheim (1973). Por último, se determinó el valor del espermatocrito (SPCTO, %) mediante centrifugación de las muestras por duplicado durante 20 minutos a 3500 r.p.m. en centrífuga de microhematocrito marca Hawkey (Portales *et al.*, 2021).

Análisis estadísticos

Los datos se analizaron obteniéndose los estadígrafos generales para las características morfométricas y físicas del semen y el plasma seminal. Se realizaron análisis de varianza con el modelo lineal general (GLM) para dichas características, considerando como fuente de variación la época de extracción de las muestras. A los datos de motilidad y espermatocrito se les halló el

logaritmo natural para su transformación antes de su procesamiento. Se realizó un análisis de correlación de Pearson. Todos los análisis estadísticos se realizaron con MINITAB (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores morfométricos

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en los indicadores PV, PG e IGS de los reproductores machos de *Clarias gariepinus*, a favor de la época reproductiva (Tabla 1).

Zacariah *et al.* (2016) también detectaron órganos reproductores más pequeños durante el período pre-reproductivo en esta especie mientras otros investigadores no encontraron diferencias en el peso de los testículos entre épocas en *C. gariepinus* silvestres (Idahor *et al.*, 2014; Yusuf *et al.*, 2015; Ali *et al.*, 2022).

Aunque las diferencias estacionales no están bien definidas, se asocian con factores ambientales tales como: temperatura, disponibilidad del alimento, lluvias y fotoperiodo. Este pez muestra ciclo reproductivo discontinuo en su hábitat natural, influenciado por los cambios circadianos en la temperatura del agua y la fotoperiodicidad (Olaleye, 2005), con el incremento en el nivel del agua debido a las precipitaciones como mecanismo de activación para el desove. El peso corporal de los reproductores juega el mayor papel en el período de maduración espermática, y existe un amplio rango en el número de espermatozoides producidos, por lo cual se asocia el incremento en el peso testicular al mismo tiempo que el peso corporal, constituyendo un buen indicador de la eficiencia de la espermatogénesis (Bromage y Roberts, 1995; Jimoh *et al.*, 2021) y de la cantidad de esperma producido (Billard, 1986; Ali *et al.*, 2022).

Tabla 1. Rasgos morfométricos, índices somáticos y cambios en el aparato reproductor masculino entre épocas pre-reproductiva (N=23) y reproductiva (N=19).

Rasgos	Época pre-reproductiva (febrero-marzo)			Época reproductiva (junio)			p
	M ± ES	DS	CV	M ± ES	DS	CV	
PV (kg)	2,14 ± 0,11	0,51	24	2,47 ± 0,10	0,45	18	p<0,05
LT (cm)	71,3 ± 1,90	9,09	13	73,05 ± 0,79	3,43	5	ns
PG (g)	23,42 ± 2,58	12,37	53	34,74 ± 3,37	14,67	42	p<0,05
PVS (g)	13,73 ± 1,74	8,37	61	17,37 ± 1,85	8,06	46	ns
FC	0,61 ± 0,04	0,17	28	0,64 ± 0,03	0,12	19	ns
IGS	1,06 ± 0,08	0,37	35	1,41 ± 0,12	0,53	38	p<0,05
IVS-S	0,65 ± 0,08	0,36	56	0,70 ± 0,07	0,30	42	ns

Legenda: PV: peso vivo, LT: largo total, PG: peso de las gónadas (testículos), PVS: peso de vesículas seminales, FC: factor de condición de Fulton, IGS: índice gonadosomático, IVS-S: índice vesículas seminales-somático, p: nivel de significación, ns: diferencias estadísticamente no significativas.

En reproductores machos de *Clarias gariepinus* cultivados en Nigeria de peso corporal 2,54 ± 0,12 kg, Jimoh *et al.* (2021) encontraron un peso gonadal total e IGS en el rango de los hallados

en el presente estudio ($27,94 \pm 8,17$ g y $1,15 \pm 0,38$, respectivamente), aunque el factor de condición fue superior ($0,84 \pm 0,07$). Los autores consideraron que el IGS y los rasgos reproductivos del macho explicarían la diferencia en el rendimiento reproductivo y la producción de semillas en cautiverio. Kumari (2014) demostró que existe una correlación positiva entre el peso testicular y la producción seminal; por lo cual el IGS se emplea para estimar el comportamiento reproductivo del pez. En ambas épocas este índice fue superior a 1; por lo que nuestros resultados contradicen los hallazgos de Urbányi *et al.* (1999), quienes refirieron que muchos silúridos incluyendo *Clarias gariepinus* son oligospermicos (bajo recuento de espermatozoides) ($IGS < 1$) y que el volumen colectado es generalmente bajo, aún con estimulación hormonal.

Por otra parte, el aumento de las VS no fue significativo y tampoco el IVS-S ($0,70 \pm 0,07$ %), el cual se correlacionó positivamente con el IGS y con la actividad secretora testicular en la especie (Singh y Joy, 1999). El IVS-S fue superior a los referidos por Viveiros, Eding y Komen (2001) ($0,29 \pm 0,06$ %) en machos con vesículas seminales bien desarrolladas con extensiones largas en forma de dedos a cada lado de los conductos espermáticos y también a los valores encontrados por Amer *et al.* (2005) (0,2 - 0,4 %).

Calidad seminal

Durante la extirpación de los testículos, se pudo apreciar su aspecto lobular, turgencia y color blanquecino (Figura 1A), asociados con los testículos tipo I o maduros (Mansour *et al.*, 2004) productores de semen de excelente calidad; apariencia similar manifestaron las gónadas masculinas de *C. gariepinus* silvestres de un lago en Nigeria, durante la época de desove (Ali *et al.*, 2022). Las glándulas genitales accesorias (vesículas seminales) presentaron múltiples lóbulos y produjeron una secreción altamente viscosa y rosada, en correspondencia con lo referido para la familia Clariidae (Van der Hurk, Resink y Peute, 1987; Singh y Joy, 1999).

Adicionalmente, se apreciaron testículos atrofiados, principalmente en la EPR (Figura 1B) y un caso patológico en ER (Figura 1C). Los testículos patológicos mostraron aumento de tamaño (60 g) y coloración grisácea, con un PVS de 30 g. El semen extraído mostró consistencia acuosa y transparencia, con un VST de 40 ml y VPS de 8 ml, superiores al promedio; con mala calidad (20 % de motilidad, CE de $2,4 \times 10^9$ spz/ml y SPCTO de 2,4 %). A su vez, el perfil bioquímico del pez mostró valores altos de triglicéridos (36,28 mg/dL) y glucosa (13,69 mg/dL) en sangre, reflejando alteraciones metabólicas.



Figura 1. Testículos y vesículas seminales de reproductores de *Clarias gariepinus*: A. Testículos maduros tipo I, B. Testículos atrofiados y vesículas aumentadas de tamaño, C. Testículos asociados a mala calidad seminal (caso patológico).

En general, el ST obtenido en ambas épocas mostró color blanco y consistencia lechosa, aunque se evidenciaron muestras con consistencia cremosa en EPR; coincidiendo con los parámetros observados en épocas de no desove y desove en *C. gariepinus* silvestres (Ali *et al.*, 2022). El VST producido es elevado, consistente con los obtenidos en reproductores cultivados en Nigeria (17,69 ml); lo que indica que se requieren menos machos para fertilizar los huevos, debido a su abundante producción de semen (Jimoh *et al.*, 2021).

Se observó una relación fisiológica entre la consistencia seminal y el VST, la CE y el SPCTO (Figura 2). El VST se redujo a medida que la consistencia cambió de acuosa a lechosa y cremosa. Se asoció un semen cremoso con la mayor densidad celular ($21,14 \pm 2,90 \times 10^9/\text{ml}$ y $19,50 \pm 1,24$ % de SPCTO) en comparación con el semen acuoso ($3,27 \pm 0,87 \times 10^9/\text{ml}$ y $4,30 \pm 1,90$ %).

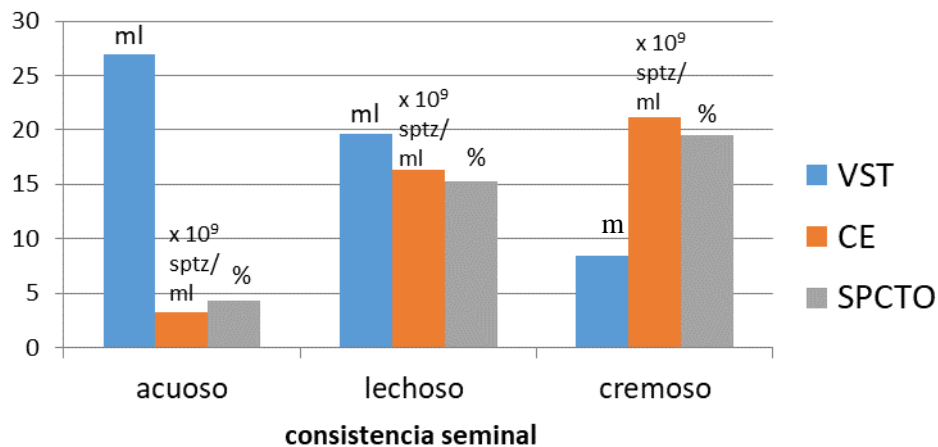


Figura 2. Indicadores de calidad seminal asociados a la consistencia del semen testicular.

Existen antecedentes que confirman la variación del espermatozoides y la viscosidad (consistencia) del semen entre machos, entre especies y a través de la época reproductiva (Rakitin, Ferguson y Trippel, 1999; Ali *et al.*, 2022). En concordancia con estos autores, ésta especie puede producir gran número de semillas, así como es posible coleccionar semen de buena calidad en épocas de desove y no desove y emplear como criterio a priori la consistencia en la evaluación del semen durante las campañas de reproducción para descartar semen acuoso.

Esta especie, en ambientes naturales en Nigeria, mostró CE y VS inferiores ($2,9 \pm 0,4$ y $2,6 \pm 0,4 \times 10^9/\text{ml}$, $3,6$ y $3,3$ ml), en épocas de desove y no desove, respectivamente; relacionado con el menor peso de los reproductores ($994,8$ y $898,6$ g) ya que peces con mayor peso produjeron los mayores volúmenes seminales (Ali *et al.*, 2022). En general, existen variaciones en el número de espermatozoides entre especies de peces (2×10^6 a $5,3 \times 10^{10}$), lo cual está relacionado con la estación reproductiva, el tratamiento hormonal, los porcentajes de fecundación, la disponibilidad y propiedades nutricionales del alimento y la calidad del agua (Murakami *et al.*, 2014; López-Hernández *et al.*, 2018).

En el presente estudio encontramos recuentos de espermatozoides superiores a los referidos por Viveiros, So y Komen (2000); Yusuf y Ilker (2017) y Okoye *et al.* (2017) e inferiores a los encontrados por Solomon *et al.* (2015) ($35 - 97 \times 10^9$ sptz/ml), en éste último caso atribuidos al pico de la época de apareamiento. Ali *et al.* (2022) obtuvieron esperma también en época de no desove; incluso el semen lechoso obtenido tuvo una concentración media dentro del rango normal ($1,8 - 7,2 \times 10^9/\text{ml}$), acorde lo referido por Viveiros, So y Komen (2000) y Yusuf y Ilker (2017) en el pez gato africano en Turquía. Esto se puede atribuir al hecho que los testículos de *Clarias gariepinus* macho están completamente desarrollados una vez que alcanzan aproximadamente los 200 g de peso (De Graaf y Janssen, 1996; Ali *et al.*, 2022).

Por otra parte, no se encontraron diferencias en la motilidad, el SPCTO y el TAE entre ambos períodos, consistentes con semen de buena calidad. Los menores VST y VPS se obtuvieron en EPR, relacionados con una mayor CE (Tabla 2). El incremento del VS en ER se atribuye a la presencia de testículos maduros tipo I y al incremento en el PG y PVS. La actividad secretora de las VS de *Clarias gariepinus* es estimulada por la testosterona (Singh y Joy, 1997) y su apareamiento es estacional; el nivel de actividad testicular y espermatogénesis dependen mayormente del período de luz y la temperatura (Garg y Sundararaj, 1985).

Tabla 2. Comparación de las características físicas del semen y plasma seminal de los reproductores de *Clarias gariepinus* entre épocas.

Características seminales	Época pre-reproductiva	Época reproductiva	P
	M ± ES	M ± ES	
VST (ml)	11,10 ± 1,82	23,57 ± 2,25	p<0,001
VPS (ml)	0,86 ± 0,28	1,93 ± 0,35	p<0,05
Motilidad (%)	66,72 ± 6,17	79,74 ± 4,92	ns
CE (x10 ⁹ sptz/ml)	19,08 ± 1,43	13,39 ± 1,60	p<0,05
SPCTO (%)	16,9 ± 1,07	13,8 ± 1,21	ns
TAE (sg)	40,1 ± 2,54	35,6 ± 2,86	ns

Leyenda: VST: volumen de semen testicular, VPS: volumen de plasma seminal, CE: concentración espermática, SPCTO: espermatozoides, TAE: tiempo de activación espermática.

En *Clarias gariepinus* se identifican diferentes estadios de maduración gonadal, entre machos y también en el mismo testículo de un pez durante el desove natural. Esto afecta la consistencia, el volumen y la densidad espermática pero no la motilidad (Mansour *et al.*, 2004). Este indicador no mostró diferencias significativas entre las dos épocas y se considera el mejor biomarcador de la calidad del semen, relacionado con la capacidad de fertilización (Oguntuase y Adebayo, 2014).

En contraste con otros indicadores, el TAE coincide con la duración de la motilidad espermática de 40 segundos referida por Mansour *et al.* (2004), la cual disminuyó alrededor del 50 % al transcurrir la mitad de ese tiempo; y concuerda con el tiempo referido en el bagre rayado *Pseudoplatystoma metaense* (39,5 segundos) por Ramírez-Merlano, Medina-Robles y Cruz-Casallas (2011). Su brevedad se asocia con el corto tiempo del que disponen los espermatozoides inmóviles para activarse al ponerse en contacto con el agua, mediante la adquisición de movilidad y velocidad de desplazamiento progresivo para lograr la fertilización, antes de que las ovas liberadas en el agua se hidraten y cierren su micrópilo; orificio del ovocito por el cual penetran los espermatozoides para la ocurrencia de la fecundación. Esto se debe a la ausencia de acrosoma en los espermatozoides de teleósteos, al contrario de los mamíferos (Quagio-Grassiotto *et al.*, 2001). Por tal razón, ambos gametos se liberan sincronizadamente al medio acuático, donde se activan y ocurre la fertilización (Dumorne *et al.*, 2018).

Las características evaluadas permitieron constatar que *C. gariepinus* es un pez de espermiación continua, puede producir semen de alta calidad durante períodos en que las temperaturas y el fotoperiodo no son favorables para la reproducción de la hembra. Estos resultados sustentan la posibilidad de conservar semen en esta etapa puesto a que el desarrollo asincrónico de la espermatogénesis soporta la espermiación continua en *C. gariepinus* cultivados, una vez que pueden iniciar la producción de esperma a los 6 meses de edad, momento en que se identifican espermatozoides con capacidad para el movimiento progresivo unidireccional, indicando la madurez sexual del pez. Sin embargo, factores genéticos y condiciones de cultivo incluyendo la nutrición influyen en la edad de maduración de los peces cultivados (Okoye *et al.*, 2016). Adicionalmente, los mayores IGS, volumen seminal, CE y SPCTO se encontraron en machos de 12 meses de edad, con mejora de la calidad seminal en peces mayores (Okoye *et al.*, 2017), lo que justifica la elección de los reproductores en este momento.

Correlación entre características reproductivas y seminales.

En EPR se encontraron las mayores correlaciones entre rasgos morfométricos y seminales (Tabla 3).

Tabla 3. Relación entre el peso vivo del pez, peso de los testículos y vesículas seminales y algunos parámetros del semen de *Clarias gariepinus* en épocas pre-reproductiva y reproductiva.

Parámetros	Época pre-reproductiva		Época reproductiva	
	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	Valor de p	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	Valor de p
PV – PG	0,73	<0,0001	0,24	0,34
PV – PVS	0,32	0,13	0,40	0,09
PV – VST	0,71	0,0001	0,16	0,52
PV – VPS	0,12	0,64	-0,21	0,58
PG – PVS	0,31	0,14	0,42	0,08
PG – VST	0,98	<0,0001	0,92	<0,0001
PG – VPS	0,01	0,95	0,45	0,22
PG – SPCTO	0,10	0,64	-0,31	0,21
PG – CE	0,55	0,0058	-0,09	0,72
PVS – VST	0,36	0,09	0,32	0,20
PVS – VPS	0,86	<0,0001	0,22	0,56
VST - SPCTO	0,09	0,67	-0,45	0,06
VST - CE	0,55	0,0057	-0,15	0,55
SPCTO – CE	0,53	0,0073	0,33	0,18

Correlación es significativa para niveles de $p < 0,05$

Hubo una correlación alta y significativa ($p < 0,001$) entre PV y VST ($r = 0,71$), PG y VST ($r = 0,98$) y entre el PVS y VPS ($r = 0,86$). Se detectó una correlación moderada y significativa ($p < 0,01$) entre PG y CE ($r = 0,55$), VST y CE ($r = 0,55$) y entre SPCTO y CE ($r = 0,53$). Nuestros hallazgos coinciden con los referidos por Yusuf *et al.* (2015), quienes encontraron correlaciones positivas pero superiores ($r = 0,72$, $p < 0,05$) del VS y PG con la CE en reproductores machos cultivados en Nigeria y similares entre el PG y VST ($r = 0,98$, $p < 0,01$).

En la ER se produjo un desarrollo aparejado de los testículos y las vesículas seminales, en respuesta a las condiciones ambientales favorables para la reproducción (incremento del PG, VST, VPS) y reducción de la CE. Sin embargo, solo mostró correlación significativa ($r = 0,92$; $p < 0,0001$) el PG con el VST y la asociación entre los indicadores de densidad espermática (CE y SPCTO) fue baja. La correlación ($r = 0,16$, $p > 0,05$) entre PV y VST en ER contrasta con los resultados de Ali *et al.* (2022) en la época de desove de *C. gariepinus* en ambientes naturales de Nigeria ($r = 0,36$; $p < 0,05$). Asimismo, nuestros hallazgos difieren de éstos autores, quienes encontraron relaciones bajas y no significativas del peso de los testículos con el VS ($r = 0,20$) y con la CE ($r = 0,28$).

Los resultados obtenidos permiten utilizar al SPCTO como un indicador práctico de rápida medición para predecir la CE en peces solamente en EPR, en concordancia con Rakitin *et al.* (1999) y Portales *et al.* (2021). En otras especies de aguas frías se refieren correlaciones

superiores ($r=0,84$), como en el pez del Himalaya *Schizothoraichthys progastusis* (Agarwal, Vandana y Raghuvanshi, 2013).

CONCLUSIONES

Se deben descartar los reproductores machos *Clarias gariepinus* con bajo índice gonadosomático y semen acuoso, por su baja densidad celular. Es posible predecir la concentración espermática a través de la determinación del espermatozooto y disponer de semen de buena calidad en época pre-reproductiva para implementar técnicas de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Lic. Zenaida Arboleya Arrizabalaga, de la UDI "El Dique" por su apoyo administrativo incondicional para el desarrollo de estas investigaciones y a la técnica Dayné Horta Fernández, por su participación en las tareas de campo.

REFERENCIAS

- Agarwal, N.K., Saini, V., & Raghuvanshi, S.K. (2013). Characterization and short-term storage of semen of a coldwater Himalayan fish species. *Biojournal*, 8(1), 1-8. <https://www.researchgate.net/publication/257645264>
- Alavi, S.H., Rodina, M., Policar, T., & Linhart, O. (2009). Relationship between semen characteristics and body size in *Barbus barbus* L. (Teleostei: Cyprinidae) and effects of ions and osmolality on sperm motility. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 153(4), 430-437. <https://doi.10.1016/j.cbpa.2009.04.001>
- Ali, R.I., Asuku, S.O., Bamanga, U.M., Ali, A., Waziri, M.A. & Bukar, M.M. (2022). Reproductive Tract Morphometry and Evaluation of Fresh Wild African Catfish (*Clarias gariepinus*) Milt from Lake Alau, Maiduguri, Nigeria. *Sahel J. Vet. Sci.* 19(3), 1-7.
- Amer, M.A., El-Sherbiny, A.M., El-Gamal, A.A. & M.F. Osman. (2005). Semen characteristics of the African catfish *Clarias gariepinus*: I- Effects of GnRH analogue. *Egypt. J. Aquat. Biol. & Fish*, 9(4), 469-487. <https://www.researchgate.net/publication/323175015>
- Billard, R. (1986). Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species. *Reproduction and Nutritional Development*, 26, 877-920. <http://hal.archives.fr/hal-00898500>

- Bustamante-González, J.D., González-Rentería, M., Rodríguez-Gutiérrez, M., Cortés-García, A. & Ávalos-Rodríguez, A. (2016). Methodologies for spermatic evaluation in teleost. *International Journal of Aquatic Science* 7(2), 95-106.
- Coward, K., Campos, M.A. & Parrington J. (2008). Mechanisms of egg activation at fertilization in teleost fish: cellular and molecular approaches. En: Alavi S.M.H., Cosson J.J., Coward K. and Rafiee G, (eds.) *Fish spermatology*. Alpha Science, Oxford. 317-346.
- De Graaf, G.J., Galemoni, F. & Banzoussi, B. (1995). Artificial reproduction and fingerling production of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), in protected and unprotected ponds. *Aquaculture Research*, 26(4), 233-242. <https://doi.org/10.1111/j.1365-109.1995.tb00908.x>
- De-Graaf, G. & Janssen, J. (1996). Handbook on the artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in sub-saharan Africa, In A.G.J. Tacon and M. Page, editors. Fisheries Technical Research Papers FAO, Rome. Page 109. <http://www.Inter.nl.net>
- Dumorne, K., Figueroa, E., Cosson, J., Lee-Estevez, M., Ulloa-Rodríguez, P., Valdebenito, I., & Farias, J.G. (2018). Protein phosphorylation and ions effects on salmonid sperm motility activation. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 727-737. <https://doi.org/10.1111/raq.12198>
- Elizarde, S., Gutiérrez, D., Díaz, G. & Riera, J.B. (2007). Procedimiento Operacional de Trabajo para el cultivo intensivo de Clarias. Ministerio de la Industria Pesquera.
- FAO (2012). The State of World Fisheries and Aquaculture. Food and Agricultural Organization, Geneva.
- Ferrer, M. (1988). Madurez sexual, Diámetro de Huevos, Fecundidad y factores relacionados de la lisa (*Mugil curema* Valenciennes, 1836) del lago de Maracaibo. *Zootecnia Tropical*, 6(1 y 2), 81-112.
- Fleuren, W., Nooijen, P. & Bert-Jan, Roosendaal. (2013). Manual de precría del pez gato africano *Clarias gariepinus*. The Netherlands. 37 p.
- Fulton, T. (1902). Rate of growth of sea-fishes. *Sci. Invest. Fish. Div. Scot. Rept.* 1-22. <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/213>
- Garg, S. K. & Sundararaj, B.I. (1985). Response of the testes and seminal vesicles of the catfish *Heteropneustes fossilis* (Bloch) to various combinations of photoperiod and temperature. *Physiological zoology*, 58(5), 616-627. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/physzool.58.5.30158588>
- Idahor, K.O., Yakubu, A., Umar, A.F., Yahaya, F. & Musa. L.A. (2014). Morphometric traits, spermatozoa microscopy and stripped eggs fertilized with milt collected from live African mudfish (*Clarias gariepinus*). *Livestock Research for Rural Development*, 26(8), 5-8. <http://www.lrr26/8/idah26150.htm>

- Jimoh, O.A., Raimi, C.O., Adebayo, E.T., Balogun, A.T., Akomolede, O.O., Salami, S.R. & Awoniyi, O.O. (2021). Relationship between body measurement and gonadosomatic index of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) and *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes 1840) broodstocks. *International Journal of Fisheries and Aquaculture Research*, 7(1): 1-10.
- Kumari, S. (2014). Study on growth and reproductive behaviour in freshwater catfish (*Heteropneustes fossilis*). *Scholars Academic Journal of Bioscience*, 2(6), 380-383.
- López-Hernández, J.C., Osorio-Pérez, A., Jiménez-Félix, S.A., Páramo-Delgadillo, S., Márquez-Couturier, G., Yasui, G.S. & Arias-Rodríguez, L. (2018). Artículo de Revisión: La calidad espermática en peces y los métodos de evaluación. *Rev. Mar. Cost.*, 10(1). <http://dx.doi.org/10.15359/revmar.10-1.5>
- Mansour, N., Lahnsteiner, F. & Berger, B. (2004). Characterization of the testicular semen of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), and its short-term storage. *Aquaculture Research*, 35, 232-244. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.00993.x>
- Mansour, N., Lahnsteiner, F. & Patzner, R.A. (2002). The spermatozoon of the African catfish: fine structure, motility, viability and its behavior in seminal vesicle secretion. *J. Fish Biol.*, 60, 545-560. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb01683.x>
- MINITAB, LLC. (2019). Statistical Software Version 19.1.1.0 for Windows. 2020.
- Murakami, E., Rodrigues, R.J.B., Santos, T.C., Ospina-Rojas, I.C. & Rademacher, M. (2014). Effects of dietary supplementation of meat-type quail breeders with guanidinoacetic acid on their reproductive parameters and progeny performance. *Poult. Sci.*, 93(9), 2237-2244. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03894>.
- Ninhaus-Silveira, A., Foresti, F., Veríssimo-Silveira, R. & Senhorini, J.A. (2006). Seminal analysis, criogenic preservation and fertility in matrinxã fish, *Bryconcephalus*, Günther, 1869. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(4), 51-58. <https://www.scielo.br/j/babt/a/g5H7MnTSPZGdWWRB8qJMgGy/?format=pdf&lang=en>
- Oguntuase, B.G., & Adebayo, O.T. (2014). Sperm quality and reproductive performance of male *Clarias gariepinus* induced with synthetic hormones (ovatide and ovaprim). *International J. Fisheries and Aquaculture*, 6(1), 9-15. <http://doi.10.5897/IJFA2013.0364>
- Okoye, C.N., Dan-Jumbo, S.O., Eze, U.U., Udoumoh, A.F., Ugwu, O.H., & Ozokoye, A.C. (2017). Semen quality parameters of cultured broodstock African catfish (*Clarias gariepinus*) of different ages. *Animal Research International*, 14(3), 2777-2784. <http://www.zoo-unn.org>
- Okoye, C.N., Igwebuike, U.M., Udoumoh, A.F., & Okereke, C.T. (2016). Testicular morphology and sperm motility in cultured African catfish (*Clarias gariepinus*) at different stages of

development. *Notulae Scientia Biologicae*, 8(3), 281-285.
<https://doi.org/10.15835/nsb839873>.

- Olaleye, V.F. (2005). A review of reproduction and gamete management in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell). *Ife Journal of Science*, 7(1), 63-70.
- Oppenheim, A. (1973). Manual para técnicos de laboratorio. Ed. Panamericana. Bs. As.: 188.
- Portales, A., García, M.T., Interian, L., Vinjoy, M. & Horta, D. (2021). Estandarización del espermocrito y su relación con el volumen y la concentración espermática en reproductores de *Clarias gariepinus*. *Revista AcuaCuba*, 23(1), 5-18.
- Quagio-Grassiotto, I., Negrão, J.N.C., Carvalho, E.D., & Foresti, F. (2001). Ultrastructure of spermatogenic cells and spermatozoa in *Hoplias malabaricus* (Teleostei, Characiformes, Erythrinidae). *Journal of Fish Biology*, 59(6), 1494-1502. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00214.x>
- Rakitin, A., Ferguson, M.M. & Trippel, E.A. (1999). Spermocrit and spermatozoa density in Atlantic cod (*Gadus morhua*): correlation and variation during the spawning season. *Aquaculture*, 170, 349-358. [http://doi.10.1016/s0044-8486\(98\)00417-7](http://doi.10.1016/s0044-8486(98)00417-7)
- Ramírez-Merlano, J., Medina-Robles, V. & Cruz-Casallas, P. (2011). Variación estacional de las características seminales del bagre rayado *Pseudoplatystoma metaense* (Teleostei, pimelodidae). *Rev. MVZ Córdoba*, 16(1), 2336-2348.
- Singh, M.S. & Joy, K.P. (1999). Annual correlative changes in some biochemical contents of seminal vesicle and testis in the catfish *Clarias batrachus* (L). *Zoological Science*, 16, 345-356. <http://doi.10.2108/zsj.16.345>
- Singh, M.S. & Joy, K.P. (1997). Effects of administration of testosterone on seminal vesicle activity in catfish *Clarias batrachus* during preparatory phase: A study correlating changes in testicular activity and serum hormone levels. *Acta Biol. Hung.*, 48(4), 421-430.
- Solomon, S.G., Ataguba, G.A., Okomoda, V.T. & Solomon, P. (2015). Relationship between somatic, gonadal characteristics and semen quality in the male African catfish *Clarias gariepinus* broodstock. *International Journal of Aquaculture*, 5(29), 1-5. <http://doi.10.5376/ija.2015.05.0029>
- Steyn, G.J. & Van Vuren, J.H.J. (1987). Some physical properties of the milt from artificially induced sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, A86, 315-317.
- Urbányi, B., Harváth, Á., Vargas, Z. & Harváth, L. (1999). Effect of extenders on sperm cryopreservation of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell). *Aquaculture Research*, 30, 145-151. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00313.x>

- Van der Hurk, R., Resink, J.W. & Peute, J. (1987). The seminal vesicle of the African catfish, *Clarias gariepinus*. A histological, histochemical, enzyme-histochemical, ultrastructural and physiological study. *Cell Tissue Res.*, 247, 573-582. <https://doi.org/10.1007/BF00215751>
- Viveiros, A.T.M., Eding, E.H. & Komen, J. (2001). Effects of 17 α -methyltestosterone on seminal vesicle development and semen release response in the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Reproduction*, 122, 817-827. <http://doi.10.1530/rep.0.1220817>.
- Viveiros, A.T.M., Fessehaye, Y., ter Veld, M., Schulz, R.W. & Komen, J. (2002). Hand-stripping of semen and semen quality after maturational hormone treatments, in African catfish *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, 213, 373-386. [http://doi.10.1016/S0044-8486\(02\)00036-4](http://doi.10.1016/S0044-8486(02)00036-4)
- Viveiros, A.T.M., So, M.N. & Komen, J. (2000). Sperm cryopreservation of African catfish, *Clarias gariepinus*: cryoprotectants, freezing rates and sperm and egg dilution ratio. *Theriogenology*, 54, 1395-1408. [http://doi.10.1016/s0093-691x\(00\)00462-3](http://doi.10.1016/s0093-691x(00)00462-3).
- Yusuf, B. & Ilker, Y. (2017). Effect of extender composition, glycerol levels, and thawing rates on motility and fertility of cryopreserved wild African catfish (*Clarias gariepinus*) sperm. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 6, 1-7. <https://www.academia.edu/31309456>
- Yusuf, O.Y., Adeshina, I. & Adewale, A.Y. (2015). Comparative studies of some semen physical characteristics of cultured and wild African catfish (*Clarias gariepinus*) broodstock. *Gashua Journal of Irrigation and Desertification Studies*, 1, 173-180. <https://www.researchgate.net/publication/3104641>
- Zacariah, M., Yahaya, A., Sonfada, M.L., & Wiam, I. (2016). Male organs of African catfish (*Clarias gariepinus*) in spawning and non-spawning periods in Maiduguri, Borno State, Nigeria. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 14(1), 34-38. <http://dx.doi.org/10.4314/sokjvs.v14i1.6>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: APG, MTGC, MVC, LIA; análisis e interpretación de los datos: APG, MTGC, MVC, LIA; redacción del artículo: APG, MTGC, MVC, LIA.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.