Evaluación de nuevas metodologías para el cálculo de la condición en peces orientadas al pejerrey (*Odontesthes bonariensis*)

Fredy Guardiola[1], Javier Garcia de Souza[2], Mariano Sorisetti[1], Claudio Baigún[3], Daniel Barrio[1], Darío Colautti[2], Patricio Solimano[1].

[1] Laboratorio de Ictiología CIT Río Negro (CONICET-UNRN), Viedma, Rio Negro, Argentina.
[2] Laboratorio de Ecología de Peces, Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" (ILPLA) (CONICET-UNLP), Boulevard 120 y 62, CP: 1900, CC: 712, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
[3]Instituto de investigación e Ingeniería ambiental, UNSAM (CONICET)
Correo electrónico del autor que expondrá el trabajo: psolimano@unrn.edu.ar

RESUMEN
El análisis de la condición de los peces es relevante para el manejo pequero. Históricamente se han asumido dos modelos de crecimiento isométrico y alométrico para definir la condición, pero existen modelos polialométrico (estanzas), que implican variaciones en las relaciones morfométricas. Este trabajo propone una forma de analizar e identificar los cambios morfométricos reflejados en la relación talla/peso, así mismo evaluar los índices de condición que surgen de los modelos. Los resultados muestran que el pejerrey O. bonariensis presenta un crecimiento polialométrico que en el rango de tallas analizadas es de tres estanzas. Los modelos isométricos, alométricos de una y dos estanzas no presentan una distribución de residuos aleatoria, por lo que no son válidos como modelos para el cálculo de los índices de condición. Por último, se propone una metodología para la selección de modelos para el cálculo de índices de condición, que tenga en cuenta el crecimiento polialométrico.
Palabras claves: INDICES DE CONDICIÓN - MODELOS DE CRECIMIENTO - PEJERREY

Introducción
El análisis de la condición de los peces es una práctica común en las investigaciones de biología pesquera y acuicultura. Los índices de condición (IC) expresan la relación matemática entre variables morfométricas siendo las longitudes junto con el peso las más utilizadas. En la práctica este tipo de índices son muy utilizados. Siendo los IC de Fulton (isométrico) y Ricker (alométrico) los más comunes. En general el cálculo de IC morfométricos, se basan en un factor de proporcionalidad. En el caso de Fulton (K) y el índice alométrico tienen como raíz una ecuación potencial de la forma y=a*x^b (Ricker, 1975). Fulton asume un crecimiento isométrico donde el coeficiente de alometría es igual a 3 (Froese, 2006; Le Cren, 1951).

$y = a * x^b \Rightarrow w = K * lst^3 \Rightarrow K = \frac{w}{lst^3}$ Ec1

K= a cuando b=3

El índice alométrico de condición se recomienda cuando las proporciones de crecimiento de los tres ejes no son iguales, lo que se contempla en el factor de alometría que toma valores significativamente diferentes de tres.

$y = a * x^b \Rightarrow w = a * lst^b \Rightarrow K_a = \frac{w}{lst^b}$ Ec2

Los modelos derivados de $y = a * x^b$ son los más usados para describir el crecimiento relativo en peces y por ende describir la condición de los mismos.

El cálculo de b se realiza mediante el ploteo:

$w = a * lst^b \Longrightarrow ln\, w = b * ln\, lst + ln\, a$ (Ec 3)

Se han notado cambios en la pendiente cuando se presentan de forma gráfica los datos logaritmizados, esto denota una variación en la alometría y por ende en las relaciones talla-peso y las proporciones corporales. Huxley (1924), , denomina polarimetría o crecimiento polialométrico a estas variaciones del coeficiente de alometría que ocurren a lo largo del ciclo de vida. Un crecimiento polialométrico implica de forma inequívoca variaciones en las proporciones de las medidas en los tres ejes del pez, y en las relaciones talla peso, y en ese sentido la polialometría es una fuerte indicación de la existencia de estanzas de crecimiento (Vasnetsov, 1953). Tales cambios modifican los parámetros reales de la condición de los peces por lo que la forma de calcular los índices de condición que se ha empleado de forma tradicional sería inadecuada si existe polialometría.

El objetivo de este trabajo es evaluar diferentes metodologías para calcular el IC los peces, tomando en cuenta la posibilidad de la existencia de estanzas, y así mejorar esta herramienta para la evaluación de las poblaciones.

Materiales y métodos

Para realizar el análisis se obtuvieron los datos de largo estándar (Lst) en cm y peso (W) en g~~rs~~, de 3578 pejerreyes (*O. bonariensis*), rango de talla usado de 9 mm a 160 mm, provenientes de diferentes experimentos llevados a cabo en el IIB-INTECH, que fueron parte de trabajos de desarrollo del cultivo en jaulas de la especie (Garcia de Souza, 2014; Solimano, 2013). Los datos fueron analizados con el software R (Versión 0.5-2.1) y se usaron los paquetes segmented (Muggeo, 2008) y randtests (Mateus and Caeiro, 2014). Con el fin de evaluar la mejor forma de estimar la condición de los peces se analizaron diferentes modelos, isométrico (K), alométrico y por estanzas, se compararon los resultados arrojados, y se establecieron lineamientos para la selección del modelo óptimo

Asumiendo un crecimiento Isométrico

Se estimó para cada pez el índice de condición de Fulton según la formula K = W / Lst^3 (Ec1) presentada en Ricker (1975).

Asumiendo un crecimiento Alométrico

Se estimó la relación talla-peso mediante un modelo potencial alométrico, utilizando como variable independiente el Lst siguiendo la Ec3, donde b el coeficiente de alometría y a la contante proporcionalidad. El cálculo del índice de condición alométrico (K_a) se realizó según la fórmula de la EC2 (Ricker 1975).

Asumiendo un crecimiento Polialométrico

Se generaron modelos segmentados estimando los respectivos puntos de cambio 〖 ψ〗_(1….k), con la función segmented(),con la ł cantidad de estanzas crecientes hasta alcanzar un valor no significativo (p-value>0,05) en la prueba Davies (Muggeo, 2008)

Para este estudio se generaron modelos de 2 y 3 estanzas siendo las ecuaciones generales para cada modelo las siguientes:

$$Y = \begin{matrix} b_1 lst + a_1 & si\ min \leq X < \psi_1 \\ b_2 X + a_2 & si\ \psi_1 < X \leq max \end{matrix} \quad \text{(Ec 4)}$$

$$Y = \begin{matrix} b_1 X + a_1 & si\ min \leq X < \psi_1 \\ b_2 X + a_2 & si\ \psi_1 < X < \psi_2 \\ b_3 X + a_3 & si\ \psi_2 < X \leq max \end{matrix} \quad \text{(Ec 5)}$$

A cada modelo se le evaluó la distribución de residuos con la prueba Cox-Stuart (Mateus and Caeiro, 2014).

Además, para cada modelo se calcularon los intervalos de confianza al 95%. La clasificación de la condición de los peces de forma individual se realizó siguiendo los siguientes criterios:

Optimo (OP): índice de condición dentro del intervalo de confianza; Bajo (BJ): índice de condición por debajo del intervalo de confianza; Alto (AT): índice de condición por encima del intervalo de confianza.

Resultados

Se generaron un total de 4 modelos, dos de ellos fueron Polialométricos con dos y tres estanzas que resultaron significativos en la diferencia de los coeficientes de alometría según la prueba de Davides (p-value>0,05) (Tabla 1). Los modelos con mayor cantidad de estanzas resultaron no significativos por lo que no se tuvieron en cuenta para ser evaluados. Los puntos de cambio entre estanzas para los modelos se detallan en la Tabla 1. Todos los modelos evaluados arrojaron ajuste significativo en sí mismos y para todos los parámetros estimados (p<0,05). Los coeficientes de determinación (R^2) fueron superiores a 0,99.

La evaluación de la distribución aleatoria de los residuos muestra que el modelo de 3 estanzas (p=0,602) fue el único con distribución aleatoria de los mismos.

Tabla 1: Parámetros estimados e intervalos de confianza de las relaciones peso-longitud. N=3578 peces; a: factor de condición (factor de proporcionalidad); b: coeficiente alometría; ψ: punto de cambo entre estanzas (cm); AIC:

Modelos	a	b	ψ	Davides p-value	AIC (Paulson, 2006)
Isométrico	0,00925	3	NA	Na	2331,97
Alométrico	0,00930	2,991	NA	Na	2775,76
2 estanzas	0,00691	3,549	1,9	<0,05	-1652,38
	0,00997	2,955			
3 estanzas	0,00743	3,315	2,7	<0,05	-1679,21
	0,01167	2,86	9,1		
	0,00276	3,512			

Luego de asignar la condición para cada modelo se observa que los modelos isométrico y alometrico, presentan un gran número de individuos en estado "bajo" y pocos en estado "optimo" en relación a los otros modelos con estanzas. Mientras que el modelo de dos estanzas tiene el mayor número de peces en estado óptimo, esto es debido al cálculo de los intervalos de confianza y al error propio del modelo. El modelo de tres estanzas presenta también un alto número de individuos en estado óptimo. Según los valores del criterio de información de AKAIKE (AIC) (Tabla 1), el modelo con mejor ajuste es el de 3 estanzas

Discusión

Los modelos de estanza única como el isométrico y alométrico (Ricker, 1975), son los más utilizados en las estimaciones de la condición de los peces, esto se debe a la facilidad de cálculo y obtención de datos para los mismos (McPherson et al., 2010). Pero estos modelos asumen un crecimiento uniforme en las proporciones a lo largo de la vida del organismo, cosa que muy pocas veces es correcta, esto lleva a que esta herramienta para el manejo pesquero o acuícola sea errónea para dar recomendaciones. Los modelos de estanzas por otro lado evalúan cada instancia de crecimiento por separado, lo que da una idea real del estado de la población evaluada.

Tabla 2: Condición de los peces según los modelos BJ=bajo; AT=alto; OP=optimo

Modelo	Condición			Total
	BJ	SU	OP	
2 estanzas	87	87	3404	3578
3 estanzas	216	325	3037	3578
Alométrico	1579	371	1628	3578
Isométrico	1834	119	1625	3578

Froese, (2006) y Le Cren, (1951) han observado de forma gráfica el cambio en el factor de alometría, mostrando que los modelos uni-estanza no son adecuados para describir una relación talla-peso que incluya a todas las fases de crecimiento. En el caso particular del pejerrey los modelos isométrico y alométrico mostraron no ser adecuados en el rango de talla estudiado, donde como se observa en la Tabla 2 se llegaría a una recomendación errónea si no se observan las estanzas de crecimiento. Este trabajo muestra una metodología para la obtención de estanzas de crecimiento, más sencilla y con criterios estadísticos, que la hace diferente a las propuestas por Bervian et al. (2006) y Dumas et al. (2007). Además como esta metodología está centrada en variables morfométricas, las estanzas pueden ser caracterizadas por una forma de crecer, y de este modo encontrar características adaptativas dentro de estos procesos, como indican Munch and Conover (2003) para otras especies de pejerrey. El modelo propuesto en este trabajo que comprende tres estanzas permite interpretar de forma conjunta los factores de condición y los coeficientes de alometría (tabla 2), mostrando un patrón ontogénico con variaciones en sus características vida. En la estanza I (b= 3,3) presenta un incremento de la masa corporal, en la estanza II (b=2,8) el organismo crece en largo y la estanza III (b= 3,5) se acumulan reservas, probablemente con fines reproductivos.

Para la obtención de índices de condición por medio de las relaciones talla-peso, se recomienda, analizar los modelos isométrico (si b=3) o alométrico (si b≠3), evaluar la distribución de los residuos, si esta no es al azar, usar estanzas de crecimiento hasta conseguir significancia del modelo, distribución al azar de los residuos y por último utilizar el criterio de información de AKAIKE para seleccionar el mejor modelo por estanzas.

Bibliografía

Bervian, G., Fontoura, N.F., Haimovici, M., 2006. Statistical model of variable allometric growth: otolith growth in Micropogonias furnieri(Actinopterygii, Sciaenidae). J. Fish Biol. 68, 196–208.

Dumas, A., France, J., Bureau, D.P., 2007. Evidence of three growth stanzas in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) across life stages and adaptation of the thermal-unit growth coefficient. Nutr. Feed. Fish 267, 139–146.

Froese, R., 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. J. Appl. Ichthyol. 22, 241–253.

García de Souza, J.R., 2014. Caracterización de la comunidad zooplanctónica en lagunas pampásicas y su relación con la ecología trófica y producción de pejerrey (Odontesthes bonariensis).

Huxley, J.S., 1924. Constant Differential Growth-Ratios and their Significance. Nature 114, 895–896.

Le Cren, E.D., 1951. The Length-Weight Relationship and Seasonal Cycle in Gonad Weight and Condition in the Perch (Perca fluviatilis). J. Anim. Ecol. 20, 201–219.

Mateus, A., Caeiro, F., 2014. An R implementation of several randomness tests. AIP Conf. Proc. 1618, 531–534.

McPherson, L.R., Slotte, A., Kvamme, C., Meier, S., Marshall, C.T., 2010. Inconsistencies in measurement of fish condition: a comparison of four indices of fat reserves for Atlantic herring (Clupea harengus). ICES J. Mar. Sci. 68, 52–60.

Muggeo, V., 2008. Segmented: An R Package to Fit Regression Models With Broken-Line Relationships. R News 8, 20–25.

Munch, S.B., Conover, D.O., 2003. RAPID GROWTH RESULTS IN INCREASED SUSCEPTIBILITY TO PREDATION IN MENIDIA MENIDIA. Evolution 57, 2119–2127.

Paulson, D.S., 2006. Handbook of regression and modeling: Applications for the clinical and pharmaceutical industries. Chapman and Hall/CRC.

Ricker, WE., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull Fish Res Bd Can 191, 1–382.

Solimano, P.J., 2013. Desarrollo de un sistema de cría semi-intensiva para producción de pejerrey (Odontesthes bonariensis) en jaulas flotantes (Tesis). UNLP.

Vasnetsov, V., 1953. Developmental stages of bony fishes. Ocherki Po Obshchim Vopr. Ikhtiologii.