Análisis numérico para la determinación de modelos potenciales en la Lobina Negra Micropterus Salmoides (Lacépède, 1802)

Numerical analysis for the determination of potential models in Largemouth Bass Micropterus Salmoides (Lacépède, 1802)

José Trinidad Ulloa Ibarra1, Nidia D. Uribe Olivares[2], Juan Felipe Flores Robles[1], María Inés Ortega Arcega[1]

[1] Universidad Autónoma de Nayarit
[2] CBETIS 100

Recibido: 20 de septiembre de 2020
Aceptado: 15 de noviembre de 2020

Resumen.

Se presenta una contribución a los trabajos de modelación que desarrolla el grupo de matemática educativa, tomando como objetivo la propuesta de una metodología para la elaboración de modelos alométricos en el crecimiento de la lobina negra, utilizando el análisis numérico como metodología para ello. El sustento teórico para el trabajo es la Socioepistemología dado que se analizan las actividades de una comunidad de profesionales y que su resultado puede ser utilizando por docentes y estudiantes del área como un complemento en su formación. Se presenta el procedimiento para llegar al modelo en donde las herramientas matemáticas utilizadas están basadas en la estadística, por lo que se considera que esto simplifica el proceso de modelación que requiere de ecuaciones diferenciales.

Palabras clave: Análisis numérico, modelos potenciales, lobina

Abstract

A contribution to the modeling work carried out by the educational mathematics group is presented, taking as an objective the proposal of a methodology for the development of allometric models in the growth of largemouth bass, using numerical analysis as a methodology for this. The theoretical support for the work is Socioepistemology since the activities of a community of professionals are analyzed and its result can be used by teachers and students in the area as a complement in their training. The procedure to arrive at the model is presented where the mathematical tools used are based on statistics, so it is considered that this simplifies the modeling process that requires differential equations

Key words: Numerical analysis, potential models, largemouth bass

Introducción.

En Biología pesquera, el estudio de la biología reproductora, la determinación de la edad y la estimación en peso o longitud de las diferentes especies de peces de consumo humano son fundamentales para comprender la dinámica de una población y, por lo tanto, para el manejo de dicho recurso pesquero. Estos parámetros proporcionan datos importantes para establecer la gestión de la pesquería de una especie dada, así como para el conocimiento de su época de reproducción y de la influencia de los factores climáticos estacionales sobre los parámetros biológicos (Pérez y Padilla, 2012).

En las últimas décadas la aplicación de herramientas matemáticas en el estudio de fenómenos, procesos y conceptos biológicos ha registrado una gran importancia y un amplio desarrollo basado en gran medida en trabajos colaborativos interdisciplinarios entre profesionales de las matemáticas y los biólogos, en nuestra área de estudio los biólogos marinos, en algunos institutos y universidades se ha conformado un campo denominado biología matemática, sin embargo en donde no se ha llegado a esto, generalmente se trabaja solo de manera colaborativa sin llegar a constituir aun una comunidad profesional específica que atienda esa problemática.

La modelación matemática es una herramienta de gran utilidad y su aplicación se conoce de la antigüedad siendo quizá uno de los primeros trabajos documentados los desarrollados por Fibonacci (Álvarez, 2006).

En esta ocasión se reconoce la gran aportación de Gauss quien en 1796 desarrolló el método de mínimos cuadrados con el que se puede encontrar la curva que más se acerca a un número de observaciones y en consecuencia el error es mínimo (Rebolledo, 2012).

Desde los tiempos del surgimiento de las matemáticas como una ciencia particular con su objeto propio, la mayor influencia en la formación de nuevos conceptos y métodos propios la ejercieron las ciencias naturales exactas.

Por ciencias naturales exactas se entiende el complejo de ciencias sobre la naturaleza, para las cuales en una etapa dada de su desarrollo resulta posible la aplicación de sus métodos. En el progreso de la matemática, antes que otras ciencias, influyeron la astronomía, la mecánica y la física.

En todas las ciencias está presente la matemática y por tanto puede y debería usarse la relación matemática-ciencias como recurso didáctico en cualquier nivel educativo, es en este sentido en que cobra relevancia la propuesta socioepistemológica ya que se debe ofrecer al estudiante un acercamiento a otras ciencias desde la matemática y viceversa, percibiendo que todos los campos del saber están relacionados de alguna manera; mostrar la profunda transdisciplinariedad de las ciencias, enseñar matemática como si estuviesen aisladas es una distorsión del conocimiento. Convendría enseñar Matemática yendo más allá de las propias Matemática: considerando sus relaciones y buscando su sintonía con las corrientes principales del pensamiento. Esta nueva actitud motivaría a los estudiantes, crearía nuevas aplicaciones y abriría nuevas vías de debate (Gómez, 2002).

La importancia de estudiar la matemática no radica únicamente en que está presente en la vida cotidiana, sino que además es una ciencia que tiene una serie de beneficios tales como favorecer el desarrollo del razonamiento y el pensamiento analítico.

Se tienen evidencias que la gran intervención de las matemáticas en las ciencias biológicas y su interrelación han tenido un gran beneficio para ambas a lo largo de muchos años (Hastings y Palmer,2003), y se espera que en el futuro esta relación sea mucho más fructífera (Cohen, 2004; May, 2004). Según Kari (1997) es una relación caracterizada por una gran interdisciplinariedad que puede ejemplificarse con los estudios de genética donde esa relación queda de manifiesto en los planteamientos estocásticos y las aplicaciones estadísticas que se requieren para lograr explicar situaciones propias de este campo de la biología. Lo anterior resalta la importancia en el uso de estrategias para la enseñanza de las matemáticas en los estudiantes de las ciencias biológicas (Jungck, 1997; Pérez et al., 2006). Estos autores hacer referencia a la aplicación de las matemáticas en la ecología en la que se busca modelar la población, la comunidad y el ecosistema, siendo en el estudio de las comunidades en donde la modelación tuvo su inicio, con la finalidad de entender el crecimiento poblacional (Malthus, 1978), este modelo muy importante, es simple y se basa en una ecuación diferencial; otro modelo bastante conocido en ecología fue planteado por Lotka (1925) y Volterra (1926), en el que se analiza la relación presa – depredador, lo que conduce a la utilización de ecuaciones diferenciales para describir los cambios oscilatorios que ocurren en función de un tiempo determinado. Cuando se hace referencia a un ecosistema la complejidad de los análisis es mucho mayor, debe usarse un análisis de sistemas para su comprensión, esto permite que los fenómenos complejos sean divididos en partes elementales o comunes posibilitando la aplicación de métodos cuantitativos (Von Bertalanffy, 1977), lo cual también es aplicable cuando se trata de comunidades.

En los últimos tiempos, se ha manifestado una fuerte tendencia en las ciencias hacia la formulación de *modelos matemáticos* que consisten en la representación numérica de los elementos que forman un sistema en la naturaleza, los que permiten conocer sus interrelaciones y predecir su comportamiento, ya que constituyen la única forma de manejar situaciones muy complicadas y de probar hipótesis científicas básicas. Sin embargo, todavía no se cuenta con modelos matemáticos enteramente satisfactorios en relación con los fenómenos que se suceden en la biología, especialmente en el océano, (Cifuentes, et al, 1995)

La Pesca y su relación con las Matemáticas

Las matemáticas son la base en la formulación de programas de las computadoras electrónicas para el estudio de los seres vivos del mar y sus relaciones con el medio ambiente ya que en estos estudios se manejan miles de muestras de agua para estudiar la existencia de multitud y su relación con las características fisicoquímicas del océano, como la concentración de sales y las variaciones en el pH.

En las investigaciones pesqueras, las dimensiones de los organismos o de sus conjuntos no pueden ser medidas en su totalidad directamente. Por ejemplo, no es posible medir todos los peces capturados y, menos aún, todos los peces, que existen en el mar. Se acostumbra a examinar una parte o muestra de la población para deducir las características que la definen, porcentaje de peces maduros, la talla media de los mismos, etcétera. Con esta muestra, que es una representación del conjunto de la población, se puede hacer una estimación de los valores reales del todo.

De igual forma tratar de responder la pregunta: ¿Cuántos peces hay en el mar? de forma exacta con los medios que se tienen actualmente es imposible, los peces se mueven constantemente, algunos en grandes grupos (bancos) y no disponemos de un sistema de monitorización en una extensión tan grande como la que ocupa el mar, lo único que podemos hacer es aproximar y es aquí donde las matemáticas empiezan a ser útiles. La cantidad de peces en un área se aproxima usando modelos matemáticos (Rincón, 2018).

La importancia biológica, social y económica de los peces y de la pesca ha incentivado el desarrollo de modelos matemáticos que permiten, por un lado, sintetizar el ciclo de vida de los peces incluyendo la influencia del ecosistema y el efecto de la pesca, y por otro, estimar cuantos peces hay en el presente y predecir cuantos habrá en el futuro. Estos modelos permiten convertir ecuaciones en un beneficio tangible para la sociedad y el ecosistema

Uno de los objetivos del presenta trabajo es analizar las relaciones entre las diferentes mediciones la talla de la Lobina con base en herramientas matemáticas que se requieran, así como proponer alternativas para realizar interpretaciones y predicciones.

Antecedentes

La investigación tiene diversos antecedentes, los principales antecedentes son los trabajos acerca de la modelación como práctica social y las prácticas de análisis de los resultados de la composición de las especies, el primero desarrollado en diferentes centros de investigación en matemática educativa y los segundos referidos a los trabajos realizados en la Unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera. Uno de los aspectos fundamentales de esta línea de investigación consiste en situar el estudio de las prácticas de modelación en una comunidad, en un lugar y en un tiempo (Ulloa, 2013).

Sobre los modelos de crecimiento de la Lobina Negra Ulloa, Benítez y Rodríguez (2010) presentaron con base en Excel las diferentes relaciones tanto lineales como potenciales, en esta ocasión se presenta una contribución utilizando algoritmos propios del análisis numérico para la determinación de algunos modelos.

Existen más estudios que presentan modelos de crecimiento de la lobina, sobresalen los realizados en el Centro de Ciencias del Mar y Limnología, en ellos se presentan solamente el resultado, pero, no el camino recorrido para llegar a ellos, inferimos que se utilizó algún software para su determinación. En este trabajo se presenta el camino que debe ser conocido por estudiantes del área.

Justificación

En Biología pesquera, el estudio de la biología reproductora, la determinación de la edad y la estimación en peso o longitud de las diferentes especies de peces de consumo humano son fundamentales para comprender la dinámica de una población y, por lo tanto, para el manejo de dicho recurso pesquero. Estos parámetros proporcionan datos importantes para establecer la gestión de la pesquería de una especie dada, así como para el conocimiento de su época de reproducción y de la influencia de los factores climáticos estacionales sobre los parámetros biológicos.

En el caso de una investigación sistemática, se debe realizar un estudio semanal o, al menos, quincenal o mensual, de una muestra que incluya más de 100 ejemplares, cogidos aleatoriamente, de una campaña de pesca de procedencia conocida y, a ser posible, siempre del mismo lugar. Si se trata de un estudio eventual, se debe estudiar el máximo número posible de ejemplares (Pérez y Padilla, 2012).

Para cada lote, suelen hacerse las siguientes determinaciones:

Longitud total.
Peso.
Edad.
Sexo.
Evaluación del estado de maduración sexual.
Recuento vertebral.
Recuento del número de branquispinas.
Grado de engrasamiento visceral.
Grado de repleción gástrica.
Estudio del contenido gastrointestinal.

El análisis de estructura de tallas de captura es una de las herramientas de evaluación pesquera más utilizadas, dado que refleja el resultado de las interacciones que ocurren entre los procesos biológicos que determinan la dinámica poblacional (reclutamiento, crecimiento y mortalidad, tanto natural como pesquera) (Neumann y Allen, 2007); la frecuencia de tallas de captura, contrastada con la talla de madurez, permite establecer indicadores simples del estado de estos recursos (Froese y Binohlan, 2000; Froese, 2004). En la figura No. 1 se muestra el proceso metodológico para la medición de las tallas.

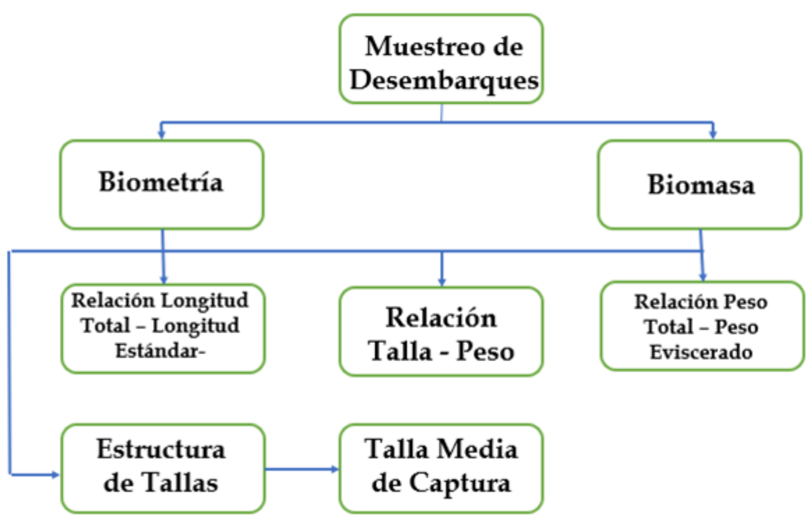

Figura 1. Proceso metodológico para la obtención de los parámetros biológicos – pesqueros

Por otra parte se encuentra en la mayoría de las licenciatura una gran desvinculación entre la escuela y su entorno social y profesional. En los trabajos de Galicia et al. (2011), Ulloa y Arrieta (2010) y Landa (2008), se da cuenta de la separación entre las prácticas sociales de modelación en comunidades de las ingenierías bioquímica y pesquera, con las comunidades escolares.

Aunque no solamente se ha documento esa desvinculación sino que se ha encontrado que en las licenciaturas del área existe un contenido bajo de matemáticas lo que origina una deficiente formación en este campo, con base a lo anterior se ha propuesto a la deconstrucción como una metodología que contribuya a que los egresados conozcan y puedan utilizar los procedimiento surgidos en los diferentes estudios (Ulloa y Arrieta, 2009).

Además se encuentra que la escuela ha minimizado o dado poca importancia a la creación matemática a partir de la experimentación en el laboratorio y por otra parte se ha dado poca importancia a la modelación como una asignatura de relevancia en la práctica profesional.

Desde nuestro punto de vista la modelación es una práctica que puede vincular la escuela con su entorno. La modelación es una práctica que articula las diferentes ciencias y la tecnología con las matemáticas. Para dar evidencias de estas afirmaciones, basta analizar el entorno laboral que tienen estas comunidades (Ulloa y Arrieta, 2010). La modelación tiene lugar en las tres etapas principales del complejo pesquero, ya que la encontramos no solamente al utilizar los Modelos de Predicción de las Capturas, sino también en el procesado de productos y al realizar estudios de consumo y demanda

Marco Teórico

Ubicamos a la teoría Socioepistemológica como el marco ideal ya que se basa en el análisis de las prácticas de las comunidades ya sean de estudio, de práctica o profesionales considerando al grupo social en el que se desarrollan las actividades como el aspecto preponderante para entender la generación del conocimiento.

La Socioepistemología es una teoría que se basa en el estudio de la epistemología de prácticas considerando los aspectos socioculturales ligados a la producción y difusión de conocimiento matemático, así como los aspectos que atañen a los procesos de cognición, de naturaleza didáctica y construcción de dicho conocimiento (Cordero, 2005). En esta teoría se parte del supuesto de que las prácticas sociales son generadoras de conocimiento, para con ello poder modelar la práctica que en un contexto histórico y social otorga una estructura y un significado a lo que hacemos (Cordero, 2001).

Sin embargo, en la teoría Socioepistemológica se considera que para el análisis de las formas de construcción o producción de conocimiento matemático el énfasis esté, más que en los objetos matemáticos, en los contextos o prácticas donde se emerge o se desarrolla dicho conocimiento en una actividad humana.

Metodología

El trabajo se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo y se utilizaron los datos numéricos obtenidos de observaciones de Lobina en la presa El Salto en Sinaloa y a partir de ellos se hicieron generalizaciones sobre las tallas observadas discriminando el comportamiento de las variables talla – peso.

El análisis numérico es una vía de solución alterna que permite conectar la teoría y la práctica al nivel que se quiera de medición y cálculo, pero en una forma diferente a como normalmente se enseña la operación analítica de los conceptos.

El estudio de fenómenos complejos en ciencia o el diseño en ingeniería, requiere en muchos casos, y antes de la verificación o construcción física de los mismos, un estudio teórico de ellos.

A pesar de que el estudio clásico de las ciencias básicas y ciencias de la ingeniería enfatiza, en una primera aproximación, el estudio matemático y analítico de los problemas, en realidad, la complejidad de la mayoría de ellos implica técnicas diferentes a las analíticas que constituyen el cuerpo clásico de las matemáticas.

La mayoría de la gente asocia el trabajo científico y tecnológico a su cuantificación numérica. Esto implica que todo fenómeno físico o construcción tecnológica tiene un comportamiento predecible y por ello puede ser cuantificado y simulado sin tener que realizarse. Ese es el sentido numérico de la ciencia y la viabilidad predictiva de la tecnología. Sin embargo, aun cuando esto es parte del conocimiento general, rara vez se comprenden las vías por las que esta cuantificación pueda lograrse.

Por lo anterior se procede a la graficación de los datos utilizando ya se la hoja de cálculo de Excel o cualquier otro gráfico con la finalidad de caracterizar el modelo que represente de la mejor manera a lo observado, posteriormente se propone la linealización en el caso de los modelos potenciales y se realiza el procedimiento analítico para obtener el modelo.

Resultados

Se analizaron los datos totales (498) obtenidos durante el periodo febrero – enero. Al graficar y analizar el total de organismos se tiene el siguiente panorama figura 2:

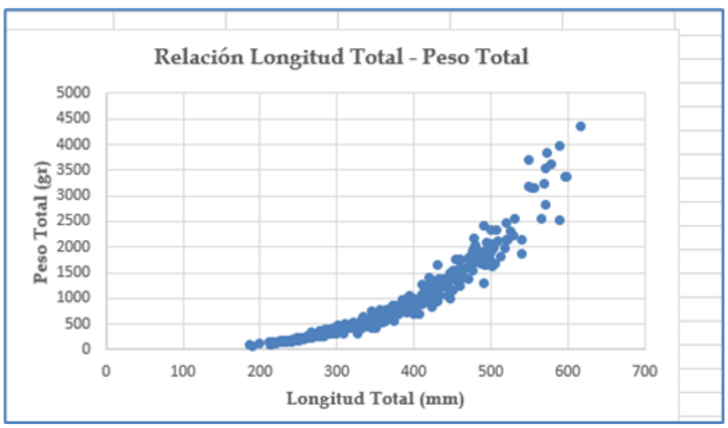

Figura 2. Gráfico de Longitud total Vs Peso total

Al graficar los datos correspondientes a la longitud total y el peso eviscerado se obtiene una curva semejante, figura 3.

Como puede apreciarse en los dos gráficos se aprecia un modelo potencial que los representa de manera analítica, y con su análisis podemos hacer inferencias.

Dada la situación anterior se procedió a linealizar el modelo potencial para poder establecer el que mejor los represente, con base en el procedimiento descrito por Quintana, Villalobos y Cornejo (2005) y adaptado por Ulloa, Nieto, Ortega, Flores y Arrieta (2019).

El modelo Potencial se representa mediante:

$$y = a_0 x^{a_i}$$

Al aplicar logaritmo en base 10 en ambos lados de la ecuación se obtiene el siguiente modelo linealizado:

$$\mathrm{Log}\, y = \mathrm{Log}\, a_0 + a_1 \mathrm{Log}\, x$$

Esta ecuación representa la ecuación de una línea recta en la que la pendiente es a_1 y la ordenada al origen es Log a_0

Al aplicar el método de mínimos cuadrados, se obtienen las siguientes ecuaciones para calcular la pendiente y la ordenada al origen. Para la pendiente

$$a_1 = \frac{n\sum(\operatorname{Log} x_i)(\operatorname{Log} y_i) - \sum \operatorname{Log} x_i \sum \operatorname{Log}(y_i)}{n\sum(\operatorname{Log} x_i)^2 - (\sum \operatorname{Log} x_i)^2}$$

Para la ordenada al origen

$$\operatorname{Log}(a_0) = \overline{\operatorname{Log}(y)} - a_i\overline{(\operatorname{Log} x)}$$

Como ya se especificó, el modelo potencial tiene la representación $y = ax^b$
Aplicando las propiedades de lo logaritmos
Log y = Log ax^b
Log y = Log a + Log x^b
Log y = Log a + b*Log x

Haciendo Y′ = Log y, A′ = Log a, Log x = X′, B = b
Se tiene:
Y′ = A′ + B*X′

Con esto como base el coeficiente de correlación se obtiene de la siguiente manera:

$$r = \frac{n * (\sum X' * Y') - (\sum X')(\sum Y')}{\sqrt{(n * \sum X'^2 - (\sum X')^2)(n * \sum Y'^2 - (\sum Y')^2)}}$$

En la tabla No. 1 se presentan los datos de la longitud y el peso totales de 498 muestra obtenidas durante todo el periodo de observación y se obtiene:

Tabla 1. Datos para linealización del modelo Potencial.

Muestra	**x**	**y**	**X'**	**Y'**	**X'Y'**	**X'^2**	**Y'^2**
	Lt	**Pt**	**Log x**	**Log y**	**Log x * Log y**	**(Log x)^2**	**(Log y)^2**
1	345	634	2.5378191	2.80209	7.11119562	6.4405258	7.851704209
2	392	966	2.5932861	2.98498	7.74089959	6.7251326	8.910088445
3	433	1200	2.6364879	3.07918	8.11822409	6.9510684	9.481357146
4	370	742	2.5682017	2.8704	7.37177626	6.5956601	8.239218579
5	475	1720	2.6766936	3.23553	8.66051832	7.1646887	10.46864433
6	470	1780	2.6720979	3.25042	8.68544033	7.140107	10.56523019
493	331	544.8797	2.519828	2.7363	6.89500692	6.3495331	7.487341128
494	340	547.0213	2.5314789	2.738	6.9312	6.4083855	7.496667203
495	324	437.7997	2.510545	2.64128	6.63104093	6.3028362	6.976336054
495	360	694.7917	2.5563025	2.84185	7.26464008	6.5346825	8.076137691
497	250	217.2149	2.39794	2.33689	5.6037211	5.7501163	5.461053062
498	360	756.8981	2.5563025	2.87904	7.35969054	6.5346825	8.288856437
Suma	180577	415190.15	1268.8435	1393.97	3567.99461	3237.913	54.7927048
Promedio	352.5	695.44905	2.5470608	2.84056	7.23544308	6.4876041	

Sustituyendo en la fórmula respectivas, se tiene:

$$a_1 = \frac{n\sum(\text{Log}\,x_i)(\text{Log}\,y_i) - \sum \text{Log}x_i \sum \text{Log}(y_i)}{n\sum(\text{Log}\,x_i)^2 - (\sum \text{Log}\,x_i)^2} = 3.230035264$$

$$\text{Log}(a_0) = \overline{\text{Log}(y)} - a_i\,\overline{(\text{Log}\,x)} = -5.38653286$$

Por lo que
a_0 = 4.10646E-06

El modelo potencial que representa los datos es:

$$y = 4.10646E-06 * x^{3.230035264}$$

Su coeficiente de correlación es:

$$r = \frac{n * (\sum X' * Y') - (\sum X')(\sum Y')}{\sqrt{(n * \sum X'^2 - (\sum X')^2)(n * \sum Y'^2 - (\sum Y')^2)}} = 0.988$$

$$r^2 = (0.9886987)^2 = 0.9775251$$

Estos resultados nos indican que existe una muy buena correlación y que entre otras cosas el 97.75% de los datos quedan explicados por el modelo.

En la tabla No. 2 se presentan los datos de la longitud total y el peso eviscerado de 498 muestra obtenidas durante todo el periodo de observación y se obtiene:

Tabla 2. Datos para linealización del modelo Potencial.

Muestra	**x**	**y**	**X'**	**Y'**	**X'Y'**	**X'^2**	**Y'^2**
	Lt	**Pe**	**Log x**	**Log y**	**Log x * Log y**	**(Log x)^2**	**(Log y)^2**
1	345	595.2299	2.5378191	2.77468474	7.041647913	6.44052576	7.6988754
2	392	904.9195	2.59328607	2.95660995	7.667335381	6.72513263	8.74154238
3	433	1123.1947	2.6364879	3.05045505	8.042487806	6.95106843	9.30527598
4	370	695.9723	2.56820172	2.84259195	7.300349559	6.5956601	8.08032902
5	475	1608.2507	2.67669361	3.20635375	8.58242659	7.16468868	10.2807044
6	470	1664.2187	2.67209786	3.2212104	8.607389404	7.14010696	10.3761964
493	331	512	2.51982799	2.70926996	6.82689429	6.34953312	7.34014372
494	340	514	2.53147892	2.71096312	6.862745981	6.40838551	7.34932103
495	324	412	2.51054501	2.61489722	6.564817158	6.30283625	6.83768745
495	360	652	2.5563025	2.8142476	7.194068167	6.53468248	7.91998953
497	250	206	2.39794001	2.31386722	5.548514782	5.75011629	5.35398151
498	360	710	2.5563025	2.85125835	7.288678847	6.53468248	8.12967417
Suma	**180577**	**389291.425**	**1268.84353**	**1380.32139**	**3533.200819**	**3237.91296**	**3879.65705**
Promedio	**352.5**	**652.61495**	**2.5470608**	**2.81297154**	**7.16516338**	**6.48760412**	**7.91427479**

Sustituyendo en la fórmula respectivas, se tiene:

$$a_1 = \frac{n\sum(\mathrm{Log}\,x_i)(\mathrm{Log}\,y_i) - \sum \mathrm{Log}x_i \sum \mathrm{Log}(y_i)}{n\sum(\mathrm{Log}\,x_i)^2 - (\sum \mathrm{Log}\,x_i)^2} = 3.227239199$$

$$\mathrm{Log}(a_0) = \overline{\mathrm{Log}(y)} - a_i\,\overline{(\mathrm{Log}\,x)} = -5.407002906$$

Por lo que
$a_0 = 3.91739E\text{-}06$

El modelo potencial que representa los datos es:

$$\mathbf{3.91739E - 06 * x^{3.227239199}}$$

Su coeficiente de correlación es:

$$r = \frac{n*(\sum X' * Y') - (\sum X')(\sum Y')}{\sqrt{(n*\sum X'^2 - (\sum X')^2)(n*\sum Y'^2 - (\sum Y')^2)}} = 0.989301555$$

$$r^2 = (0.989301555)^2 = 0.978717566$$

Estos resultados nos indican que existe una muy buena correlación y que entre otras cosas el 97% de los datos quedan explicados por el modelo.

Discusión

La metodología utilizada para la obtención de los modelos a pesar de ser una herramienta de la ingeniería y las matemáticas se seleccionó con base en su facilidad por el tipo de conocimiento requerido. No obstante, y tomando la definición de Coeficiente de Correlación: el valor de r denota la fuerza de la asociación como se ilustra en la figura No. 4

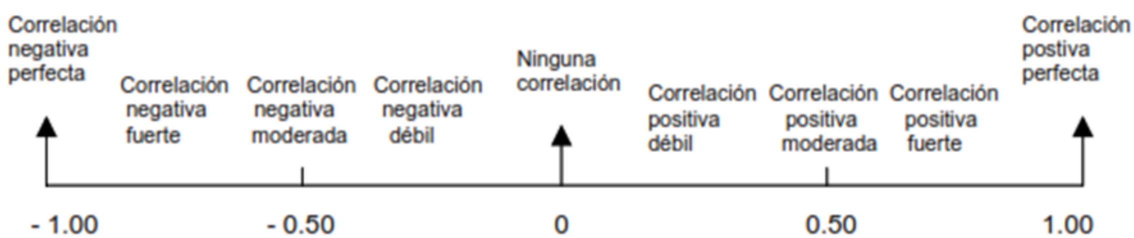

Figura No. 4. Coeficiente de Correlación

Los coeficientes de correlación que se obtienen por medio del análisis numérico muestran que el ajuste de los datos es cercano a la correlación perfecta como puede deducirse de la Figura 4., por lo que puede establecerse como un método excelente y que puede ser aplicado a otro tipo de modelos, sin embargo, no debe perderse de vista que la valoración y uso de los modelos es responsabilidad de quien los utilice (Ulloa, Nieto, Ortega, Flores y Arrieta, 2019).

Conclusiones

Aunque en un principio Huxley utilizó las relaciones alométricas para la descripción del crecimiento relativo entre pares de partes de un organismo, los estudios morfométricos no tienen por qué constreñirse al estudio de pares de medidas, sino que pueden estudiarse también de un modo multivariable.

Se puede establecer que, conocidas las ecuaciones de alometría de una población se puede calcular el valor esperado de cada medida para cada individuo y compararlos cuando todos tienen la misma magnitud teórica para la variable considerada como independiente

Referencias Bibliográficas

Álvarez, R. (2006). Modelos matemáticos en biología: un viaje de ida y vuelta. Bol. Soc. Esp. Mat. Apl. No 35(2006),73 - 112

Cifuentes, J.; Torres, P.; Frías, M. (1995). El océano y sus recursos III. Las ciencias del Mar: Oceanografía física, matemáticas e ingeniería. Fondo de Cultura Económica.

Cohen, J. (2004). Mathematics Is Biology's Next Microscope, Only Better; Biology Is Mathematics' Next Physics, Only Better. Plos Biology 2 (12):2017-2023.

Cordero, F. (2001). La distinción entre construcciones del Cálculo. Una epistemología a través de la actividad humana. Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa 4(1), 103-128.

Cordero, F. (2005). La socioepistemología en la graficación del discurso matemático escolar. En J. Lezama, M. Sánchez y J. Molina (Ed.) Acta Latinoamericana de Matemática Educativa 18, 477-482. México: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.

Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. Fish and Fisheries 5, 86–91.

Froese, R., Binohlan, C. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. Journal of Fish Biology 56, 758–773.

Galicia A., Díaz L. y Arrieta J. (2011). Práctica social de modelación del ingeniero bioquímico: Análisis microbiológico. En resúmenes de la XII Conferencia Interamericana de Educación Matemática

Gómez, J. (2002). De la enseñanza al aprendizaje de las matemáticas. Barcelona: Paidós.

Hastings, A.; Palmer, M. (2003). A bright future for biologists and mathematicians? Science 299:2003 –2004.

Jungck, J. (1997). Ten equations that changeg biology: mathematics in problem-solving biology curricula. Bioscene 23(1):11-21.

Kari, L. (1997). DNA Computing: arrival of biologicalmathematics. The mathematical intelligencer 19 (2):9-22.

Landa, L. (2008). Diluciones seriadas y sus herramientas, una práctica de estudiantes de ingeniería bioquímica al investigar la contaminación del río de la Sabana. Tesis de Maestría no publicada. Universidad Autónoma de Guerrero. México.

Lotka, A. (1925). Elements of physical biology. Baltimore, Williams and Wilkins. (Reprinted with corrections and bibliography as Elements of Mathematical Biology. Nova York. 1956).

Malthus, T. (1798). An essay on the principle of population, as it affects the future improvement of society, with remarks on the speculations of Mrs. Godwin, M. Condorcet and others writers. London, U.K , J. Johnson, V IX.

May, R. 2004. Uses and Abuses of Mathematics in Biology. Science 303 (5659):790-793

Neumann, R.M. y Allen, M.S. 2007. Size structure. En: Guy, C.S. y Brown, M.L. (ed.). Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data, chapter 9, American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp 375-421.

Pérez, M.; Padilla, M. (2012). Prácticas de Zoología Aplicada Biometría pesquera. Determinación de parámetros y cálculo del índice gonadosomático. Reduca (Biología). Serie Zoología. 5 (3): 92-103

Pérez, J.; Pérez, I.; Ojeda, G. (2006). La enseñanza de las ciencias biológicas en la Universidad. Saber 18 (2):234-240.

Quintana, P.; Villalobos, E.; Cornejo, M. (2005). Métodos numéricos con aplicaciones en Excel. 1 st ed. México: Reverté, pp. 120 - 135.

Rebolledo, F. (2012). *La Ciencia Nuestra De Cada Día, II*. 1st ed. México: Fondo de Cultura Económica, p.44.

Rincón, M. (2018). Usar las matemáticas para contar peces sin mojarse. El Diario.es. Recuperado el 16 de julio de 2020 de: https://www.eldiario.es/andalucia/la-cuadratura-del-circulo/usar-matematicas-contar-peces-mojarse_132_2193965.html

Ulloa, J., Arrieta, J. (2009). Los modelos exponenciales: construcción y deconstrucción. En Lestón, L (Eds.), Acta Latinoamericana de Matemática Educativa 22 (pp. 479-488). México: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa AC.

Ulloa, J. y Arrieta, J. (2010). La deconstrucción como estrategia de modelación. En P. Leston, (Ed), Acta Latinoamericana de Matemática Educativa 23, 909-917. México: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa

Ulloa, J.; Benítez, A.; Rodríguez, G. (2010). Modelos de Crecimiento en la lobina negra Micropterus Salmoides (Lacépède, 1802). Acta Pesquera Volumen 3, No. 3. Universidad Autónoma de Nayarit.

Ulloa, J. (2013). Las prácticas de modelación y la construcción de lo exponencial en comunidades de profesionales: un estudio socioepistemológico. Tesis de Doctorado no publicada. Centro de Investigación y Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional. México.

Ulloa, J.; Nieto, J.; Ortega, M.; Robles, F.; Arrieta, J. (2019). Regresión multilineal como apoyo a los análisis proximales. Acta Pesquera Volumen 5, No. 9. Universidad Autónoma de Nayarit