

Aplicación de la regresión polinomial en el modelado de crecimiento hocico-cloaca en relación con el peso en iguana negra *Ctenosaura pectinata* (Reptilia: Squamata: Iguanidae)

Sergio Machorro Sámano*, Mayra Herrera Martínez*, José Luis Arcos-García*, Roberto López-Pozos*, Germán David Mendoza Martínez** & Gerardo E. Leyte Morales***

Resumen

Aplicación de la regresión polinomial en el modelado de crecimiento hocico-cloaca en relación con el peso en iguana negra *Ctenosaura pectinata* (Reptilia: Squamata: Iguanidae). El presente trabajo tuvo como objetivo obtener un modelo matemático de crecimiento del peso con respecto a la longitud hocico-cloaca en iguana negra *Ctenosaura pectinata* mediante la aplicación del método de regresión polinomial. Se utilizaron 2,030 registros de iguanas del Centro de Conservación y Reproducción de Iguanas de la Universidad del Mar, Oaxaca, con edades de cero a nueve años. Los animales se pesaron (g) y se midió su longitud hocico-cloaca (cm) a diferentes intervalos de tiempo. Con los datos promedio, se realizó una regresión polinomial de tercer grado que generó el modelo matemático. El coeficiente de correlación fue de 0.997. Se calculó el error estándar de la aproximación, posteriormente se derivó la ecuación definida en el modelo para encontrar la velocidad con que el animal aumenta su peso respecto a la longitud hocico-cloaca. Al derivar

Abstract

Application of polynomial regression modeling growth in snout-vent in relation to the weight of black iguana *Ctenosaura pectinata* (Reptilia: Squamata: Iguanidae). The objective of this study was to obtain a growth mathematical model with relation weight in black iguana *Ctenosaura pectinata* using the application of the polynomial regression method. We used records 2030 of iguanas from the Iguana Centre for Conservation and Reproduction from the Universidad del Mar, Oaxaca, with ages from zero to nine years old; the animals were weighted (g) and measured the snout-vent length (cm) at different times. With the average data a polynomial regression of third degree was done, and a mathematical model was obtained with a correlation coefficient of 0.997%. The standard error of the approach was calculated and was derived to find the speed whereupon the animal increases to its weight with respect to the snout-vent length. When we derived again the equation and equaling to zero, it was obtained the inflection point of

Résumé

Application de la régression polynomiale modélisation de la croissance au groin-vent par rapport au poids de noir iguane *Ctenosaura pectinata* (Reptilia: Squamata: Iguanidae). Cette étude visait à parvenir à un modèle mathématique de croissance en ce qui concerne pesé en noir iguane *Ctenosaura pectinata* en appliquant la méthode de régression polynomiale. Nous on a avons utilisé 2030 iguanes du Centre de Conservation et Reproduction de Iguanes de l'Universidad del Mar, âgés de zéro à neuf ans; des animaux ont été pesés (g) et mesuré la longueur museau-d'égout (cm) à différents intervalles de temps. Avec la moyenne des données renseignements a été menée la régression polynomiale de troisième degré année, et a remporté le modèle mathématique dont le coefficient de corrélation était de 0.997. Nous on a avons calculé l'erreur-typique de rapprochement Il découle l'équation définies dans le modèle pour trouver la vitesse avec laquelle l'animal augmente son poids en ce qui concerne la longueur museau-d'égout. À tirer l'équation et d'égaliser à nouveau à zéro, a été le

* Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, km 3.5 carretera Puerto Escondido-Oaxaca, Puerto Escondido, Oaxaca, 71980 MÉXICO
Correos electrónicos: machorro@zicatela.umar.mx, chimay_2002@hotmail.com, jarcos@zicatela.umar.mx, robertol@zicatela.umar.mx

** Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Medicina Veterinaria y Zootecnia.
Correo electrónico: gmenodoza@correo.xoc.uam.mx

*** Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Puerto Ángel, Oaxaca, 70902, México.
Correo electrónico: leyteg@angel.umar.mx

nuevamente la ecuación e igualar a cero, se obtuvo el punto de inflexión del modelo. La longitud hocico-cloaca donde se presentó la mínima velocidad de aumento de peso del animal fue de 7.64 cm, que correspondió a 7.88 g/cm. Al considerar los datos del modelo y establecer que el máximo peso promedio fue de 889 g (correspondiente a 28.1 cm de longitud hocico-cloaca), se obtuvieron los porcentajes de peso para diferentes longitudes y se observó que el mayor aumento en peso se dio entre 25 y 28.1 cm de longitud hocico-cloaca. Al igualar a cero la primera derivada y resolver la ecuación resultante, se observó que las iguanas no alcanzaron un máximo, es decir, que aumentan en peso durante toda su vida. Se concluye que la aplicación de la regresión polinomial es importante y aplicable en el entendimiento de los sistemas biológicos como el crecimiento de las iguanas.

Palabras clave: Conservación, crecimiento, iguana, regresión polinomial.

the model. The snout-vent length where the minimum speed of increase of weight of the animal appears was of 7.64 cm that corresponds to 7.88 g/cm. Considering the data of the model and establishing the maximum weight average at 889 g (at 28.1 cm snout-vent length) were obtained the percentages of weight for different lengths and was observed that the greater increase in weight occurred between 25 and 28.1 cm in snout-vent length. When the first derived was equaled to zero and solved the resulting equation, was observed that iguanas do not reach a maximum weight, which means, that they increase their weight during all their life. The conclusion is that the application of the polynomial regression is important and applicable in the understanding of the biological systems like the iguana growth.

Key words: Conservation, growth, iguana, polynomial regression.

tournant du modèle. Le long nez d'égout où il a introduit la vitesse minimale de l'animal le gain de poids est 7.64 cm qui correspond à 7.88 g/cm. À envisager de modèle de renseignements données et établir que la durée maximale moyenne de poids à 889 g (à 28.1 cm de long museau-d'égouts) sont dérivés des taux poids pour différentes longueurs et il a fait observer que la plus grande augmentation de poids a été donnée entre 25 et 28.1 cm de long museau-d'égout. À zéro la dérivée première et de résoudre les équation a été constaté que les iguanes ne parviennent pas à un maximum, c'est-à-dire de plus en plus de poids tout au long de leur vie. Il conclut que l'application de la régression polynomiale est importante et applicables dans la compréhension des systèmes biologiques comme la croissance des iguanes.

Mots clefs: Conservation, croissance, l'iguane, régression polynomiale.

Introducción

En la mayoría de los problemas sobre regresión, donde se involucran dos variables, se puede llegar a cuatro categorías posibles: 1) Predicción de una respuesta, 2) sustitución de una variable fácil de medir por otra que no lo es, 3) ajuste de datos de una variable dependiente por diferencias de la variable independiente para reducir el error experimental y 4) claridad de la forma funcional de la relación entre dos variables (Gill 1978). En muchos casos, cuando se trata de obtener un modelo para caracterizar el comportamiento de un conjunto de datos que muestran un marcado patrón curvilíneo, no se puede emplear la regresión lineal; por lo que una alternativa es el ajuste de los datos a polinomios usando regresión polinomial (Chapra & Canale 2006), la regresión polinomial es una herramienta

que proporciona una función aproximada que se ajusta al comportamiento o tendencia general de los datos.

Al respecto se han realizado trabajos aplicando regresión para caracterizar el crecimiento en los animales superiores (Parks 1982), el hombre (Tanner 1986) y en la iguana negra *Ctenosaura pectinata* Wiegmann, 1834, para la cual el crecimiento ha sido descrito en periodos breves de tiempo y no para varios años (Villegas 2000, Arcos-García *et al.* 2002, Arcos-García *et al.* 2005a, Arcos-García *et al.* 2006, Rojas *et al.* 2007, Ponce *et al.* 2008, Herrera *et al.* 2008).

Material y métodos

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Conservación y Reproducción de Iguanas de la Universidad

del Mar Campus Puerto Escondido (CECOREI-UMAR), localizado en el kilómetro 128.1 de la carretera federal Pinotepa Nacional-Puerto Escondido. Las coordenadas geográficas registradas fueron 15°55'23.1" LN y 97°09'05" LO, con elevación de 12 msnm (GPS72, marca Garmin).

Se utilizaron 2,030 registros de iguanas provenientes del CECOREI-UMAR, donde se midió su longitud hocico-cloaca y peso. Ambas variables fueron medidas desde el momento de la eclosión y a los 4, 12, 13, 14, 16, 25, 26, 27, 37, 38, 49, 50, 64, 72, 77, 109 y 110 meses de edad. El peso (g) se obtuvo por medio de una balanza analítica marca Ohaus de 1,610g, con una aproximación de 0.1g; mientras que la longitud hocico-cloaca (LHC), se realizó por medio de la metodología propuesta por Pough (1973), utilizando una cinta métrica. No se consideró el sexo de las iguanas porque en los dos primeros años de edad no es posible realizar el sexado de manera visual en los ejemplares (Casas 1982, Suazo & Alvarado 1994, Alvarado & Suazo 1996, Arcos *et al.* 2005a).

Con la información anterior, se obtuvieron los valores promedio de peso y LHC por edad considerada en el estudio y se trazó el diagrama de dispersión para conocer el comportamiento de las variables y sugerir el tipo de polinomio a utilizar (Chapra & Canale 2006). Para minimizar el error en cada valor, se recurrió al método de mínimos cuadrados, ya que en cada observación se tiene una desviación respecto al modelo teórico, lo que dio como resultado un sistema de ecuaciones lineales (Chapra & Canale 2006, Gill 1978). Al resolver el sistema de ecuaciones, se obtuvieron los coeficientes polinomiales, con los que se construyó el modelo matemático, definido por un polinomio de tercer grado. Se calculó el coeficiente de correlación y se obtuvo el error estándar de la aproximación, el cual se sumó y restó al modelo para generar valores que fueron considerados como estándar (Gill 1978).

Posteriormente, se derivó el modelo para obtener la tasa de crecimiento en peso con respecto a la LHC. El modelo se analizó con los criterios de máximos y mínimos para determi-

nar el peso máximo en función de la longitud. Finalmente, se consideró el peso máximo alcanzado y la longitud máxima registrada y se obtuvieron los porcentajes de peso para distintas longitudes con el modelo teórico, para registrar las etapas de mayor crecimiento (Chapra & Canale 2006).

Resultados

El peso y longitud promedio de las iguanas, a partir de la eclosión hasta los nueve años dos meses de edad, mostraron una tendencia creciente (Tabla I); la cual se corroboró al observar el diagrama de dispersión (Fig. 1). Este comportamiento de la curva que relacionó a ambas variables, motivó la aplicación del modelo mediante un polinomio de tercer grado.

Cada valor en el diagrama de dispersión presentó una desviación (E_i) respecto al modelo teórico. Entonces para un valor

Tabla I. Valores promedio de longitud hocico-cloaca (LHC) y peso de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) para un periodo de 110 meses de observación.

Tiempo (meses)	Longitud hocico-cloaca (cm)	Peso (g)
0	5.5	5.1
4	9.5	25.1
12	11.8	50.2
13	12.9	63.3
14	13.7	77.9
16	14.4	107.2
25	17.8	174.9
26	18.3	223.6
27	18.9	228.6
37	22.2	364.4
38	22.2	414.8
49	23.3	433.1
50	23.0	445.1
64	25.1	569.7
72	26.6	675.5
77	26.6	756.0
109	27.7	856.6
110	28.1	891.1

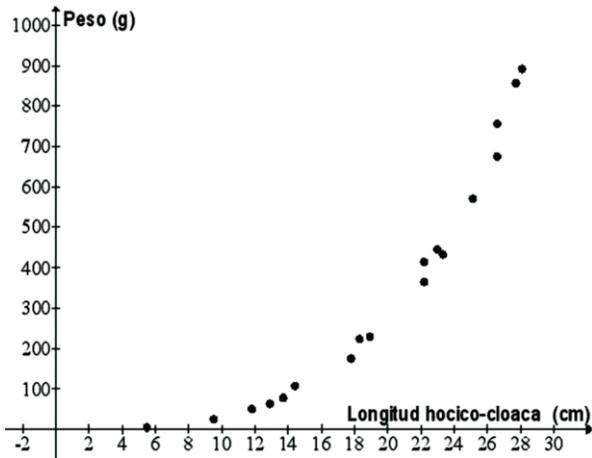


Figura 1. Diagrama de dispersión de los promedios de longitud hocico-cloaca y peso de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) hasta la edad de 110 meses.

determinado de peso (y_i) en función de su LHC(x), se expresó como:

$$y_i = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + E_i \quad \text{ec. 1,}$$

donde y_i = peso (g); x = longitud hocico-cloaca (cm); a_0, a_1, a_2, a_3 = coeficientes polinomiales y E_i = desviación entre el modelo teórico y cada lectura.

Para la obtención de los mínimos cuadrados de cada lectura, se despejó el error E_i de la ecuación 1 y se generó:

$$E_i = y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - a_3x_i^3$$

A continuación, todos los errores elevados al cuadrado se sumaron:

$$\sum E_i^2 = \sum (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - a_3x_i^3)^2$$

La ecuación anterior fue derivada parcialmente, respecto a cada uno de los coeficientes polinomiales, y cada resultado se igualó con cero, para que la suma de los errores fuera la mínima, para a_0 :

$$\frac{\partial E_i^2}{\partial a_0} = 2(y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2 - a_3x_i^3)(-1) = 0$$

Desarrollando operaciones se logró:

$$\sum y_i - \sum a_0 - \sum a_1x_i - \sum a_2x_i^2 - \sum a_3x_i^3 = 0$$

Se aplicaron las propiedades de las sumas y se transpusieron términos para obtener la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \sum y_i &= \sum a_0 + \sum a_1x_i + \sum a_2x_i^2 + \sum a_3x_i^3 \\ \sum y_i &= na_0 + a_1\sum x_i + a_2\sum x_i^2 + a_3\sum x_i^3 \end{aligned} \quad \text{ec. I}$$

donde n es el número de observaciones pareadas. Al seguir el procedimiento anterior para a_1, a_2 y a_3 , se generó el siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} na_0 + a_1\sum x_i + a_2\sum x_i^2 + a_3\sum x_i^3 &= \sum y_i & \text{ec. I} \\ a_0\sum x_i + a_1\sum x_i^2 + a_2\sum x_i^3 + a_3\sum x_i^4 &= \sum y_i x_i & \text{ec. II} \\ a_0\sum x_i^2 + a_1\sum x_i^3 + a_2\sum x_i^4 + a_3\sum x_i^5 &= \sum y_i x_i^2 & \text{ec. III} \\ a_0\sum x_i^3 + a_1\sum x_i^4 + a_2\sum x_i^5 + a_3\sum x_i^6 &= \sum y_i x_i^3 & \text{ec. IV} \end{aligned}$$

Con los valores promedio obtenidos (Tabla I), se calcularon las sumatorias (Tabla II) y se sustituyeron en las ecuaciones I a IV para desarrollar el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} 18a_0 + 347.5a_1 + 7,484.85a_2 + 172,286.74a_3 &= 6,362.2 \\ 347.5a_0 + 7,484.85a_1 + 172,286.74a_2 + 4,138,237.82a_3 &= 154,513.84 \\ 7,484.85a_0 + 172,286.74a_1 + 4,138,237.82a_2 + 102,306,431.4a_3 &= 3,852,423.47 \\ 172,286.74a_0 + 4,138,237.82a_1 + 102,306,431.4a_2 + 2,581,599,320.29a_3 &= 97,871,347.28 \end{aligned}$$

La solución de este sistema fue:

$$\begin{aligned} a_0 &= -79.807 & a_1 &= 22.441 \\ a_2 &= -1.904 & a_3 &= 0.083 \end{aligned}$$

Los valores anteriores representan los coeficientes polinomiales que, al ser sustitui-

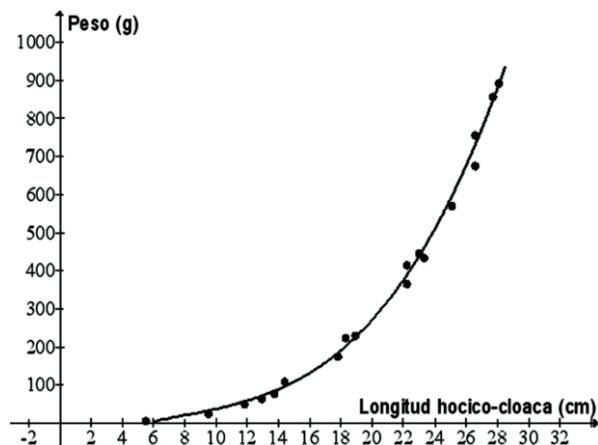


Figura 2. Modelo de crecimiento de la longitud hocico-cloaca vs peso de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) hasta la edad de 110 meses.

Tabla II. Cálculo de sumatorias de la longitud hocico-cloaca y peso en iguanas (*Ctenosaura pectinata*) a partir de la eclosión hasta 9.16 años de edad (110 meses).

Tiempo meses	X (cm)	Y (g)	x ²	x ³	x ⁴	x ⁵	x ⁶	xy	yx ²	yx ³	(y _i -y _m) ²	**
0	5.45	5.1	29.71	161.93	882.60	4810.66	26220.79	27.80	151.51	825.83	121351.59	34.05
4	9.54	25.1	90.96	867.47	8273.19	78902.62	752505.59	239.38	2283.02	21773.52	107817.37	57.30
12	11.76	50.2	138.39	1627.99	19151.54	225296.56	2650363.75	590.55	6947.13	81725.29	91963.93	25.64
13	12.93	63.3	167.18	2161.70	27950.79	361403.72	4672950.16	818.47	10582.80	136835.66	84190.25	56.06
14	13.75	77.9	188.94	2597.08	35698.23	490691.29	6744814.71	1070.78	14718.41	202312.38	75930.86	33.84
16	14.40	107.2	207.36	2985.98	42998.17	619173.64	8916100.45	1543.68	22228.99	320097.48	60641.80	136.02
25	17.84	174.9	318.36	5680.29	101350.72	1808354.50	32265640.01	3120.66	55680.51	993481.88	31882.09	94.82
26	18.30	223.6	334.89	6128.49	112151.31	2052369.01	37558352.91	4091.88	74881.40	1370329.69	16862.47	530.95
27	18.86	228.6	355.76	6710.31	126567.89	2387285.77	45028273.16	4311.79	81327.61	1533977.09	15588.91	48.62
37	22.17	364.4	491.36	10891.84	241435.74	5351825.60	118632134.21	8077.53	179051.99	3968985.75	119.78	389.70
38	22.18	414.8	491.84	10907.70	241904.55	5364818.62	118977832.28	9199.19	204014.37	4524512.31	3763.14	900.69
49	23.28	433.1	542.05	12620.13	293822.44	6840789.20	159267604.85	10083.46	234763.55	5465776.99	6343.24	519.71
50	23.00	445.1	529.00	12167.00	279841.00	6436343.00	148035889.00	10237.30	235457.90	5415531.70	8398.70	67.82
64	25.07	569.7	628.62	15760.81	395158.49	9907501.39	248403076.60	14283.65	358122.72	8978932.46	46761.66	478.99
72	26.64	675.5	709.63	18903.77	503575.31	13414686.63	357352346.70	17994.57	479355.34	12769493.53	103712.62	3310.16
77	26.56	756.0	705.20	18726.91	497303.56	13206172.25	350697240.87	20076.00	533129.33	14157545.63	162042.03	964.53
109	27.70	856.6	767.29	21253.93	588733.94	16307930.25	451729667.97	23727.82	657260.61	18206119.01	253154.33	216.21
110	28.08	891.1	788.31	22133.42	621438.35	17448076.66	489888306.28	25019.35	702466.26	19723091.07	289061.55	61.80
Σ	347.50	6362.2	7484.85	172286.74	4138237.82	102306431.4	2581599320.29	154513.84	3852423.47	97871347.28	1479586.32	7926.92

** $\sum(y_i - a_0 - a_1x - a_2x^2 - a_3x^3)^2$ donde a_0, a_1, a_2, a_3 son los coeficientes polinomiales.

y_m = promedio de pesos.

x = valor de longitud hocico-cloaca para diferentes edades.

y = valor de peso para diferentes edades.

dos en la ecuación 1, dieron como resultado el siguiente modelo matemático que describe la relación entre el peso de la iguana y su longitud hocico-cloaca (Fig. 2).

$$y = -79.807 + 22.441x - 1.904x^2 + 0.083x^3$$

El coeficiente de correlación de las variables de estudio se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{\sum(y_i - y_m)^2 - \sum(y_i - a_0 - a_1x - a_2x^2 - a_3x^3)^2}}{\sum(y_i - y_m)^2}$$

$$= \frac{\sqrt{1\,479\,586.32 - 7926.92}}{1\,479\,586.32} \Rightarrow r = 0.997$$

Así mismo, el error estándar de la aproximación se calculó de la siguiente manera:

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - a_0 - a_1x - a_2x^2 - a_3x^3)^2}{n - (m + 1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{7926.92}{18 - (3 + 1)}} \Rightarrow S_{y/x} = 22.99 \text{ [g]}$$

donde n = número de datos, m = orden del polinomio y $S_{y/x}$ = error estándar de la aproximación.

Los límites superior e inferior (Fig. 3), que

se obtuvieron sumando y restando el error estándar de la aproximación al modelo obtenido, fueron los siguientes:

Límite superior (y_s)

$$y_s = -56.817 + 22.441x - 1.904x^2 + 0.083x^3$$

Límite inferior (y_i)

$$y_i = -102.797 + 22.441x - 1.904x^2 + 0.083x^3$$

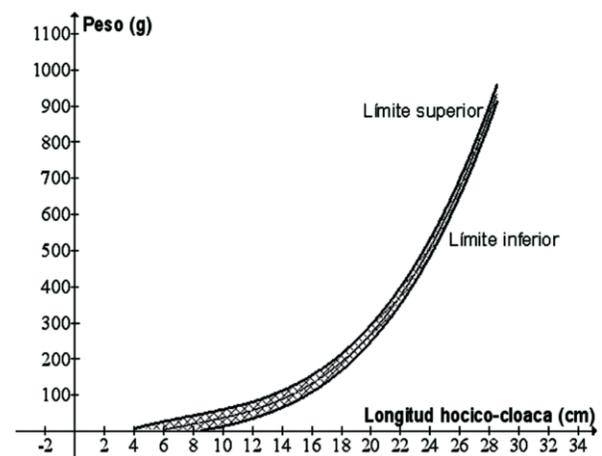


Figura 3. Región estándar de pesos y longitudes hocico-cloaca de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) a edad de nueve años y dos meses (área sombreada).

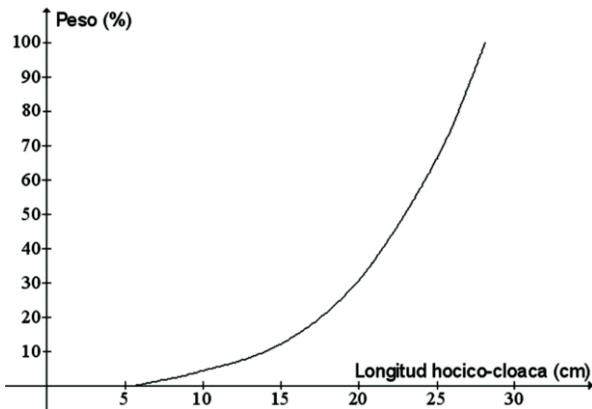


Figura 4. Porcentaje en peso respecto a la longitud hocico-cloaca en *Ctenosaura pectinata*.

Por otro lado, con los datos del modelo se estableció una tabla comparativa del peso (%) que fue adquiriendo la iguana con respecto a LHC, para observar las etapas de mayor crecimiento (Fig. 4). Se consideró como el 100%, al valor teórico de peso a los 28.1 cm de LHC, porque fue la longitud promedio mayor obtenida en los datos reales (Tabla III, Fig. 4).

Al derivar la ecuación definida por el modelo, se obtuvo la velocidad con que aumenta el peso de la iguana negra respecto a su LHC (Fig. 5).

$$\dot{y} = 22.441 - 3.808x + 0.249x^2 \quad \text{ec. 2}$$

Al derivar nuevamente la ecuación anterior e igualar a cero, se obtuvo el punto de inflexión del modelo (Fig. 5):

$$\dot{y} = -3.808 + 0.498x = 0 \Rightarrow x = 7.65 \text{ cm}$$

Tabla III. Porcentaje de peso de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en relación con la longitud hocico-cloaca (LHC).

LHC (cm)	Peso (g)	Peso (%)
5.5	-0.2	-0.25
10	37.2	4.2
15	108.5	12.2
20	271.4	30.5
25	588.1	66.15
28.1	889.0	100.00

Este valor se sustituyó en la ecuación de la tasa de crecimiento, para obtener el siguiente resultado:

$$\dot{y} = 22.441 - 3.808(7.65) + 0.249(7.65)^2 = 7.88 \text{ [g/cm]}$$

Para estimar el peso máximo logrado por la iguana negra se tomó la ecuación 2 y se igualó a cero: $22.441 - 3.808x + 0.249x^2 = 0$, para generar los siguientes resultados: $x_1 = 7.646 + 5.626i$, $x_2 = 7.646 - 5.626i$.

Discusión

Los resultados de este trabajo muestran que al nacer, las crías de iguana negra presentan una LHC y peso similar a lo registrado en otros estudios con la especie (Suazo & Alvarado 1994, Alvarado & Suazo 1996, Arcos-García *et al.* 2005b); aunque, en iguanas adultas, se observaron pesos y longitud por abajo de lo establecido en otras investigaciones (Valenzuela 1981, Casas 1982).

De igual manera, la relación entre el peso de la iguana negra y la LHC puede ser explicada a partir de la aplicación de un polinomio de tercer grado, para el cual se calculó un coeficiente de correlación cercano a la unidad; lo que fue indicativo de que el modelo encontrado es aceptable (Chapra & Canale 2006). El coeficiente de 0.997, expresa que la incertidumbre original se ha explicado mediante el modelo utilizado.

Fue importante calcular los límites superior e inferior del modelo para ofrecer mayor certidumbre en los valores predichos explicados, ya que los estimadores muestrales siempre se hallan sujetos a variación (Gill 1978, Herrera *et al.* 2008). Esta región encontrada permitirá establecer, en futuras mediciones, si un animal con cierta LHC se ubica dentro de un peso estándar. Lo anterior, puede ser de gran ayuda a los criadores de iguanas a determinar, si el manejo que ellos utilizan es adecuado, ya que contarán con una herramienta para determinar el manejo adecuado de los animales sometidos a medición.

El incremento en peso de las crías de iguana negra fue lento cuando la LHC fue

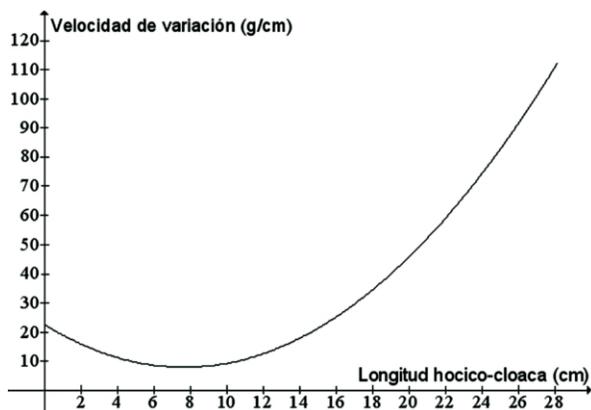


Figura 5. Velocidad de variación del peso respecto a la longitud hocico-cloaca de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*).

menor de 10 cm. Se incrementó conforme aumentó la LHC y, entre los 25 cm a 28.1 cm, las iguanas aumentaron su peso en forma acelerada. Así, pasaron de tener menos del 66.15% de su peso adulto hasta alcanzar 100%, por lo que aquellas iguanas con una diferencia de cerca de cinco cm en su LHC, lograron tener una diferencia del doble de peso. El incremento en peso en las crías fue similar al publicado por de Arcos-García *et al.* (2002, 2005a), quienes obtuvieron registro de peso de 232.0 y 193.9 g a los 25.4 y 21 meses de edad respectivamente. Para el ajuste de modelos de crecimiento, Arcos-García *et al.* (2002) utilizaron el modelo logístico de tres parámetros (Hintze 1990-1995), dicho modelo fue el que mejor se ajustó para la edad evaluada y con la información que se tenía en ese momento; a pesar de que el ajuste de modelos es diferente en ambos trabajos, los resultados arrojan valores similares considerando la edad hasta los 26 meses, demostrando que la metodología empleada en cada caso fue adecuada.

El punto de inflexión del modelo (Gill 1978) indicó la mínima velocidad de aumento en peso del animal con respecto a la LHC; de tal manera que la tasa de crecimiento fue decreciente desde la eclosión de las iguanas hasta los 7.64 cm (7.88 g/cm). Después de esta talla, la velocidad de aumento en peso experimentó un gradiente positivo; de tal manera que con LHC

de 28.1 cm, se observó la máxima velocidad de incremento en peso, siendo de 112.05 g/cm.

La ecuación cuadrática, resultada de derivar el modelo e igualar a cero, presentó raíces complejas, por lo que es posible concluir que la iguana negra, después de los nueve años dos meses de edad, aumenta de peso sin alcanzar un máximo. Estos datos, justifican lo establecido por Pough (1973), al considerar que el crecimiento de los reptiles continúa a lo largo de toda la vida.

La aplicación del modelo de regresión polinomial en el crecimiento de la iguana negra es una herramienta útil en la explicación de los fenómenos biológicos de las iguanas y es una potencial herramienta en el estudio de la biología de la especie.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad del Mar por el registro del proyecto No. 2IE0805 y al Centro de Conservación y Reproducción de iguanas de la Universidad del Mar por el apoyo para la realización del presente estudio. Se agradece a dos árbitros anónimos la revisión de una versión previa del manuscrito.

Referencias

- Alvarado, D.J. & O.I. Suazo. 1996. Las iguanas de México. Historia natural y conservación. Laboratorio de tortuga marina y biología de la conservación. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, 77 pp.
- Arcos-García, J.L., M.A. Cobos, V.H. Reynoso, G.D. Mendoza, M.E. Ortega & F. Clemente. 2002. Caracterización del crecimiento de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en cautiverio. *Veterinaria México* 33(4): 409-419.
- Arcos-García J.L., V.H. Reynoso, G.D. Mendoza & D. Hernández. 2005a. Identificación del sexo y medición del crecimiento en iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en las etapas de cría y juvenil. *Veterinaria México* 36(1): 53-62.
- Arcos-García, J.L., R. López-Pozos, M.A. Camacho & G. Mendoza. 2005b. Parámetros reproductivos de la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en condiciones de cautiverio. Memorias de la VIII Reunión Nacional sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, SEMARNAT, Lázaro Cárdenas, Michoacán, pp: 41-49.

- Arcos-García, J.L., T.J. Manríquez-Santos, B. Pinacho-Santana & R. López-Pozos. 2006. Alimentación y crecimiento en iguanas. Memorias de la IX Reunión Nacional Sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, SEMARNAT, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, pp:31-38.
- Casas, A. 1982. Anfibios y reptiles de la costa suroeste del estado de Jalisco con aspectos sobre su ecología y biogeografía. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Chapra, S.C. & R.P. Canale. 2006. Métodos numéricos para ingenieros. 5a ed., McGraw-Hill, México, D.F., 977 pp.
- Gill, J.L. 1978. Design and analysis of experiments, in the animal and medical sciences. The IOWA State University Press/ Ames, Iowa, Vol. I: 409 pp.
- Herrera M., S.Machorro, J.L. Arcos-García & G.D. Mendoza. 2008. Regresión polinomial de la longitud total en la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en relación con el tiempo. Memorias de la XI Reunión Nacional Sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, Puebla, pp: 99-108.
- Hintze, J. 1990-1995. Number cruncher statistical software. Kaysville(Ut), Microsoft Corp.
- Parks, J.R. 1982. A theory of feeding and growth of animals. Springer-Verlag, Berlin-Nueva York, 322 pp.
- Ponce, J.B., L.M. Fragoso, A. Campos, F.X. Plata, G.D. Mendoza & J.L. Arcos-García. 2008. Efecto del ejercicio sobre el crecimiento y la fisiología de la iguana verde. Memorias del XI Reunión Nacional Sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, Puebla, México, pp: 80-85.
- Pough, F.H. 1973. Lizard energetics and diet. Ecology 54:837-844.
- Rojas, D., J. Núñez, B. Pinacho, F. Valdez, R. López-Pozos & J.L. Arcos-García. 2007. Crecimiento y presentación de la pubertad en iguana verde (*Iguana iguana*). Memorias de la X Reunión Nacional Sobre Iguanas, Subcomité Técnico Consultivo para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de las Iguanas en México, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, pp: 90-94.
- Suazo, O.I. & D.J. Alvarado. 1994. Iguana negra. Notas sobre su historia natural. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, 77 pp.
- Tanner, J.M. 1986. El hombre antes del hombre. El crecimiento físico desde la concepción hasta la madurez. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Fondo de Cultura Económica, México, 283 pp.
- Valenzuela, L.G. 1981. Contribución al conocimiento de la biología y ecología de *Ctenosaura pectinata* e *Iguana iguana* (Reptiles: Iguanidae) en la costa de Jalisco. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- Villegas, F. 2000. Avances sobre el seguimiento del ciclo de vida en cautiverio de iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) en el Centro de Conservación y Reproducción de Iguanas, Oaxaca, México. III Taller Nacional Sobre Manejo de Iguanas en Cautiverio, Acapulco, Guerrero, pp: 25-30.

Recibido: 14 de octubre de 2008.

Aceptado: 21 de septiembre de 2009.