

Nota Técnica

Aplicación de un modelo logístico para inferencia de la tasa de crecimiento de chigüires mantenidos en condiciones de semiextensividad

Pere M. Parés-Casanova^{1*}, Fabián Andrés Muñoz², Arcesio Salamanca Carreño², Carlos Blanco², Daniel Cala²

¹Universidad de Lleida, Departamento de Ciencia Animal. Lleida, Cataluña, España. ²Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigaciones Los Araucos. Arauca, Colombia. *Correo electrónico: peremiquelp@ca.udl.cat

Resumen

Se estudiaron 30 chigüires (11 machos y 19 hembras), con un rango de edad comprendido entre 2 y 96 meses, procedentes de tres granjas ubicadas en los llanos araucanos, en Colombia. De cada animal se obtuvieron las siguientes variables lineales: longitud corporal, alzada a la cruz, longitud cefálica, perímetro cefálico y perímetro torácico. Los pares edad-variable lineal se ajustaron a tres modelos de crecimiento: logístico, Gompertz y von Bertalanffy. Se utilizó el criterio de Akaike para analizar la bondad del ajuste de los modelos. En todos los casos, el modelo logístico presentó los menores valores de información de Akaike y por tanto, fue el de mejor ajuste. De igual forma, se observó que este modelo sobrestima las variables, particularmente las variables post-craneales (longitud corporal, alzada a la cruz y perímetro torácico), observándose incluso en la parte asintótica de la curva. La causa podría deberse a un desarrollo deficiente de los animales, probablemente por una dieta inapropiada.

Palabras clave: alometría estática, capibara, *Hydrochoerus hydrochaeris*, crecimiento, ontogenia.

Application of a logistic model for inference of the growth rate of capybaras maintained in semi-extensive conditions

Abstract

We studied 30 capybaras (11 males and 19 females), ranged between 2 to 96 months of age, from three farms of the Araucano llanos in Colombia. The following linear variables were obtained on each animal: body length, height to withers, head length, head perimeter, and thoracic perimeter. Each pair age - linear variable was adjusted to three growth models: logistic, Gompertz and von Bertalanffy. Akaike's criterion was used to analyze the goodness of fit of the models. In all cases, the logistic model presented the lower *Akaike* information values so suggesting the best fit. It was observed that this model overestimates the variables, particularly the post-cranial variables (body length, height at the withers and thoracic perimeter), even in the asymptotic part of the curve. Its cause could be a poor development of animals, perhaps due to an inappropriate diet.

Key words: static allometry, capybara, *Hydrochoerus hydrochaeris*, growth, ontogeny.

INTRODUCCIÓN

El chigüiro (*Hydrochoerus hydrochaeris*; Linnaeus 1766) es un roedor de la familia Caviidae, subfamilia Hydrochoerinae (Cueto 1999). También se le conoce como chigüire, jomo, ñeque, piro-piro, poncho o roncoso, y se ha descrito como el roedor de mayor tamaño y peso del mundo (Ojasti 1973, Carrascal *et al.* 2011). Se ha reportado su presencia en todos los países de Sudamérica excepto en Chile (Ojasti 1973, Cueto 1999, Carrascal *et al.* 2011) y se les ha observado en manadas en regiones tropicales y templadas, invariablemente cerca del agua. En Colombia las mayores poblaciones de esta especie se localizan en la zona de los Llanos Orientales, especialmente en los departamentos de Arauca, Meta, Casanare y Vicha (Rodríguez *et al.* 2012).

El tamaño corporal varía entre 120 y 135 cm de longitud total, y desde 55 a 62 cm de altura. Pueden alcanzar hasta diez años de vida y lograr la madurez sexual en 15 meses, con un peso que varía entre 30 y 40 kg (Cueto 1999, Rodríguez *et al.* 2012). Las tasas de crecimiento calculadas en pastos naturales varían entre 62 y 75 gramos por día para el primer año y medio de vida, estando el crecimiento de los individuos muy afectado por factores ambientales (Cueto 1999). Un ejemplo de lo anterior se observa en Venezuela durante la marcada estación seca, donde las tasas de crecimiento son mínimas, mientras que durante la estación húmeda alcanzan los valores máximos (Cueto 1999).

En esta especie se han reportado estudios en diversas temáticas, como parásitos gastrointestinales (Santa Cruz *et al.* 2005), aislamiento de hemoparásitos (González *et al.* 2003), estudios anatómicos de musculatura (Resoagli *et al.* 2016), hábitats, dietas y uso potencial de alimentos (Ulloa 2005, Guimarães *et al.* 2014), poblacionales (Cueto 1999, Chacón *et al.* 2013), así como morfofisiología del sistema urogenital (Miglino *et al.* 2013). De igual forma, esta especie es mencionada desde un punto de vista biológico, en textos generales sobre fauna silvestre, inventarios faunísticos regionales y artículos sobre la utilización de la fauna silvestre en general.

La facilidad para su domesticación permite la explotación comercial (Rodríguez *et al.* 2012) y puede constituir un recurso económico importante a través de su uso sustentable (Resoagli *et al.* 2016). Por ser una especie de humedales y terrenos inundables, su aprovechamiento tiene ventajas competitivas con respecto a la ganadería, debido a la alta eficiencia en la utilización del forraje disponible en estas zonas marginales (Chacón *et al.* 2013).

No obstante lo anterior y a excepción de los trabajos realizados por Ojasti (2003), son escasos los estudios sobre morfometría corporal en esta especie, a pesar de constituir un recurso alimenticio de alto valor biológico para las poblaciones indígenas y campesinas (Ojasti 1973, Ojasti 2003, Rodríguez *et al.* 2012).

En las especies de interés zootécnico, la evaluación del crecimiento es importante para analizar y gestionar de un modo adecuado el proceso productivo, ya que permite inferir las necesidades nutricionales de los animales y por otra parte se relaciona en forma directa con la cantidad y calidad de la carne producida (da Silva *et al.* 2004). De igual forma, este análisis es significativo en los programas de mejoramiento genético, debido a que permite estimar parámetros importantes para la selección (Lôbo *et al.* 2006).

De acuerdo a Howland *et al.* (2004), el crecimiento pocas veces es lineal, por lo que las estimaciones de las tasas de crecimiento pueden ser erróneas cuando los datos son ajustados a modelos inapropiados. Para incrementar la confianza estadística en la estimación de las tasas de crecimiento, es necesario generar curvas de crecimiento completas, es decir modelos que describan el proceso a lo largo de todo el ciclo de vida de los individuos.

Aunque los modelos lineales han sido usados frecuentemente en zoología, su aplicación exige también que se cumplan algunos criterios tales como la linealidad, normalidad y homogeneidad de la varianza (Payandeh 1983). En muchos casos, su correcta aplicación exige la transformación logarítmica de los datos (Payandeh 1983), pero ello puede conllevar problemas inherentes, que incluyen la asunción de errores multiplicativos

y dificultades para la correcta evaluación de las medidas usuales de bondad, como el coeficiente de determinación y los errores estándar de las estimaciones (Payandeh 1983). Además, los modelos transformados normalmente provocan que las estimaciones aparezcan sesgadas y menos precisas (Payandeh 1983).

Para evitar los inconvenientes del uso de los modelos lineales se han empleado las funciones sigmoideas para describir el crecimiento de plantas y de mamíferos (Cueto 1999); aunado a que el crecimiento de los animales es mayormente de tipo sigmoidal, con un punto de inflexión (velocidad máxima de crecimiento) que coincide con la pubertad. De acuerdo a una función sigmoidea, la tasa de crecimiento de los organismos es máxima al nacer y decrece exponencialmente con el tiempo (Payandeh 1983). Aunque existen diversos modelos de crecimiento basados en funciones sigmoideas, los de uso más frecuente en mamíferos, son el modelo logístico, el modelo de Gompertz y el modelo de von Bertalanffy (Torres *et al.* 2012).

El crecimiento del chigüire, ha sido evaluado por diferentes autores tanto en condiciones silvestres como en cautiverio; sin embargo, no se cuenta con información sobre este proceso en poblaciones colombianas. Además, hasta el presente, la mayoría de los trabajos que describen el crecimiento del chigüire han utilizado únicamente la ganancia de peso durante un intervalo de tiempo determinado, como medida de la tasa de crecimiento. De esta forma se asume que, durante el período de tiempo estudiado, el crecimiento es constante (crecimiento lineal).

El estudio del crecimiento del chigüire es importante para promover su conocimiento, conservación y manejo sostenible dentro y fuera de Colombia. La descripción mediante modelos no lineales del cambio corporal en función del tiempo y con un número reducido de parámetros que tienen interpretación biológica, permitirían derivar otros indicadores como el grado de madurez a determinado tiempo, así como la edad y peso en el punto de inflexión, que indican un cambio en la tasa de crecimiento (Domínguez-Viveros *et al.* 2013).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar un modelo matemático que describa el crecimiento corporal no lineal ni ponderal de *Hydrochoerus hydrochaeris* en estado semi silvestre.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y lugar de estudio:

Se estudiaron 30 chigüires (11 machos y 19 hembras) con un rango de edad comprendido entre los 2 y los 96 meses, procedentes de tres fincas de manejo semiextensivo, localizadas en el municipio de Fortul, (Arauca, Colombia), en la región de piedemonte, Buenos Aires (n=5), El Edén (n=9) y El Encanto (n=16). La edad fue la declarada por los productores. Este municipio se caracteriza por alturas que oscilan desde los 200 hasta los 3.500 msnm, con una topografía ligeramente inclinada. La temperatura media anual es de 28°C, con un régimen pluvial monomodal y una humedad relativa del 90 %.

En la finca El Encanto, las mediciones se realizaron durante el mes de mayo, mientras que en las fincas El Edén y Buenos Aires, los datos se colectaron entre septiembre y octubre. Los animales fueron sujetados con lazo de nylon para el momento de las mediciones a objeto de disminuir su movilidad y garantizar exactitud en las lecturas.

Medidas corporales:

De cada animal se obtuvieron las siguientes variables lineales: longitud corporal; desde el punto más culminante del occipital hasta la primera vertebra coccígea (LCo), alzada a la cruz; desde el suelo al punto culminante de la cruz – zona de la región interescapular (AC), longitud cefálica; desde el punto más culminante del occipital al punto medio de los orificios exteriores nasales (LCe), perímetro cefálico; medido desde la articulación de los huesos interfrontales, descendiendo por el músculo masetero para volver al punto de partida (PC), y perímetro torácico; desde el punto más declive de la región interescapular hacia la región ventral pasando por la región posterior de la articulación humero-escapular para volver al

punto de partida (PT). Las mediciones corporales se colectaron individualmente, una sola vez, con cinta inextensible y se expresaron en centímetros.

Análisis estadístico:

Se aplicó un análisis multivariado no paramétrico (NPMANOVA) en los animales mayores de 18 meses (5 machos y 9 hembras), considerados maduros sexualmente; se utilizó la distancia de Mahalanobis para detectar la presencia de dimorfismo sexual. Se ajustaron posteriormente los pares de edad-variable lineal a los tres modelos de crecimiento:

$$y = \frac{a}{(1 - be^{-cx})}$$

Modelo logístico

$$y = ax \exp(bx \exp(cx))$$

Modelo de Gompertz

$$y = a(1 - be^{-cx})$$

Modelo de von Bertalanffy

Donde:

- a = estimativa de la variable a la madurez.
- b = parámetro de integración sin significado biológico.
- c = estimativa de precocidad de madurez.

Para analizar la bondad del ajuste de los modelos, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), el cual se obtuvo de acuerdo al planteamiento de Domínguez-Viveros *et al.* (2013):

$$AIC = N \ln\left(\frac{SC}{N}\right) + (2k + 1)$$

Donde:

- N = número de observaciones.
- sc = suma de cuadrados de los residuales.
- k = número de parámetros en el modelo.

Se consideró el modelo de mejor ajuste, el que presentó el mínimo valor de AIC (Motulsky y Christopoulos 2003). Para facilitar la comprensión

de la bondad del modelo elegido, se estimó el coeficiente de determinación, realizando un análisis de regresión lineal, considerando el peso predicho por el modelo como variable dependiente y el peso observado de cada animal como variable independiente. El tratamiento estadístico de los datos se realizó con el paquete informático PASTv. 2.17c bajo ambiente Windows (Hammer *et al.* 2001). El límite de significancia se estableció en 5 %.

Consideraciones éticas

Todas las medidas fueron obtenidas de animales vivos y no se procedió a su sacrificio, por lo que no se consideró necesario la obtención de autorización ética.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observaron diferencias significativas entre machos y hembras mayores de 18 meses ($P > 0,05$), en las variables analizadas, por lo que se procedió al análisis y presentación conjunta de los datos para ambos sexos. El modelo logístico fue el que presentó los mínimos valores de AIC en todos los casos, por tanto, fue el de mejor ajuste (Cuadro 1).

El parámetro a , representa la tasa de madurez del animal en cada punto de la curva, e indica la velocidad de crecimiento para alcanzar el carácter asintótico. Animales con valores altos de a revelan una madurez precoz, comparados con animales de medida similar con valores menores de a . El parámetro c es una estimación del valor de la variable asintótica del animal, no

Cuadro 1. Coeficientes a , b y c del modelo logístico para las variables lineales estudiadas

	a	b	c	Akaike
LCo	118,12	0,737	0,039	11715,0
AC	54,05	0,552	0,035	3086,8
LCe	44,04	0,784	0,037	1801,4
PC	44,04	40,561	0,117	306,2
PT	142,14	0,582	0,025	20989,0

LCo: Longitud Corporal, AC: Alzada a la cruz, LCe: Longitud Céflica, PC: Perímetro Cefálico, PT: Perímetro Torácico. a : estimativa de la variable a la madurez, b : parámetro de integración sin significado biológico y c : estimativa de precocidad de madurez.

siendo, necesariamente, el mayor valor que el animal consigue, sino el valor medio al que se tiende a la madurez. El PC presentó las mayores estimaciones del perímetro asintótico. En la estimación del parámetro *c* se puede percibir que ocurre lo inverso del parámetro *a*, con unos valores muy elevados de la longitud corporal y del perímetro torácico. Para el PC, el parámetro *c* apareció mucho más elevado (0,117), signo de una precocidad mayor en relación al resto de las variables. El AIC de esta variable fue 306,2, menor al de todas las variables para el modelo logístico. En cuanto al parámetro *b*, el mismo no posee interpretación biológica, pero es importante para modelar la curva sigmoidea desde el nacimiento ($t = 0$) hasta la edad adulta ($t \rightarrow \infty$).

Para las variables diferentes al PC, el modelo propone valores superiores a los observados. Esta sobrestimación de las medidas asintóticas podría deberse a que los ejemplares aún no han alcanzado las medidas máximas, pero ello contrasta con el amplio rango de edad estudiado, en el que se evaluaron animales de 96 meses, mucho mayores de 15 meses que es la edad de madurez sexual (Rodríguez *et al.* 2012). La segunda variable con el menor AIC fue la LCe (1801,4), lo que corrobora que las variables cefálicas presentan el desarrollo biológico esperado. Por otra parte, el desarrollo de la cabeza es independiente del crecimiento post-craneal y no revela defectos nutricionales de un modo tan manifiesto como las otras variables post-craneales. De todo ello, por la aparición de algunos

Cuadro 2. Coeficientes de determinación (R^2) para las variables lineales estudiadas dentro del modelo logístico.

	R^2
LCo	0,900
AC	0,906
LCe	0,914
PC	0,937
PT	0,958

LCo: Longitud Corporal, AC: Alzada a la cruz, LCe: Longitud Cefálica, PC: Perímetro Cefálico, PT: Perímetro Torácico.

caracteres que no llegan a expresarse en su totalidad o no alcanzan la fase lineal, se propone que hay un desarrollo deficiente de los animales, posiblemente debido a una nutrición inadecuada. De igual forma, se observaron coeficientes de determinación superiores a 0,9 en el modelo logístico (Cuadro 2).

La correlación entre los parámetros *a* y *c* del modelo logístico fue negativa y elevada (-0,44). En la interpretación biológica de esta correlación se infiere que animales con mayores tasas de crecimiento tienen menor probabilidad de alcanzar un mayor tamaño en la madurez, comparados con aquellos que crecen más despacio en el inicio de la vida, es decir, animales que alcanzan la madurez con mayor peso presentan la menor tasa de crecimiento.

En la Figura 1 se representa la variable perímetro cefálico, donde se observan las fases señaladas por Torres *et al.* (2012) para el modelo logístico.

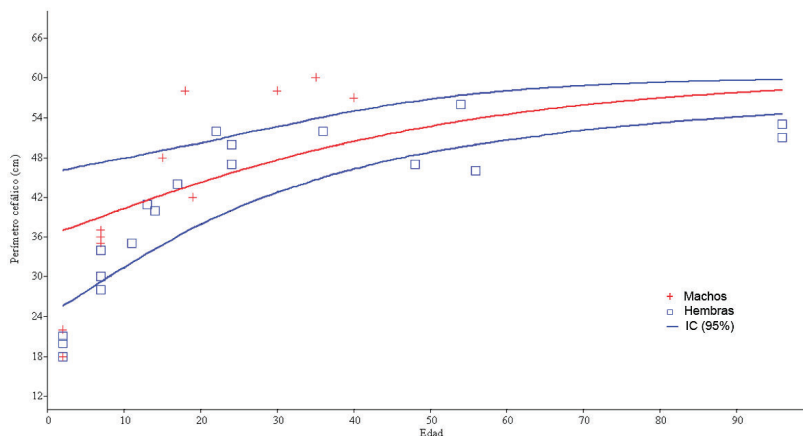


Figura 1. Modelo logístico para la variable lineal perímetro cefálico.

La primera fase de aceleración, con velocidad de crecimiento muy rápida y positiva, que alcanza un valor máximo en el punto de inflexión de la curva; la segunda fase, de desaceleración a partir del punto de inflexión, con velocidad de crecimiento que disminuye en virtud de factores fisiológicos que frenan el crecimiento. En el caso de la tercera fase o fase lineal, que ocurre cuando el animal deja de crecer o cuando el crecimiento se puede considerar solamente para la reposición de tejidos, tan sólo se insinúa en las variables analizadas.

Existe un consenso creciente de lo inadecuado de utilizar los enfoques tradicionales, como los modelos lineales y exponenciales, para estudiar el crecimiento. Es por ello que hay una necesidad apremiante de adaptarse a modelos empíricos, especialmente los no lineales. Esta contribución ha permitido estudiar los parámetros productivos y de crecimiento en el chigüire (*Hydrochoerus hydrochaeris*) desde una perspectiva más biológica y, por tanto, permitiendo inferencias posiblemente más ajustadas a la realidad.

CONCLUSIONES

En la evaluación del crecimiento del chigüire, el modelo logístico fue el de mejor ajuste en todos los casos, corroborado por los valores de AIC. Se observó que las variables cefálicas presentan el desarrollo biológico esperado. De igual forma se evidenció que los animales que alcanzan la madurez con mayor peso presentan la menor tasa de crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los ganaderos de las fincas “El Encanto” (vereda de Providencia), El Edén (vereda de Santa Fe) y “Buenos Aires” (vereda del Paraíso), de Arauca (Colombia), por todas las facilidades ofrecidas para realizar el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

Carrascal, VJ; Linares, AJ; Chacón, PJ. 2011. Comportamiento del *Hydrochoerus hydrochaeris isthmus* en un sistema productivo del

departamento de Córdoba, Colombia. Revista MVZ Córdoba 16(3):2754–2764.

Chacón, J; Linares, JC; Carrascal, JC; Ballesteros, J. 2013. Área de acción del chigüiro (*Hydrochoerus isthmus*) en un sistema agropecuario en Córdoba, Colombia. Revista Colombiana de Ciencia Animal 5(2):270–281.

Cueto, GR. 1999. Biología reproductiva y crecimiento del carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*) en cautiverio: una interpretación de las estrategias poblacionales. Universidad de Buenos Aires.

da Silva, NAM; de Aquino, LH; e Silva, FF; de Oliveira, AIG. 2004. Curvas de crecimiento e influência de fatores não-genéticos sobre as taxas de crescimento de bovinos da raça Nelore (en línea). Ciência e Agrotecnologia 28(3):647-654. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en <http://bit.ly/39ShZBo>

Domínguez-Viveros, J; Rodríguez-Almeida, FA; Nuñez-Domínguez, R; Ramírez-Valverde, R; Ortega-Gutierrez, JA; Ruiz-Flores, A. 2013. Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos tropicame. Agrociencia 47(1):25–34.

González, JA; González, AO; Santa Cruz, AC; Ortiz, JC; Comolli, JA; Roux, JP; Toccalino, PA; Navías, JC; Cayo, DO. 2003. Aislamiento de *Trypanosoma evansi* en carpincho (*Hydrochaeris hydrochaeris*) en cautiverio, de la provincia del Chaco, Argentina (en línea). In Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, UNNE (10, 2003, Corrientes, Argentina). Resumen. Córdoba, Argentina. Sitio argentino de producción animal. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en <http://bit.ly/39RaSc7>

Guimarães, L; Rodrigues, F; Scotti, M. 2014. Strategies for herbivory mitigation by capybaras *Hydrochoerus hydrochaeris* in a riparian forest under restoration in the São Francisco river basin Brazil. Wildlife Biology 20(3):136–144.

Hammer, Ø; Harper, DAT; Ryan, PD. 2001. PAST v. 2.17c. Palaeontologia Electronica 4(1):1–229.

- Howland, HC; Merola, S; Basarab, JR. 2004. The allometry and scaling of the size of vertebrate eyes. *Vision Research* 44(17):2043–2065.
- Lôbo, RNB; Villela, LCV; Lobo, AMBO; Passos, JR de S; de Oliveira AA. 2006. Parâmetros genéticos de características estimadas da curva de crescimento de ovinos da raça Santa Inês (en línea). *Revista Brasileira de Zootecnia* 35(3). Consultado 20 feb. 2018. Disponible en <http://bit.ly/2wRD5kC>
- Miglino, MA; dos Santos, TC; Kanashiro, C; Ferraz, RH. 2013. Morphology and reproductive physiology of female capybaras. *In* Moreira, JR; Ferraz, KMP, Herrera EA; Macdonald, DW (eds.). *Capybara*. New York, EEUU, Springer. p. 131-146.
- Motulsky, H; Christopoulos, A. 2003. Fitting Models to Biological Data using Linear and Nonlinear Regression. A practical guide to curve fitting (en línea). San Diego, EEUU. 351 p. Consultado 10 ene. 2018. Disponible en <http://bit.ly/38OtYyj>
- Ojasti, J. 2003. Bibliografía comentada sobre el chigüire en Venezuela. *Acta Biológica Venezuelica* 23(4):43–68.
- Ojasti, J. 1973. Estudio biológico del chigüire o capibara. Caracas, Venezuela. Ediciones del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 273 p.
- Payandeh, B. 1983. Some applications of nonlinear regression models in forestry research. *Forestry Chronicle* 59(5):244–248.
- Resoagli, JM; Cao, JA; Fernández, JA; Bode, FF. 2016. Descripción anatómica de la musculatura del miembro pelviano del “carpincho” (*Hydrochoerus hydrochaeris*). *Revista veterinaria* 27(1):36–40.
- Rodríguez, J; Peña, M; Góngora, A; Murillo, R. 2012. Obtención y evaluación del semen de capibara *Hydrochoerus hydrochaeris*. *Revista MVZ Córdoba* 17(2):2991–2997.
- Santa Cruz, AC; Sarmiento, NF; González, JA; Comolli, JA; Roux, JP. 2005. Parásitos gastrointestinales de carpincho (*Hydrochaeris hydrochaeris*) del criadero “Marchi-E”, Baradero, provincia de Buenos Aires, Argentina (en línea). *In* Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, UNNE (12, 2005, Corrientes, Argentina). Resumen. Córdoba, Argentina. Sitio argentino de producción animal. Consultado 20 feb. 2018. Disponible en <http://bit.ly/2TQ0tI4>
- Torres, V; Meyer, BR; Noda, A; Sarduy, L. 2012. Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(4):345–350.
- Ulloa, AR. 2005. Distribución del hábitat del chigüire (*Hydrochaeris hydrochaeris*; Linnaeus 1766) en sabanas inundables de la Estación Biológica el Frío, Venezuela. Tesis Lic. Mérida, Venezuela, ULA. 92 p.