

**Condición corporal de machos de *Oophaga pumilio*
(Anura: Dendrobatidae) en relación con elementos del hábitat en la
Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica**

**Body condition of *Oophaga pumilio* males
(Anura: Dendrobatidae) related to habitat elements at
La Selva Biological Station, Sarapiquí, Costa Rica**

Diego A. Gómez-Hoyos¹, José F. González-Maya^{2,3}

Resumen

Los dendrobatidos son especies de anfibios que presentan una marcada territorialidad y un comportamiento reproductivo y cuidado parental elaborado. Algunos estudios en la familia han indicado que la competencia por recursos reproductivos y de hábitat podría estar relacionada con la condición corporal de los machos, aquellos individuos con mejor condición se verán favorecidos para sitios con mayor disponibilidad de hembras y recursos para la reproducción; sin embargo, hasta la fecha esta hipótesis no ha sido del todo explorada. Determinamos la relación entre la condición corporal de machos, por medio de la medición del AFT y elementos del hábitat relacionados con la reproducción de una población de *Oophaga pumilio* en la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica. El tipo de vegetación y el número de bromelias fueron las variables más explicativas de la condición corporal. Los resultados respaldan que la condición corporal está relacionada con la territorialidad en machos, favoreciendo aquellos en mejor condición para las zonas con mayor disponibilidad de recursos para la reproducción.

Palabras clave: Amphibia, Rana venenosa, Recurso reproductivo, Territorialidad.

Abstract

Dendrobatids are amphibian species that exhibit marked territoriality and elaborated parental care and reproduction. Some studies have indicated that competition for reproductive and habitat resources could be related to the body condition of males, favoring those individuals with better condition for sites with greater availability of females and resources for reproduction; however, to date this hypothesis has not been fully explored. We determine the relationship between body condition, by measuring the AFT, and habitat features related to reproduction in a population of *Oophaga pumilio* at La Selva Biological Station, Heredia, Costa Rica. Vegetation type and number of bromeliads were the only explanatory variables of body condition. The results support that body condition is related to territoriality in males favoring those in better condition with areas with more resources available for reproduction.

Keywords: Amphibia, Poison frog, Reproductive resource, Territoriality.

Los dendrobatidos son ranas venenosas aposemáticas de hábito diurno que exhiben comportamiento reproductivo y cuidado parental elaborado, así como territorialidad marcada (Caldwell y Carmoniza

de Araújo 1998, Vences *et al.* 2003). Esta última característica está asociada con la reproducción y puede estar representada en vocalizaciones o comportamientos de combate físico entre machos (Pröhl 2005),

¹ Grupo de Investigación y Asesoría en Estadística, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.
e-mail: dagomez@uqvirtual.edu.co

² The Sierra to Sea Institute & ProCAT Colombia, Bogotá, Colombia. e-mail: jfgonzalezmay@gmail.com

³ Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste AC, Tabasco, México & Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, México DF, México.

Fecha recepción: Diciembre 22, 2013

Fecha aprobación: Marzo 26, 2014

Editor asociado: Mantilla H

donde estos defienden sitios de vocalización así como lugares de cortejo y oviposición, lo que puede incrementar su acceso a las hembras (McVey *et al.* 1981, Pröhl 2005).

En algunas especies, como *Oophaga pumilio*, la territorialidad puede estar relacionada con la reproducción en machos (McVey *et al.* 1981), así como el cuidado parental y sitios de desarrollo larval en las hembras (Haase y Pröhl 2002). Los machos defienden territorios con sitios para actividades de vocalización y para la oviposición, así como con disponibilidad de las bromelias (McVey *et al.* 1981, Donnelly 1989), su disposición espacial depende de la distribución de las hembras, que a su vez están asociadas con sitios de desarrollo larval (Pröhl y Berke 2001). Los machos de *O. pumilio* compiten vigorosamente por áreas con alta densidad de hembras (Pröhl y Berke 2001), lo que implica que estos tengan mejor condición corporal respecto a los machos de áreas con menor densidad (Meuche *et al.* 2012). De acuerdo con Meuche *et al.* (2012) los machos con valores más altos de condición corporal podrían entonces establecer territorios con mayor densidad de hembras y alta competencia intrasexual, sin embargo, a la fecha no existe información específica para la especie que sustente esta hipótesis. A pesar de su amplia distribución, múltiples aspectos de la ecología reproductiva de *O. pumilio* aún per-

manecen sin resolver; el objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre la condición corporal de machos de *O. pumilio* y elementos del hábitat relacionados con su reproducción en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica.

Entre el 5 y 7 de agosto de 2013 se realizaron capturas de machos de *O. pumilio* que vocalizaban activamente en la Estación Biológica La Selva (EBLS), Puerto Viejo de Sarapiquí, provincia de Heredia, Costa Rica (Lieberman 1986). La EBLS se ubica en la región Caribe de Costa Rica ($10^{\circ}25' N$ y $84^{\circ}00' W$) y comprende un rango de 30 a 135 m de elevación. La precipitación anual es de 4.000 mm y la temperatura oscila entre $24,7$ y $27,1^{\circ}C$ (Sanford *et al.* 1994), con formaciones vegetales sobre todo de bosque húmedo tropical. El área está representada principalmente por bosque maduro y secundario, así como por pequeñas áreas de plantaciones forestales y cultivos abandonados (Whitfield *et al.* 2007). Las inspecciones en busca de machos de *O. pumilio* se realizaron en el área de bosque maduro ($10^{\circ}25'59.4'' N$ y $84^{\circ}00'24.4'' W$) y en una plantación forestal de *Hyeronima alchorneoides* con alrededor de 25 años de edad ($10^{\circ}26'17.3'' N$ y $84^{\circ}00'45.0'' W$).

Las búsquedas se realizaron entre las 08:00-11:00 horas y las 14:00-17:00 horas. Al encontrar un individuo vocalizando este fue capturado y fotografiado



Figura 1. Medición del área fémur-tibia (AFT) de un macho de *O. pumilio* en la Estación Biológica La Selva, Costa Rica.

con la extremidad posterior izquierda extendida en una escala de medición (Figura 1), esto con el fin de hallar el área fémur-tibia (AFT) la cual fue calculada con ayuda del programa ImageJ (US National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). Como los métodos tradicionales para medir la condición corporal de los animales son en general invasivos, para anfibios se recomienda evaluar la condición corporal utilizando métodos no destructivos (Bancila *et al.* 2010). Usualmente, se proponen medidas de tamaño relacionadas con el peso del individuo (Bancila *et al.* 2010), sin embargo, esto es poco práctico para especies de anfibios de pequeña talla, porque generalmente se carece de instrumentos con una medición precisa en campo. Por tal razón, escogimos el AFT como una variable que refleja la condición corporal de los machos, siendo esta funcional para especies de pequeño tamaño como *O. pumilio* y logísticamente viable para mediciones directas en campo. También en los sitios de captura se registraron tres variables principales: profundidad de la hojarasca, el número de bromelias hasta una altura de 5 m, y la presencia o no de hembras en un área de 4 m².

Para determinar la relación entre la condición corporal de machos de *O. pumilio* y los elementos del hábitat se generaron modelos de regresión múltiple que incluyeron como variables explicativas el tipo de bosque, las variables relacionadas con recurso reproductivo y la presencia o no de hembras. Además, se generó un modelo nulo que se utilizó para comparar con los demás modelos y determinar si existe o no relación de elementos del hábitat con la condición corporal de los machos. La comparación entre modelos se realizó bajo el criterio de información de Akaike corregido (AICc; *Akaike Information Criterion corrected*, por sus siglas en inglés) el cual

también fue utilizado para elegir el modelo al que mejor se ajustan los datos, indicando el modelo más verosímil y con mejor desempeño (Burnham y Anderson 2002). Los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete Deducer en el lenguaje R v. 3.0.2 (R Core Team 2013).

Se registraron un total de 49 machos de *O. pumilio* vocalizando activamente, de los cuales 28 fueron capturados en la plantación forestal. En el área de bosque 38,1% de los territorios de los machos presentó hembras, mientras que en el área de plantación fue 39,3%. La hojarasca en el bosque tuvo un promedio de 2,26±1,49 cm de profundidad, frente a 3,75±3,04 cm en la plantación. Por su parte, el número de bromelias promedio fue de 0,9±1,37 y 0,46±1,1 en el bosque y la plantación, respectivamente.

El AFT promedio fue de 36,17±4,97 mm² y 33,22±2,68 mm² para el bosque y plantación, respectivamente. El modelo que mejor se ajustó a los valores de AFT es el que tuvo en cuenta el tipo de vegetación y el número de bromelias como variables explicativas (Tabla 1). Los machos de la plantación presentaron hasta 2,47 mm² menos de AFT en comparación con los del bosque maduro (Figura 2) y existe cierta tendencia a que haya machos con mayor AFT (coeficiente 1,09) al aumentar el número de bromelias en el bosque (Figura 3).

La condición corporal en machos de *O. pumilio* representada con el área fémur-tibia (AFT) fue mayor en bosque maduro respecto a plantación forestal. Estos resultados no coinciden con lo encontrado por Meuchel *et al.* (2012) en la población de la Reserva Biológica Hitoy-Cerere en Costa Rica, donde los machos con valores más altos en la condición corporal establecieron territorios con mayor densidad de hembras y alta competencia intrasexual. Sin

Tabla 1. Modelos generados para explicar la variación del AFT de los machos de *O. pumilio* y variables de hábitat, en dos tipos de vegetación de la Estación Biológica La Selva, Costa Rica. AICc: *c*AIC; *Akaike Information Criterion corrected*.

Modelo	AICc	ΔAICc	Peso AICc	k
Tipo vegetación + bromelias	271,0	0,0	0,7587	4
Tipo vegetación	275,0	4,0	0,1024	3
Global	276,0	5,0	0,0629	6
Hojarasca + bromelias	276,0	5,0	0,0627	4
Nulo	279,7	8,7	0,0098	2
Hembras	281,8	10,8	0,0035	3

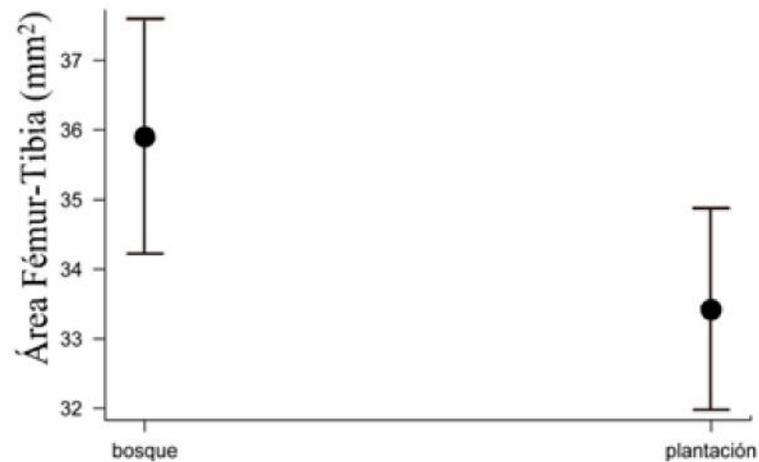


Figura 2. Estimación del área fémur-tibia (AFT) de *O. pumilio* para bosque maduro y plantación forestal en la Estación Biológica La Selva. Punto: promedio, intervalos de confianza 95%.

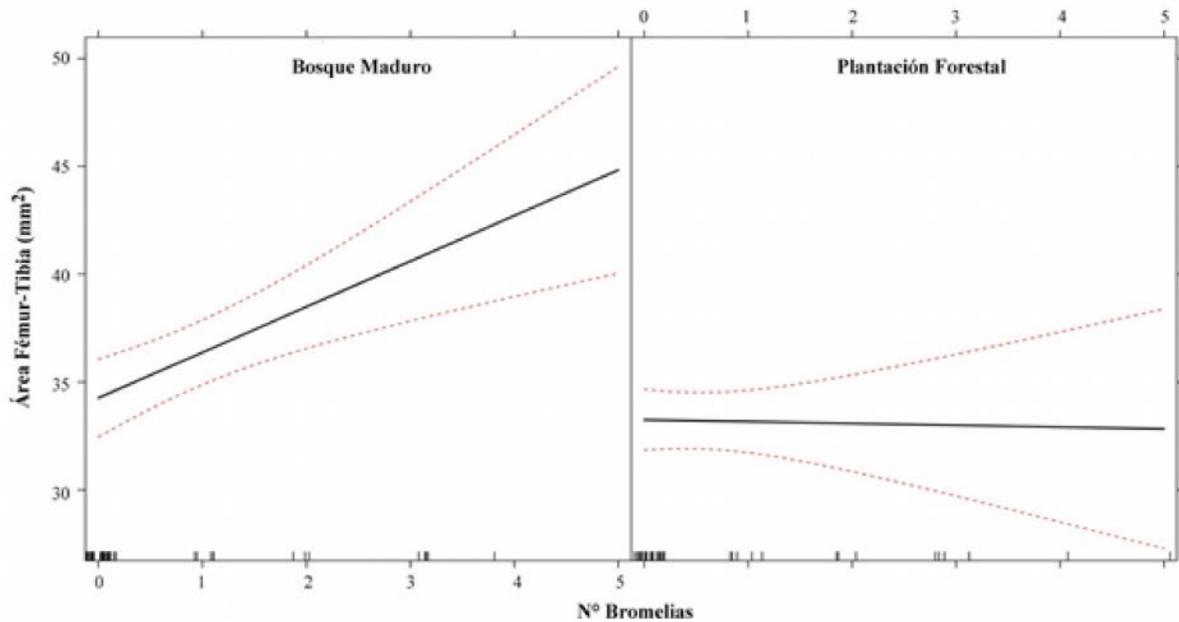


Figura 3. Efecto del número de bromelias en bosque maduro y plantación forestal sobre el AFT de machos vocalizando activamente en la Estación Biológica La Selva. Línea continua negra y línea punteada, promedio e intervalos de confianza 95%.

embargo, esta diferencia no es concluyente, quizás debido a que el cálculo de la condición corporal en este estudio difiere del realizado por Meuchel *et al.* (2012). Adicionalmente, los machos tuvieron mayor AFT en áreas con mayor número de bromelias en el bosque, debido posiblemente a que este recurso reproductivo conduce a un incremento en la territorialidad (Donnelly 1989) y por tanto está relacionado con la condición física y corporal de los indivi-

duos en competencia por los territorios. Esto supone que los machos con mejor condición corporal podrán defender mejor los territorios que ofrecen mayor cantidad de recursos. Por el contrario, la presencia de hembras no explicó la condición corporal de los machos vocalizando activamente, contrario a lo encontrado por Pröhl y Berke (2001), quienes hallaron que los machos compiten vigorosamente por áreas con alta densidad de hembras, lo que sugiere

que estos machos deberían presentar igualmente una mejor condición corporal respecto a los machos de áreas con menor densidad (Meuche *et al.* 2012).

De acuerdo a Donnelly (1989) la hojarasca no es un recurso limitante para los adultos de *O. pumilio* en la población de la Estación Biológica La Selva. Los resultados del estudio actual apoyan este planteamiento, porque la hojarasca, en términos cuantitativos, no fue una variable que estuviera relacionada con el AFT de los machos que se encontraban vocalizando activamente. En este sentido, este tipo de medición no necesariamente refleja la verdadera importancia de la variable en la selección de estos sitios, donde, al parecer esta puede ofrecer refugio a machos de la especie.

A pesar de que los resultados del presente estudio no son concluyentes por el tamaño muestral, la información obtenida aporta una nueva aproximación al problema y difiere de resultados anteriores, a la vez que refleja la importancia de la condición corporal en los procesos de selección sexual y territorialidad de la especie, lo que tiene implicaciones importantes en términos de la dinámica poblacional de la especie y en términos del desempeño de la población de acuerdo con determinantes del hábitat.

Agradecimientos

A los revisores y editores por sus asistencia en el proceso. A J. Sáenz por revisar una versión preliminar y A. Arias-Alzate por su revisión de la versión final del manuscrito.

Literatura citada

Burnham KP, Anderson DR (eds.). 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. New York: Springer-Verlag.

- Bancila RI, Hartel T, Plaiasu R, Smets J, Cogalniceanu D. 2010. Comparing three body condition indices in amphibians: a case study of yellow-bellied toad *Bombina variegata*. *Amphibia-Reptilia*. 31: 558-62.
- Caldwell JP, Carmozina de Araújo M. 1998. Cannibalistic interactions resulting from indiscriminate predatory behavior in tadpoles of poison frogs (Anura: Dendrobatidae). *Biotropica*. 30 (1): 92-103.
- Donnelly MA. 1989. Demographic effects of reproductive resource supplementation in a territorial frog, *Dendrobates pumilio*. *Ecol Monogr*. 59: 207-21.
- Haase A, Pröhl K. 2002. Female activity patterns and aggressiveness in the strawberry poison frog *Dendrobates pumilio* (Anura: Dendrobatidae). *Amphibia-Reptilia*. 23: 129-40.
- Lieberman SS. 1986. Ecology of the leaf-litter herpetofauna of a neotropical rain forest: La Selva, Costa Rica. *Acta Zool Mex*. 15: 1-72.
- McVey ME, Zahary RG, Perry D, MacDougal J. 1981. Territoriality and homing behavior in the poison dart frog (*Dendrobates pumilio*). *Copeia*. 1981: 1-8.
- Meuche I, Linsenmair KE, Pröhl H. 2012. Intrasexual competition, territoriality and acoustic communication in male strawberry poison frogs (*Oophaga pumilio*). *Beh Ecol Sociobiol*. 66: 613-21.
- Pröhl H. 2005. Territorial behavior in Dendrobatid frogs. *J Herpetol*. 39: 354-65.
- Pröhl H, Berke O. 2001. Spatial distributions of male and female strawberry poison frogs and their relation to female reproductive resources. *Oecologia*. 129: 534-42.
- R Core Team. 2013. R: *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. URL disponible en: <http://www.R-project.org/>
- Sanford RL, Paaby P, Luvall JC, Phillips E. 1994. Climate geomorphology and aquatic systems. En: *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rainforest*. McDade LA, Bawa KS, Hespeneide HA, Hartshorn GS (eds.). Chicago: The University of Chicago. pp. 19-33.
- Vences M, Kosuch J, Boistel R, Haddad CBF, La Marca E, Veith M. 2003. Convergent evolution of aposematic coloration in Neotropical poison frogs: a molecular phylogenetic perspective. *Org Divers Evol*. 3: 215-26.
- Whitfield SM, Bell KE, Philippi T, Sasa M, Bolaños F, Chaves G. 2007. Amphibian and reptiles declines over 35 years at La Selva, Costa Rica. *Proc Nat Acad Sci*. 104: 8352-6.