

Identificación de individuos de jaguares (*Panthera onca*) y pumas (*Puma concolor*) a partir de morfometría de sus huellas (Carnivora: Felidae)

Emiliana Isasi-Catalá¹ & Guillermo R. Barreto²

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Biología de Organismos, Apdo 89000; Caracas 1080-A, Venezuela;

1. zmiliana@gmail.com,
2. guibarre@usb.ve

Recibido 27-VII-2007. Corregido 30-VI-2008. Aceptado 31-VII-2008.

Abstract: Identification of individual jaguars (*Panthera onca*) and pumas (*Puma concolor*) based on footprint morphometry (Carnivora: Felidae). Estimating feline abundance becomes particularly difficult, sometimes impossible, due to their elusive behavior and extensive space requirements. Available techniques are expensive and/or poorly efficient, therefore alternative methods are needed. The objective of this study was to assess the possibility of identifying individual jaguars and pumas based on morphometric analyses of their tracks. The footprints of five jaguars and four pumas were drawn and the foot (hind or fore foot, left or right foot) and the substrate were recorded. We took 16 measures from each footprint including lengths, widths, areas and angles. Variables were analyzed by using Principal Component Analysis (PCA) and substituted by the first Principal Component (PC) (> 70 % variance). We assessed the effect of the substrate and type of foot by means of paired t-student tests, and found differences between fore and hind feet and footprints from the same individual when made on soil or sand. No differences were found between right or left feet. The footprints changed over time as revealed by Multiple ANOVA. Different individuals could be identified based on discriminant analyses with more than 70 % confidence. We conclude that this method is feasible and can be useful when studying endangered felines. Rev. Biol. Trop. 56 (4): 1893-1904. Epub 2008 December 12.

Key words: abundance estimation, felines, footprints, morphometrics, *Panthera onca*, *Puma concolor*.

El jaguar, *Panthera onca* (Linnaeus 1758), y el puma, *Puma concolor* (Linnaeus 1771), son los felinos depredadores más grandes de América. Su distribución original comprendía el Norte, Centro y Sur de América, desde los cero hasta los 3000 m sobre el nivel del mar (Currier 1983, Franklin *et al.* 1999, Seymour 1989, Swank y Teer 1989, Rodríguez y Rojas-Suárez 1999). Se encuentran amenazados principalmente por la pérdida y destrucción de hábitat, la cacería indiscriminada de sus presas naturales y los conflictos con los humanos (Currier 1983, Hoogesteijn *et al.* 1992, Swank y Teer 1992, Nowell y Jackson 1996, Johnson *et al.* 2001), por lo que han sido catalogados por la Unión Mundial para la Conservación (IUCN, por sus siglas en inglés) como especies

amenazadas (yaguar *Casi Amenazada* y puma *Preocupación Menor*) (Jackson 1992, Johnson *et al.* 2001, Rodríguez y Rojas-Suárez 1999).

Las medidas de conservación sugeridas incluyen la ejecución de programas de seguimiento de las poblaciones (Crawshaw 1992, Jackson 1992, Rabinowitz 1992, Mondolfi y Hoogesteijn 1992), que abarquen la determinación de su ámbito de distribución, obtención de parámetros poblacionales y datos biológicos, evaluación del uso y disponibilidad del hábitat y el seguimiento del conflicto con humanos (Swank y Teer 1992, Nowell y Jackson 1996, Wikramanayake 1998).

Sin embargo, la mayoría de los depredadores terrestres, particularmente los felinos, son crípticos, nocturnos y solitarios, tienen grandes

áreas de acción y bajas densidades poblacionales, así como un comportamiento que dificulta su detección (Currier 1983, Mondolfi y Hoogesteijn 1986, Seymour 1989, Novell y Jackson 1996, Grigione *et al.* 1999, Gese 2001). Por tanto, el estudio de sus poblaciones requiere técnicas que permitan su seguimiento sin la necesidad de observarlos directamente.

Existen diferentes técnicas disponibles para estimar la abundancia de yaguares y pumas, como la telemetría y la detección por foto-trampas (Karanth y Nichols 1998, Carbone *et al.* 2001, Jennelle *et al.* 2002, Karanth *et al.* 2003, Scott *et al.* 2004 y Soásalo y Cavalcanti 2006). Aunque estos métodos han mostrado buenos resultados, resultan muy costosos y difíciles de implementar, por lo que es necesario recurrir a otras herramientas.

El método más antiguo para determinar la presencia de mamíferos es probablemente el estudio de rastros como huellas, heces, orine, marcas de uñas y restos de presas (Bider 1968). Las huellas son un reflejo de las patas de los animales (Panwar 1979, Grigione *et al.* 1999); el tamaño y peso de cada animal produce variaciones en sus extremidades y en consecuencia en sus huellas, lo cual las hace, en conjunto diferentes a las de cualquier otro individuo (Aranda 1992). Las huellas han sido utilizadas para distinguir entre especies o sexo, y para determinar presencia o ausencia de felinos, lo cual ha permitido establecer la distribución de las especies o la intensidad de uso de un área o hábitat específico (Crawshaw 1992, Karanth y Nichols 1998, Grigione *et al.* 1999, McDougal 1999, Gese 2001).

Las primeras estimaciones de abundancia de felinos a partir de la identificación de sus huellas fueron realizadas en Nepal e India con *Panthera tigris* (Karanth 1999), basados en comparaciones cualitativas de las huellas (identificación de deformaciones de dedos, presencia de marcas o cicatrices), por lo que no produjeron estimaciones confiables. Posteriormente Sale y Berk Müller (1988), Riordan (1998) y Grigione *et al.* (1999) propusieron la incorporación de variables cuantitativas (relacionadas con el largo, ancho, área y ángulos de las

huellas), para caracterizar su talla y forma, obteniéndose una mejor y más confiable identificación de individuos. Sin embargo, el método no ha sido ampliamente utilizado, pues debe ser mejorado y probado con otras especies.

El desarrollo y perfeccionamiento de técnicas de seguimiento no invasivas, como el análisis de huellas puede ser fundamental para el estudio de grandes carnívoros terrestres, pues son relativamente fáciles de implementar, de bajo costo y capaces de proporcionar una gran cantidad de información sobre las especies bajo estudio (Grigione *et al.* 1999, Nowell y Jackson 1996).

En este trabajo se estudió la capacidad de identificar individuos de yaguares y pumas a partir del análisis morfométrico de sus huellas, como un método alternativo para la estimación de la abundancia de estos felinos. En el estudio se analizó el efecto de algunos factores importantes para el funcionamiento del método (sustrato, tipo de pata y edad de la huella), a partir de mediciones de largos, anchos, áreas, ángulos y proporciones de huellas de animales en cautiverio. El método de identificación de individuos propuesto resultó una alternativa para el estudio de la abundancia de yaguares y pumas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de huellas: Se recolectaron huellas de cuatro yaguares (un macho adulto, dos hembras adultas y una hembra juvenil) y tres pumas machos adultos en cautiverio en los Parques Zoológicos Caricuao (Caracas) y Las Delicias (Maracay) en Venezuela. La toma de huellas se realizó en las jaulas de exhibición de los animales individuales, en las cuales se colocaron cajas (1 x 0.75 x 0.15 m) empotradas en el suelo y llenas con los dos sustratos estudiados: tierra y arena.

Se incluyeron huellas de un yaguar y un puma adultos recolectadas en el Hato El Socorro, Edo. Cojedes, entre Abril y Agosto del año 2001.

Las huellas fueron dibujadas en láminas de acetato colocadas sobre una lámina de PVC

transparente, con la cual se evitó su deterioro por contacto. Para cada huella se registró la especie, el individuo al que pertenecía la huella, el sustrato en el que fue marcada y el tipo de pata (delantera o trasera y derecha o izquierda) que originó la huella. Las patas delanteras y traseras se diferencian fácilmente por su tamaño, siendo las delanteras considerablemente más grandes que las traseras. La identificación de patas derechas e izquierdas se basa en la orientación de los dedos respecto al talón (Crawshaw 1992). En todos los casos las huellas no fueron de más de un día de antigüedad y únicamente se dibujaron las huellas que se encontraron en buen estado. En total se registraron 276 huellas de yaguares y 198 de pumas, las cuales incluían al menos una huella de cada pata por cada sustrato, para cada individuo.

Identificación de individuos a partir de sus huellas: Las huellas obtenidas se utilizaron para estudiar la efectividad del método de identificación propuesto originalmente por Panwar (1979) y por Sale y Berkmüller (1988). Se realizaron un total de 13 mediciones por huellas (Fig. 1) de acuerdo a Crawshaw (1992), Smallwood y Fitzhugh (1993) y Grigione *et al.* (1999). Se incluyeron tres variables de proporción definidas como (Fig. 1): longitud total de la huella entre ancho total de la huella (LTH/ATH), área del talón entre área del segundo dedo (K/H) y ancho total de la huella entre ancho del talón (ATH/D). Los ángulos se midieron con un transportador de 0.1 cm de precisión y las mediciones longitudinales se realizaron utilizando un vernier de 0.01 cm de precisión. Para tomar las mediciones de áreas se digitalizaron los dibujos de las huellas y se midieron utilizando el programa SigmaScan Pro 5. (Systat Software, Inc. 1999).

Las huellas fueron agrupadas por especie, sustrato y por tipo de pata obteniéndose 16 conjuntos de huellas. La normalidad y la homocedasticidad de cada variable fue probada en cada conjunto, obteniéndose un alto grado de colinealidad entre variables que representaban largos, anchos o áreas. Para cada uno de estos

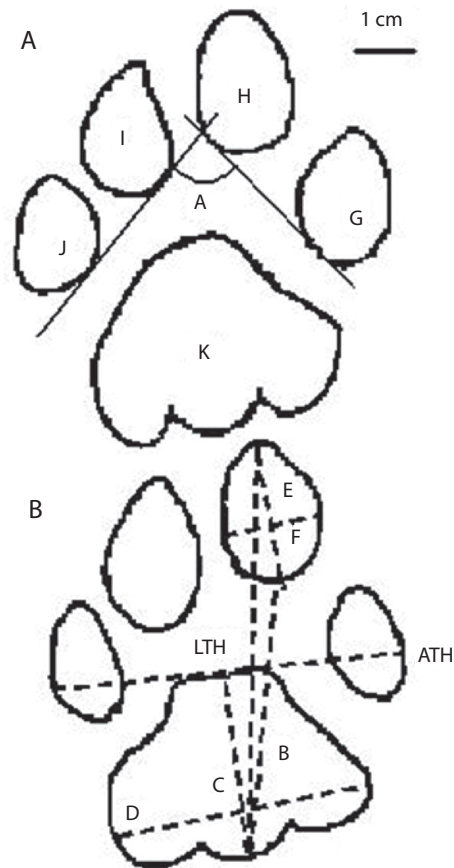


Fig. 1. Pata delantera y trasera izquierda de un puma (*Puma concolor*) mostrando las 13 variables medidas sobre cada huella. A: ángulo formado entre los dedos, B: longitud talón-segundo dedo, C: largo del talón, D: ancho del talón, E: largo del segundo dedo, F: ancho del segundo dedo, ATH: ancho total de la huella, LTH: largo total de la huella, G: área del primer dedo, H: área del segundo dedo, I: área del tercer dedo, J: área del cuarto dedo y K: área del talón (Siguiendo a Crawshaw 1992, Smallwood y Fitzhugh 1993 y Grigione *et al.* 1999). En este trabajo se plantean como parámetros adicionales para la identificación de individuos las proporciones: LTH/ATH , K/H y ATH/D .

Fig. 1. Puma (*Puma concolor*) fore and hind footprint showing the 13 variables measured. A: angle between pair of toes, B: heel-second toe length, C: heel length, D: heel width, E: second toe length, F: second toe width, ATH: total footprint width, LTH: total footprint length, G: first toe area, H: second toe area, I: third toe area, J: fourth toe area and K: heel area (following Crawshaw 1992, Smallwood y Fitzhugh 1993 and Grigione *et al.* 1999). Additional measures used here are the proportions LTH/ATH , K/H and ATH/D .

conjuntos de variables se realizó un Análisis de Componentes Principales, tomando los componentes principales (combinación lineal de las variables originales) que representarían los mayores niveles de varianza como nuevas variables, eliminándose el efecto de la colinealidad. Finalmente se obtuvieron siete variables: *Largos*, *Anchos*, *Áreas*, *A*, *LTH/ATH*, *K/H* y *ATH/D*.

Efecto del sustrato y del tipo de pata:

Para determinar si el sustrato o el tipo de pata afectan la capacidad del método de identificación de individuos, se compararon por individuo las huellas registradas de patas derecha e izquierda tanto para las patas delanteras como para las traseras por cada sustrato, luego se compararon las huellas de patas delanteras y traseras por sustrato y finalmente las huellas marcadas en cada sustrato por patas delanteras y patas traseras. Las comparaciones se realizaron para cada variable medida a partir de pruebas t-pareadas de dos colas ($\alpha/2 = 0.025$).

A partir de estos análisis se determinó el efecto de cada uno de los factores estudiados (sustrato o el tipo de pata). En aquellos casos en los que la varianza del factor no resultó importante se procedió a agrupar las huellas por los factores: sustrato (tierra o arena) y patas (delanteras o traseras).

Efecto de la edad de la huella: Se estudió el efecto del tiempo en la morfología de las huellas a partir de la cuantificación de las variaciones morfológicas de una misma huella a lo largo del tiempo en tres sustratos: arena, tierra y barro. Para ello se colocaron los tres tipos de sustrato en tres cajas de 1 x 0.75 x 0.15 m aproximadamente. Utilizando moldes de yeso obtenidos a partir de las huellas de un mismo individuo, se realizaron tres impresiones idénticas de cada pata (delanteras, traseras, derechas e izquierdas) por cada sustrato (arena, tierra y barro), obteniéndose un total de doce huellas por caja. Las cajas se colocaron al aire libre, pero protegidas de la lluvia. Se realizaron dibujos de estas huellas cada 24 horas durante ocho días. Las huellas fueron medidas y las

variables transformadas tal como fue descrito previamente.

Se realizó una prueba paramétrica de Varianza Múltiple o una prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar los posibles cambios en talla o forma de cada huella con relación a las medidas tomadas para la misma huella en el tiempo cero (primer día de la prueba) según el sustrato y tipo de pata.

Discriminación de individuos: Se realizaron Análisis Discriminantes para cada nuevo conjunto de huellas con la finalidad de comprobar la capacidad del método para ordenar a los diferentes individuos a partir de sus huellas ($\alpha_{\text{entrar}} = 0.05$ y $\alpha_{\text{sacar}} = 0.05$). En el caso de incumplimiento del supuesto de homogeneidad de covarianza se realizaron los análisis considerando los grupos por separado.

Los análisis se llevaron a cabo para yaguares y pumas por separado ya que las huellas pueden ser diferenciadas a simple vista. De esta manera se quería verificar la capacidad del método para separar a los diferentes individuos dentro de una misma especie.

RESULTADOS

Se obtuvieron 474 huellas utilizables para identificar individuos, 276 huellas de cinco yaguares y 198 de cuatro pumas.

Identificación de individuos a partir de sus huellas: Los análisis de regresión múltiple revelaron un alto porcentaje de dependencia entre las variables, por lo que se realizaron análisis de componentes principales (ACP) para agrupar las variables que representarían áreas, largos y anchos. Se seleccionó el primer componente principal como una nueva variable, obteniéndose tres variables que denominamos: *Largos*, *Anchos* y *Áreas*, las cuales representaron 87.0 %, 87.3 % y 90.9 % de la varianza de cada conjunto de variables iniciales. En los tres casos las variables iniciales estaban fuertemente correlacionadas con el primer componente (Pearson $r > 0.5$). Por tanto el sistema quedó definido por siete variables: *A*, *Largo*, *Ancho*, *Área*, *ATH/D*, *LTH/ATH* y *K/H*.

Efecto del sustrato y del tipo de pata:

No se encontraron diferencias entre patas derechas e izquierdas de un mismo individuo en ninguna de las variables consideradas, tanto para yaguas como para pumas (t-pareada $p > 0.025$). Esto indica que es adecuado agrupar las huellas derechas e izquierdas. En contraste, las patas delanteras y traseras resultaron diferentes (t-pareada) al considerarse el *Ancho* ($t_{\text{arena}} = 5.561$, $p = 0.011$ y $t_{\text{tierra}} = 7.589$, $p = 0.002$ para yaguar), *Largo* ($t_{\text{tierra}} = 4.259$, $p = 0.013$ para yaguar), *Área* ($t_{\text{arena}} = 4.951$, $p = 0.016$ y $t_{\text{tierra}} = 11.489$, $p = 0.000$ para yaguar, y $t_{\text{tierra}} = 8.035$, $p = 0.015$ para puma) y *LTH/ATH* ($t_{\text{arena}} = -7.097$, $p = 0.006$ para yaguar). Por tanto, debemos separar cuidadosamente las huellas delanteras y traseras para la identificación de los individuos.

El análisis del efecto del sustrato se realizó únicamente para huellas de yaguar, ya que no se obtuvieron suficientes huellas de puma por individuo. Se encontraron diferencias entre huellas del mismo individuo, dibujadas a partir de arena o tierra (*LTH/ATH*, $t_{\text{trasera}} = -6.994$, $p = 0.006$ y *K/H*, $t_{\text{delantera}} = 5.422$, $p = 0.012$); por lo que también consideramos que las comparaciones de huellas deben realizarse tomando en cuenta el efecto de este factor.

Efecto de la edad de la huella: Se encontraron diferencias entre las huellas por efecto del tiempo para las variables *ATH/D* ($F = 2.266$, $p = 0.024$) y *K/H* ($F = 4.042$, $p = 0.00$) a partir de los Análisis de Varianza Múltiple realizado en cada sustrato y para cada tipo de pata. Estas se deben a cambios registrados entre el día cero y el quinto día de antigüedad de la huella (Tukey, *ATH/D*, $p = 0.023$) y el primer día de antigüedad (Tukey, *K/H*, $p = 0.017$). Para el resto de las variables estudiadas no hubo diferencias de las huellas ($p > 0.05$).

Discriminación de individuos: Para cada conjunto de huellas en la combinación de un sustrato (arena y tierra) y tipo de pata (delantera y trasera) se realizó una ordenación espacial por individuo a partir de las dos primeras funciones discriminates (FD). En general el

porcentaje de varianza acumulado por las dos primeras FD fue aproximadamente un 80 % de la varianza total del sistema encontrándose las variables medidas bien representadas en cada FD (Pearson $r > 0.7$). El resto de las FD no explicaron porcentajes de varianza mayores al 10 %, ni altos niveles de correlación entre las variables, por lo que se redujo el sistema a dos dimensiones.

En cada ordenación se representó el centroide de la distribución espacial de las huellas de cada individuo (Fig. 2 y 3). En la mayoría de los casos los centroides no se solaparon, lo cual indica que a partir de las variables medidas es posible asignar correctamente las huellas al individuo que les dio origen, aún considerando que la clasificación de las huellas no es cien por ciento eficiente. Más del 70 % de las huellas fueron correctamente asignadas (Cuadro 1), lo cual significa que a partir de las variables medidas, el análisis logra identificar individuos con un 70 % de confianza. El porcentaje de huellas solapadas entre dos o más individuos no alcanzó el 25 %. El número de individuos identificados a partir de las huellas fue siempre igual o menor al número de animales experimentales, más nunca mayor a este.

DISCUSIÓN

Para cada especie fue posible la discriminación de los individuos a partir del análisis de sus huellas en base a las variables seleccionadas. A partir del método se logró estimar o en algunos casos subestimar el número de individuos, más en ningún caso se sobreestimó. Resultados similares fueron obtenidos en trabajos de campo realizados en Nepal, Rusia e India, en donde al comparar la estimación de la abundancia de *P. tigris* obtenida a partir del método de identificación de individuos por sus huellas y por muestreos por telemetría y por foto-trampas, se obtuvo que con el primer método se había subestimado el número de individuos en la mayoría de los casos (Karanth 1999). Esto indica que es necesario tomar en cuenta la posibilidad de cometer este error al aplicar el método. Una de las principales

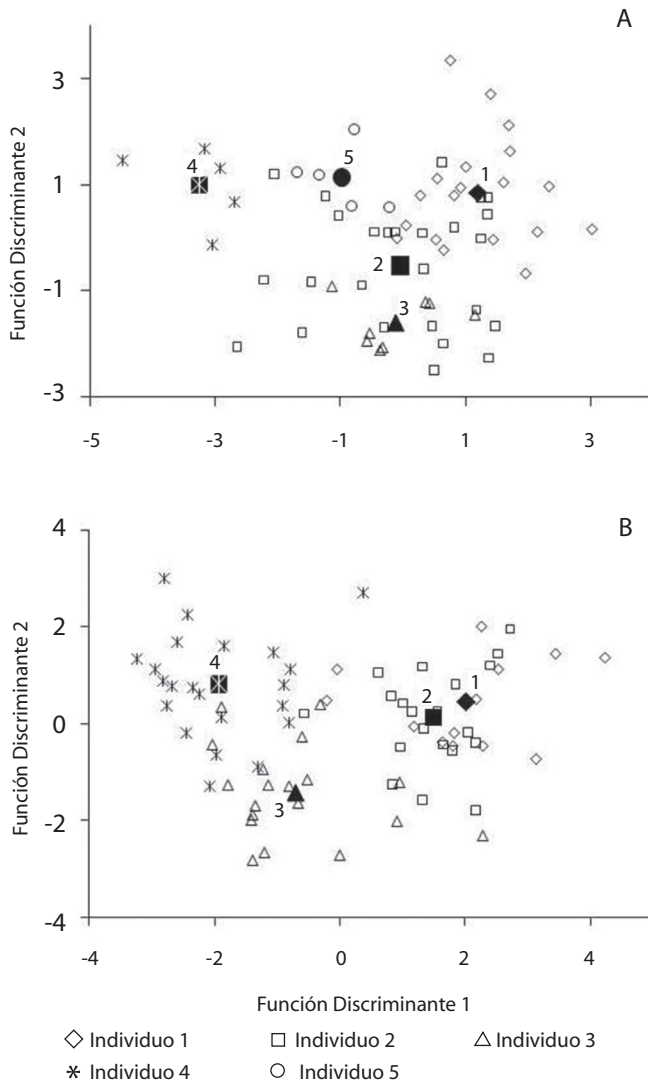


Fig. 2. Representación de las dos primeras funciones discriminantes para: A) huellas de patas delanteras en arena de cinco jaguares (*Panthera onca*) y B) huellas de patas delanteras en tierra de cuatro jaguares. Las huellas de cada individuo están representadas por diferentes símbolos, los símbolos numerados indican los centroides de cada individuo. La discriminación de los individuos a partir de sus huellas se obtiene al no producirse solapamiento de los centroides.

Fig. 2. Two discriminant functions for A) forefeet on sand for five jaguars (*Panthera onca*) and B) forefeet on soil for four jaguars. Footprints from each individual are represented by different symbols. Numbered symbols indicate centroids of each individual. There is discrimination when centroids do not overlap.

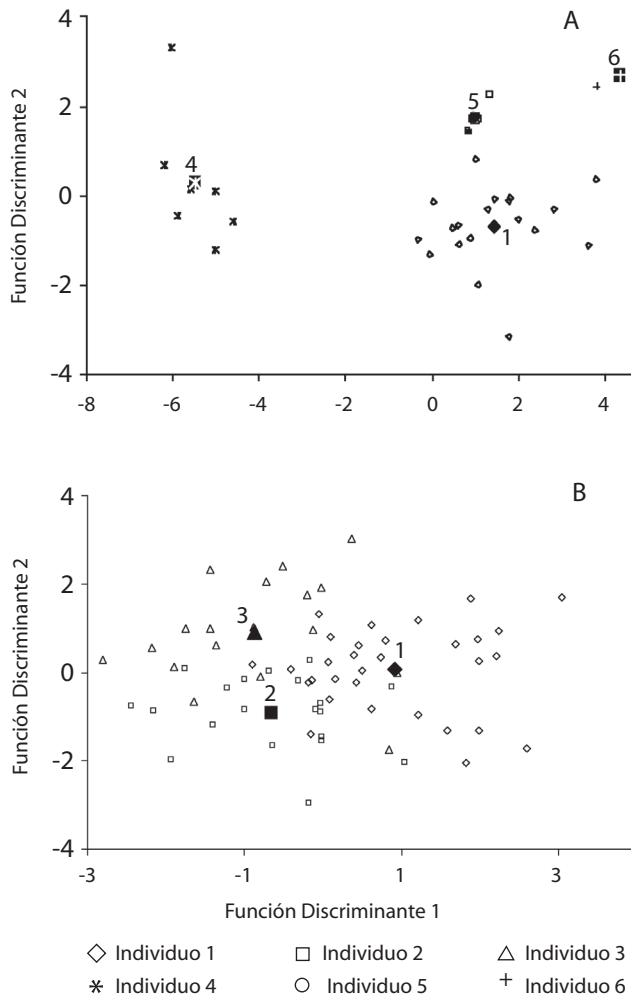


Fig. 3. Representación de las dos primeras funciones discriminantes para: A) huellas de patas traseras en arena de cuatro pumas (*Puma concolor*) y B) huellas de patas traseras en tierra de tres pumas. Las huellas de cada individuo están representadas por diferentes símbolos, los símbolos numerados indican los centroides de cada individuo. La discriminación de los individuos a partir de sus huellas se obtiene al no producirse solapamiento de los centroides.

Fig. 3. Two discriminant functions for A) hind feet on sand for four pumas (*Puma concolor*) and B) hind feet on soil for three pumas. Footprints from each individual are represented by different symbols. Numbered symbols indicate centroids of each individual. There is discrimination when centroids do not overlap.

motivaciones de conocer la abundancia de estos felinos es la formulación de planes de manejo y conservación, en cuyo caso resulta menos peligroso subestimar el número de individuos de un área dada, que sobreestimarlos, por tanto consideramos que este método resulta adecuado para ser aplicado en estudios

con fines de conservación, considerando sus limitaciones.

Los resultados muestran la importancia de tomar en cuenta el sustrato en el que fueron marcadas las huellas, la pata (delantera y trasera) que dio origen a las huellas y la edad de la huella, para lograr esta discriminación. El

CUADRO 1

Porcentaje de varianza explicado por las dos primeras funciones discriminantes (FD) y porcentaje de huellas correctamente clasificadas por el modelo general de un análisis discriminante realizado a partir de huellas de individuos conocidos que se encontraban en cautiverio. El tamaño de las muestras está entre paréntesis

TABLE 1

Percentage variance explained by first and second discriminant functions (FD) and percentage footprints rightly classified by a general model from a discriminant function based on footprints of known individuals kept in captivity. Sample size shown in parenthesis

Especie	Sustrato	Pata	% FD1	% FD2	% Clasificación
Yaguar	Arena	Delantera	55.3	34.3	81.0 (63)
		Trasera	62.8	26.0	87.7 (57)
	Tierra	Delantera	66.5	19.5	90.5 (74)
		Trasera	63.4	21.2	82.7 (81)
Puma	Arena	Delantera	74.0	16.5	78.8 (33)
		Trasera	86.9	9.7	93.5 (31)
	Tierra	Delantera	82.3	17.7	72.7 (66)
		Trasera	59.9	40.1	79.7 (69)

FD funciones discriminantes.

efecto del sustrato sobre la talla y forma de las huellas concuerda con lo esperado y con los resultados obtenidos por otros investigadores. Grigione *et al.* (1999) señala que gran parte de la variabilidad obtenida en las medidas de talla y forma tomadas para las huellas de un mismo individuo, depende principalmente de los sustratos en las que son encontradas estas huellas. Las variaciones reportadas no sólo las atribuye a cambios en la forma y tamaño de las huellas debido a las características de plasticidad del sustrato, sino al grado de definición del contorno de las huellas, ya que esto facilita la toma de las medidas. Por otra parte, Karanth (1999) considera que el problema de sobrestimación de la abundancia de *P. tigris* a partir del conteo e identificación de huellas puede ser atribuido principalmente a la comparación de huellas provenientes de sustratos diferentes.

Las comparaciones de huellas provenientes de patas diferentes para yaguar y puma confirman las observaciones directas realizadas para la identificación de las huellas durante el muestreo y con lo señalado por otros

investigadores. La identificación de las patas derechas e izquierdas no resultó fácil, por lo que fue necesario contar con varias huellas por cada individuo para lograr diferenciarlas. En general, el segundo dedo (contando desde el interior de la pata) es aquel que maximiza el largo total de la huella. Esto le da una asimetría a la huella similar a la encontrada en pies y manos humanos, y que puede facilitar la identificación de las patas derechas e izquierda. Grigione *et al.* (1999) estudiando un conjunto de doce grupos de datos pertenecientes a patas traseras de pumas, tanto derechas como izquierdas, determinaron que no existen diferencias significativas entre las medias de ambas patas para cada variable independiente considerada (MANOVA $p = 0.810$). Por tanto concluyeron que las patas derechas e izquierdas pueden agruparse dentro de una matriz como réplicas. Este resultado es similar al encontrado en nuestro estudio utilizando huellas no solo de pumas sino también de yaguares, lo cuál podría indicar que la similaridad entre huellas derechas e izquierdas de patas delanteras o

traseras de un mismo individuo se mantiene independientemente de la especie.

En cuanto a las huellas delanteras y traseras, la diferencia en tamaño y forma entre las patas delanteras y las traseras de un mismo individuo fue bastante marcada, siendo las huellas delanteras considerablemente más grandes que las traseras, lo cual facilitó su identificación. En la mayoría de las huellas registradas se encontró que la distancia entre dedos era mayor en patas delanteras que en patas traseras, característica que parece mantenerse estable y que podría ser útil para la identificación de estas. En su estudio, Belden (1978) determinó que la distancia entre el primer y cuarto dedo (ATH en este trabajo) de las patas delanteras resulta 44 % mayor que para las patas traseras del mismo individuo. Por otra parte, Belden (1978) y Crawshaw (1992) consideran que el tamaño de las patas delanteras y traseras guarda una proporción específica para cada animal, por tanto esta proporción podría considerarse un factor importante para la identificación de los individuos a partir de sus huellas, por lo que podría incluirse en el modelo como una nueva variable.

No fue necesario poner a prueba la separación en forma y talla de las huellas por especie ya que la identificación se podía realizar a simple vista. Para la identificación de las especies se tomó en cuenta la forma de la huella (las huellas de jaguar son más anchas que largas, mientras que las huellas de puma son más largas que anchas), y el hecho de que en la gran mayoría de las huellas de puma registradas se encontraron marcadas las uñas lo cuál difiere de lo reportado hasta ahora en otros trabajos (Belden 1978, Crawshaw 1992). Probablemente, la presencia o ausencia de marcas de uñas esté estrechamente relacionada con el tipo de sustrato en el que se encuentre la huella.

La edad de la huella no presenta un efecto muy marcado sobre la talla y forma de las huellas. Tampoco se obtuvo un patrón de cambios temporales luego de las pruebas de comparaciones múltiples, por lo cual es muy difícil determinar si el tiempo tiene algún efecto en

las huellas. Sin embargo, como se encontraron algunas variaciones temporales en talla y forma, consideramos que el factor tiempo debe ser nuevamente evaluado para determinar si debe ser tomado como un factor importante para la comparación de huellas de individuos diferentes.

En los análisis discriminantes, aún cuando se controló el efecto de estos factores (tipo de pata y sustrato) se observó un solapamiento de las huellas de los diferentes individuos. Sin embargo, el no solapamiento de los centroides indicó una buena separación de los grupos tanto en los casos de las huellas de jaguar como en las de los pumas. Estos resultados junto con los valores de la eficiencia de clasificación de las huellas obtenidas para cada caso, indicaron que el método de discriminación de individuos a partir de huellas logró identificar correctamente a los individuos con un bajo porcentaje de error para estos modelos bidimensionales. En general, para los jaguares los modelos de clasificación indican que la ubicación de los centroides en el plano bidimensional es un 80 % confiable, por lo que la separación de los grupos resulta lo suficientemente segura como para afirmar que el método de identificación logra discriminar a los cinco individuos. Para los pumas, los modelos de clasificación indican que la separación registrada para los centroides es un 70 % confiable. Aunque no es muy elevado, este porcentaje de aciertos se considera suficientemente confiable.

Cabe destacar que las tres variables de proporción (LTH/ATH , ATH/D y K/H) planteadas en este trabajo contribuyeron en la correcta discriminación de los individuos, debido a que se encontraron fuertemente asociadas a los primeras funciones discriminantes en casi todos los casos. Inicialmente, se supuso que estas tres variables, por medir proporción del tamaño de la huella, no presentarían fuertes variaciones entre sustrato, pata o a lo largo del tiempo. Sin embargo, esto no fue así, lo cual parece indicar que su comportamiento no es lineal.

En este trabajo todas las huellas fueron identificadas y dibujadas por una misma persona, por lo que aún queda por estudiar cual es la

variabilidad de las mediciones debido a la percepción de las huellas por el dibujante. Si esta variabilidad resulta despreciable, el método de identificación de individuos podría empezar a aplicarse a mayor escala. En caso contrario, habrá que considerar nuevas estrategias para la toma de datos. Grigione *et al.* (1999) proponen en su trabajo la toma de huellas a partir de fotografías, aunque consideran que las condiciones de luz y el costo son limitantes importantes de este método. Los dibujos de huellas son poco costosos y requieren de una breve capacitación del personal para su implementación. Por tanto la toma de huellas a partir de dibujos podría ser realizada, por ejemplo, por los Guardaparques de un área protegida de manera permanente, o por los manejadores de áreas donde estos felinos estén en conflicto con las actividades humanas por lo que no sólo podría estimarse la abundancia de felinos en estas áreas, sino inferir otros parámetros poblacionales. En vista de su aplicabilidad, hemos puesto a prueba el método de identificación de individuos a partir del análisis morfométrico de sus huellas, dentro de un área donde los yaguares y pumas se encuentran en conflicto con la actividad ganadera, como una estrategia para realizar el seguimiento y estudio de sus poblaciones. Durante este trabajo se pudo corroborar que las huellas de jaguar y puma pueden ser diferenciadas por sus características de forma. Además se verificó la diferencia entre huellas delanteras y traseras, y la similitud entre huellas derechas e izquierdas, ya antes mencionada en este artículo (Isasi-Catalá y Barreto, sin publicar). El método fue puesto en marcha considerando las limitaciones que existen por el sustrato, sin embargo, a pesar de estas limitaciones fue posible registrar un número considerable de huellas por rastro, lo cuál garantizó el análisis morfométrico de las huellas y la identificación de los individuos para cada especie. Dentro de esta área de estudio estimamos la presencia de entre 9 y 10 yaguares con una densidad de un individuo por cada 22-24,5 Km² (Isasi-Catalá y Barreto, sin publicar), lo cuál se corresponde con estimados cualitativos realizados previamente en el área (Hoogsteijn com. Pers.), y

con datos reportados en otras áreas, en los que se emplearon otros métodos de muestreo. Tal es el caso de la estimación de densidad de yaguares en Pantanal donde se reportó un individuo por cada 22,5-25 Km² (Schaller y Crawshaw 1980), en un área cuyas características de paisaje resultan similares a las de nuestra área de estudio.

Por otra parte, hay que considerar la introducción de nuevas variables que permitan obtener una mejor descripción de las características de las huellas de los individuos. El registro de la profundidad de la huella puede ser un excelente estimador del peso del animal, por tanto esta variable podría mejorar considerablemente el método. Según Grigione *et al.* (1999) una limitación del método de identificación es que las huellas solo son analizadas en dos dimensiones. La medición de la profundidad añadiría la tercera dimensión que según estos investigadores podría aumentar el grado de discriminación del método.

En conclusión, se logró la identificación de individuos a partir del análisis morfológico de sus huellas para yaguares y pumas. Se considera que este método de identificación de individuos es aplicable en campo, es económico y representa una manera relativamente fácil de estimar la densidad de yaguares y pumas en el campo. A pesar de que es necesario mejorar el método y complementarlo con otros diferentes para lograr estimar de manera confiable la abundancia de estos felinos en el campo, representa una alternativa factible para obtener datos basados en estudios cuantitativos de estimación, lo cuál representa una necesidad para la implementación a largo plazo de planes de manejo y conservación para yaguares y pumas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a S. Boher y al personal de los Parques Zoológicos Caricuao y Las Delicias por su colaboración. A A. Dewitz y R. Branger de la compañía INVEGA C.A. por el acceso al Hato El Socorro, al personal del Hato El Socorro, especialmente a Pedro, Galápago y William por su ayuda durante el trabajo de

campo. También a C. Peñaloza, J.A. Infante, I. Zager y T. Slater por su ayuda durante el trabajo de campo. A C. Bosque y a los integrantes del curso Redacción de Artículos Científicos por sus útiles comentarios en referencia al manuscrito original. Las sugerencias de un revisor anónimo ayudaron a mejorar el manuscrito. Este trabajo fue financiado por People's Trust for Endangered Species.

RESUMEN

Estimar la abundancia de felinos resulta particularmente difícil o, incluso imposible, debido a su comportamiento críptico y sus amplios requerimientos espaciales. Las técnicas disponibles para estimar abundancia son costosas y poco eficientes, por lo que es necesario proponer métodos alternativos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de identificación de individuos utilizando el análisis morfométrico de huellas en yaguares y pumas. Para ello, se dibujaron huellas de cinco yaguares y cuatro pumas, registrándose el tipo de pata que dio origen a la huella y el sustrato. Para cada huella se tomaron 16 mediciones morfológicas de ángulos, largos, anchos y áreas. Las variables de largos, anchos y áreas fueron analizadas con un Análisis de Componentes Principales (ACP) y sustituidas por el primer componente principal (más del 70 % de la varianza en todos los casos). Se evaluó el efecto del sustrato y del tipo de pata a partir de pruebas t-pareadas, encontrándose diferencias entre huellas del mismo individuo dibujadas a partir de arena o tierra (t-pareadas $p < 0.05$), así como diferencias en todas las variables para patas delanteras y traseras (t-pareadas $p < 0.05$ en todos los casos). No se encontraron diferencias entre patas izquierdas o derechas. El efecto de la edad de la huella se estudió con Análisis Múltiples de Varianza, en los que se revelaron diferencias en las variables con respecto a la edad de la huella. Se realizaron análisis discriminantes por especies, sustrato de la huella y tipo de pata, para determinar la capacidad del método de discriminar entre individuos. Se obtuvo una adecuada separación de los individuos con más del 70 % de confianza. Se concluye que este método es factible y puede ser de gran utilidad especialmente en el caso de felinos amenazados.

Palabras claves: estimación de abundancia, huellas, morfometría, felinos, *Panthera onca*, *Puma concolor*.

REFERENCIAS

- Aranda M. 1992. El jaguar (*Panthera onca*) en la reserva de Calakmul, México: morfometría, hábitos alimentarios y densidad poblacional, p 235-274. In: ANON (ed.). Felinos de Venezuela: biología, ecología y conservación. FUDECI, Caracas, Venezuela.
- Belden, R. C. 1978. How to recognize panther tracks. Proceedings of the Thirty second Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies. 32: 112_115.
- Bider, J. R. 1968. Animal activity in uncontrolled terrestrial communities as determined by sand transect technique. Ecol. Monog. 38: 269-308.
- Carbone C., S. Christie, K. Conforti, T. Coulson, N. Franklin, J. Ginsberg, M. Griffiths, J. Holden, K. Kawanishi, M. Kinnaird, R. Laidlaw, A. Lynam, D. Macdonald, D. Martyr, C. McDougal, L. Nath, T. O'Brien, J. Seidensticker, D. Smith, M. Sunquist, R. Tilson & W. Wan Shahrudin. 2001. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. Anim. Conserv. 4: 75-79.
- Crawshaw, P. 1992. Recommendations for study design on research projects on neotropical felids, p 187-222. In ANON (ed.). Felinos de Venezuela: Biología, Ecología y Conservación. FUDECI, Caracas, Venezuela.
- Crawshaw, P. & H. Quigley. 1991. Jaguar spacing, activity and habitat use in a seasonally flooded environment in Brazil. J. Zool. (London) 223: 357-370.
- Currier, M. 1983. *Felis concolor*. Mamm. Sp. 200: 1-7.
- Franklin, W. E., W. Johnson, R. Sarno & A. Iriarte. 1999. Ecology of the Patagonia puma *Felis concolor patagonica* in southern Chile. Biol. Conserv. 90: 33-40.
- Gese, E. 2001. Monitoring of terrestrial carnivore populations, p 372_396. In J. Gittleman, S. Funk, D.W. Macdonald & R. Wayne (eds.). Carnivore Conservation. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- Grigione, M., P. Burman, V. Bleich & B. Pierce. 1999. Identifying individual mountain lions *Felis concolor* by their tracks: refinement of an innovative technique. Biol. Conserv. 88: 25_32.
- Jackson, P. 1992. The status and conservation of the wild cats, p 13_36. In ANON (ed.). Felinos de Venezuela: Biología, Ecología y Conservación. FUDECI, Caracas, Venezuela.
- Jennelle C., M. Runge & D. MacKenzie. 2002. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals: a comment on misleading conclusions. Anim. Conserv. 5: 119_120.
- Johnson, W. E., E. Eizirik & G. Lento. 2001. The control, exploitation, and conservation of carnivores, p 196_219. In J. Gittleman, S. Funk, D. W. Macdonald & R. Wayne (eds). Carnivore Conservation. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.

- Karanth, U. 1999. Counting tigers, with confidence, p 350-353. In J. Seidensticker, S. Christie & P. Jackson (eds). *Riding the Tiger*. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- Karanth, U. & J. Nichols. 1998. Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology* 79: 2852-2862.
- Karanth U., J. Nichols, J. Seidensticker, E. Dinerstein, J. Smith, C. McDougal, A. Johnsingh, R. Chundawat & V. Thapar. 2003. Science deficiency in conservation practice: the monitoring of tiger populations in India. *Anim. Conserv.* 6: 141-146
- McDougal, C. 1999. You can tell some tigers by their tracks with confidence, p 190-191. In J. Seidensticker, S. Christie & P. Jackson (eds). *Riding the Tiger*. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
- Mondolfi, E. & R. Hoogesteijn. 1992. Investigaciones para el manejo de poblaciones del jaguar, p 75-82. In ANON (ed.). *Felinos de Venezuela: Biología, Ecología y Conservación*. FUDECI, Caracas, Venezuela.
- Mondolfi, E. & R. Hoogesteijn 1986. Notes on the biology and status of the jaguar in Venezuela, p 125-146. In S. Miller & D. Everett (eds.). *Cats of the World: Biology, Conservation and Management*. National Wildlife Federation, Washington D.C., EEUU.
- Nowell, K. & P. Jackson. 1996. Status Survey and Conservation Action Plan, Wild Cats. IUCN/SSC Cat Specialist Group, Gland, Suiza.
- Panwar, H.S. 1979. A note on tiger census technique based on pugmark tracings. *Tigerpaper* FAO, 6: 16-18.
- Rabinowitz, A. 1992. The conservation of the jaguar: a case study in Belize, p 107-115. In ANON (ed.). *Felinos de Venezuela: Biología, Ecología y Conservación*. FUDECI, Caracas, Venezuela.
- Riordan, P. 1998. Unsupervised recognition of individual tigers and snow leopards from their footprints. *Anim. Conserv.* 1: 253-262.
- Rodríguez, J.P. & F. Rojas-Suarez. 1997. *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. 2da edn. Provita, Caracas, Venezuela.
- Sale, J. B. & K. Berkmuller. 1988. *Manual of wildlife techniques for India*. Wildlife Institute of India. FAO. Roma, Italia.
- Schaller G. & P.Crawshaw. 1980. Movement patterns of jaguar. *Biotropica* 12: 161-168
- Scott, S.C., L.E.T. Ostro, L.K. Marsh, L. Maffei, A. J. Noss, M.J. Kelly, R.B. Wallace, H. Gomez & G. Ayala. 2004. The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx* 38: 148-154.
- Seymour, K. 1989. *Panthera onca*. *Mamm. Sp.* 340: 1-9.
- Smallwood, K.S., & F.L. Fitzhugh. 1993. A rigorous technique for identifying individual mountain lions (*F. concolor*) by their tracks. *Biol. Conserv.* 65:51-59.
- Soásalo M. & S. Cavalcanti. 2006. Estimating the density of a jaguar population in the Brazilian Pantanal using camera-traps and capture-recapture sampling in combination with GPS radio-telemetry. *Biol. Conserv.* 129: 487-496.
- Swank, W. & J. Teer. 1989. Status of the jaguar - 1987. *Oryx* 23: 14-21.
- Swank W. & J. Teer. 1992. A proposed program for sustained jaguar population, p 95-106. In: ANON (ed.). *Felinos de Venezuela: biología, ecología y conservación*. FUDECI, Caracas, Venezuela.
- Systat Software, Inc. 1999. *SigmaScan Pro: Image Analysis*, version 5.0. California, EEUU.
- Wikramanayake E., E. Dinerstein, J. Robinson, U. Karanth, A. Rabinowitz, D. Olson, T. Mathew, P. Hedao, M. Conner, G. Hemley & D. Bolze. 1998. An ecology-based method for defining priorities for large mammal conservation: The tiger as case study. *Conserv. Biol.*, 12: 865-878.