

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

BIOLOGÍA

**Análisis biomecánico en perezosos fósiles
(*Paramylodon harlani* Owen, 1840) de Tlalnepantla de
Baz, Estado de México.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO**

PRESENTA

VANIA JONATHAN JAIR PÉREZ RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M EN C. JOSÉ MARIO MIRANDA HERRERA

JULIO, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mi padre:

José René Pérez Cortés, fuiste mi padre, mi amigo y mi coach. Con tu ejemplo me enseñaste a luchar y a nunca rendirme por mas cruenta y difícil que pareciera la situación. Me ensañaste a vivir con libertad y por sobre todas las cosas me brindaste tu amor y tu cariño.

¡Gracias Margaro!

A mi hermana:

Esteffani Thalia Pérez Rodríguez, siempre te preocupaste por mí a pesar de lo mal que pudiera portarme contigo. Espero que este trabajo te sirva de incentivo para que continúes con tu camino, sin importar cual sea la dirección que tomes yo voy a estar a tu lado invariablemente. Te quiero mucho, no lo olvides.

¡Gracias China!

A mi madre:

Dolores Cristina Rodríguez Rodríguez, me brindaste tu cariño y tus cuidados cuando fue necesario, no importa el rumbo que tomes, siempre serás mi madre. Te quiero

¡Gracias madre!

A mi novia:

Rocio Alejandra González Cortés, conocimos el mundo juntos, exploramos la vida siempre uno al lado del otro. Siempre estuviste conmigo, cuando quise llorar y cuando quise reír. Sabes muy bien que sin tu apoyo esto nunca hubiera sido posible. Simplemente, te amo.

¡Gracias pequeña!

“El libro de la naturaleza no se puede entender a menos que antes se aprenda el idioma y se sepan leer las letras en que está escrito. Está escrito en el idioma de las matemáticas, y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales resulta humanamente imposible entender una sola palabra; sin ella, uno se limita a vagar por un laberinto a oscuras.”

Galileo Galilei

“La mayor parte de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general, pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos.”

Albert Einstein

Índice de Contenido

Introducción	1
Índice de Capacidad Atlética (ICA)	3
Índice de Habilidad Fosorial (IHF)	5
Índice de hipsodoncia (IH)	7
Alometría	8
Antecedentes	11
Área de Estudio (Cristín, 2003)	14
Objetivos	16
General	16
Particulares	16
Material y Métodos	17
Laboratorio	17
Gabinete	18
Cálculo del ICA	18
Calculo del IHF	21
Calculo del IH	22
Cálculos alométricos	24
Resultados	26
Discusión	37
Conclusiones	46
Bibliografía	48



Introducción

En México existe un gran número de trabajos paleontográficos, esto debido a la gran cantidad de restos fósiles recolectados. Tan solo en el valle de México se han reportado un gran número de restos fósiles pertenecientes al Cenozoico, entre ellos se encuentran los hallazgos encontrados durante la construcción del drenaje profundo en Tequixquiac, Zumpango y Nochistongo los cuales fueron descritos por Cuatáparo y Ramírez (1875), Bárcena (1882) y Felix y Lenk (1889-1899) respectivamente (Citados por Castillo *et al.*, 1996); Cristín (2003) reporta un importante hallazgo de vertebrados fósiles durante la construcción de una avenida y una gasolinera en el municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México pertenecientes al rancholabreano; siendo el perezoso terrestre *Paramylodon harlani* Owen, 1840 el taxón mejor representado y objeto de este estudio.

La especie *P. harlani* pertenece al orden Xenarthra, los cuales se caracterizan por tener articulaciones extras en algunas vértebras torácicas y lumbares; disminución en la dentición y en algunos casos pérdida de todos los dientes; dientes hipsodontos indiferenciados sin cubierta de esmalte; así como una espina escapular y proceso acromion desarrollados (Engelman, 1985). La familia Milodontidae se caracteriza por la presencia de osteodermos, un cráneo elongado y truncado anteriormente con una corta región preorbital y con la superficie aplanada, los premaxilares son cortos y pobremente unidos a los maxilares, un pterigoideo en forma de placa y los elementos craneales que rodean la cámara cerebral con muchas cámaras neumáticas; mandíbula ancha; dientes de tipo milodontido; las vertebras lumbares anquilosadas con las vertebras sacras; hempófisis en forma de “Y”; los húmeros no presentan el foramen entepicondilar; manos con los primeros 4 dedos diferenciados y un quinto rudimentario; pelvis con un ilion grandemente expandido y una corta sínfisis púbica; un fémur largo, ancho y sin el tercer trocánter; extremidades anteriores mas cortas que las posteriores; pies con un hallux completamente reducido y con los 4 primeros dígitos diferenciados y un quinto rudimentario; calcáneo y quinto metatarso alargados; largas falanges ungales del tercer y cuarto digito de la mano (Kurten y Anderson, 1980; Webb, 1985; Stock, 1925).



Se han reportado numerosos restos fósiles de *P. harlani* en prácticamente todo el país y es en el valle de México donde mejor representados se encuentran (Cristín, 2003). La cantidad de restos de *P. harlani* recolectados en Tlalnepantla abren la posibilidad a un análisis de corte paleobiológico, como la biomecánica y sus posibles implicaciones paleoecológicas.

La biomecánica es la aplicación de principios mecánicos al estudio de los organismos, principalmente útiles para la descripción de la morfología funcional. Entre los estudios biomecánicos se encuentra el diseño estructural de los organismos, particularmente las propiedades de los materiales con los cuales están hechos; la presión, densidad y tensión superficial y la fuerza y energía que presentaban los organismos (Briggs y Crowther, 1996), por ejemplo al cerrar las mandíbulas, al correr, o al lanzar un zarpazo (Fariña y Blanco, 1996).

El estudio del esqueleto debe tener en cuenta los principios físicos que afectan a cualquier sistema que lleve a cabo operaciones mecánicas. La resistencia de todas las partes debe ser suficiente para resistir las fuerzas que actúan sobre ellas, con un margen adecuado de seguridad. La frecuencia con que los huesos se rompen muestra las severas limitaciones impuestas sobre las acciones del cuerpo por la necesidad de soportar su propio peso bajo circunstancias variadas (p. e. al correr y andar o al incorporarse en dos extremidades en el caso de los cuadrúpedos). Las fuerzas que los tejidos deben resistir son externas, especialmente la gravedad, y las fuerzas internas entran en juego para contrarrestar la gravedad o para mover el cuerpo (Young, 1980). Los mamíferos cuadrúpedos utilizan una gran diversidad de posturas en las extremidades durante su locomoción, esto derivado de los diferentes tipos de vida o ambientes a los que se encuentra sometidos (Blob, 2001), así la postura que adoptan los carnívoros será diferente a la de los herbívoros, en estos últimos la postura de sus extremidades variará aun mas de acuerdo a sus hábitos alimenticios, por ejemplo para correr, defenderse y excavar entre otros. Sin embargo averiguar los hábitos que presentaba la fauna extinta implica la problemática de no poder ver a estos animales en acción.

Es por ello que la biomecánica posee un considerable potencial para refinar la elaboración de interpretaciones paleobiológicas, sin embargo la mayoría de los estudios en este campo se enfocan mayoritariamente a los dinosaurios, siendo muy escasos los aplicados a los mamíferos del neógeno,



debido a esto, es necesario profundizar más en este campo de la paleontología (Briggs y Crowther, 1996).

En México no existen estudios biomecánicos para la fauna prehistórica a pesar de la existencia de buen material fósil, es por esto, que en el presente trabajo se propone realizar un estudio biomecánico con el material recolectado en Tlalnepantla.

Índice de Capacidad Atlética (ICA)

Los perezosos terrestres han sido considerados como animales pesados y de movimientos lentos, es decir poco atléticos (Stock, 1925). Una manera de comprobar esta hipótesis consiste en averiguar la resistencia de los huesos largos de las extremidades, los cuales se ven sometidos a la mayor cantidad de estrés durante la marcha o carrera (Fariña, 2000).

Durante la marcha, las tensiones de doblamiento son el mayor riesgo de fractura al que se ven sometidas las extremidades. La resistencia de estos huesos puede ser obtenida calculando el modulo de sección (Z) tomada a cierta distancia (x) de su extremo distal. Este cálculo no difiere de lo que la física e ingeniería han investigado para otros materiales (McNeill, 1971; Fariña, 2000).

Considérese una cupla* de fuerzas de momento M que se aplica al extremo libre de una viga con un extremo fijado rígidamente a una pared, ésta se flexiona. La cantidad que describe su resistencia a la flexión es Z , el módulo de sección (fig. 1). La forma óptima para una sección debe ser aquella que produzca el módulo de sección más alto con la mínima área, por lo cual un tubo es más resistente que un cilindro sólido de la misma área de sección real (excluyendo el área hueca). Muchas estructuras, artificiales y naturales, son cilindros huecos, como los cuadros de las bicicletas y los huesos largos de los tetrápodos (Fariña, 2000).

* **Cupla:** Sistema de fuerzas paralelas, de igual valor, sentido contrario y ubicados a la misma distancia de un centro.

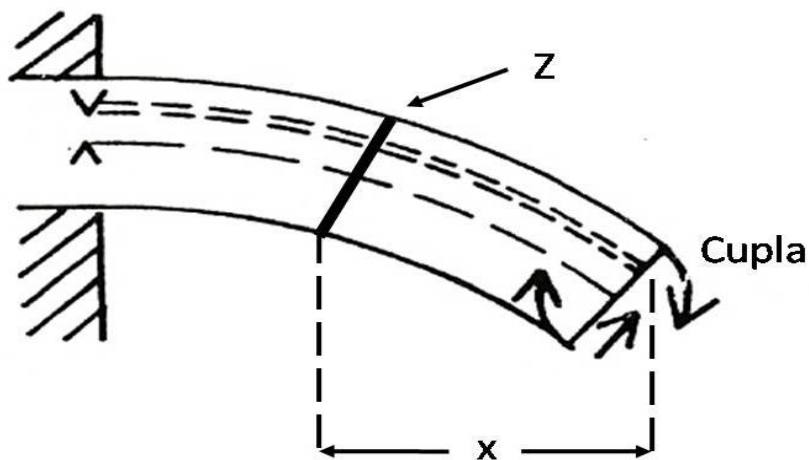


Figura 1. Flexión de una viga con un extremo fijo y otro libre. Modificado de McNeill, 1971

En este último caso, el módulo de sección Z , tomado a una distancia x del extremo del hueso, da una medida de su resistencia a las tensiones de flexión producidas durante la locomoción.

Considérese dos animales bípedos que sean geoméricamente similares (es decir, que sus dimensiones lineales estén relacionadas por el mismo factor) uno al otro con respecto a la longitud de sus huesos y las posiciones de inserción y origen de sus músculos, pero no necesariamente con la misma sección de los huesos correspondientes. Cuando los animales se mueven de manera dinámicamente similar (esto es, cuando tiempos, distancias y velocidades están relacionadas entre ambos casos por el mismo factor), los componentes de la fuerza F que tiende a flexionar sus huesos son proporcionales a sus pesos mg (donde m es la masa en kilogramos y g la aceleración de la gravedad, $9,8 \text{ ms}^{-2}$) y las tensiones debidas a los momentos de flexión en las correspondientes secciones de sus huesos son proporcionales a mgx/Z . De esta manera, la inversa Z/mgx es una conveniente medida de la capacidad de los huesos largos de animales bípedos para soportar momentos de flexión. Una medida más general, aplicable también a los cuadrúpedos es $Z/amgx$, donde a es la fracción de peso soportada por el par de extremidades considerado. Éste puede ser considerado un indicador de la capacidad atlética de un animal terrestre. Sus dimensiones son la inversa de las de presión, y altos valores implican mejor capacidad atlética, o sea que un tetrápodo



con huesos finos, largos y que soportan mayor peso está más expuesto a fracturas que otro con las condiciones contrarias (Fariña, 2000).

El actualismo cobra una gran importancia en este caso, ya que, si se tienen animales actuales que puedan galopar y presenten un **ICA** similar al obtenido por el análisis, se puede inferir que el organismo sujeto al estudio también galopaba.

Índice de Habilidad Fosorial (IHF)

Una máquina simple como la palanca, es un dispositivo para aplicar fuerzas. Se puede aplicar una fuerza F_1 a una porción de la máquina y aplicar una fuerza F_2 en otra, estas fuerzas no son necesariamente iguales. Una fuerza pequeña en el extremo de una palanca se puede hacer para producir una fuerza mucho más grande cerca del fulcro, esto puede ser demostrado midiendo el momento. Este es el principio que utiliza el cascanueces. El cociente F_2 / F_1 se conoce como la ventaja mecánica de la máquina. A la distancia del punto de aplicación de F_1 que tiene que ser desplazada para mover el punto de aplicación de F_2 a una distancia de la unidad, se le conoce como el cociente de la velocidad de la máquina. Para una máquina perfecta, tal como una palanca con un fulcro sin fricción, la ventaja mecánica sería igual al cociente de la velocidad. Para las máquinas verdaderas es siempre menor (McNeill, 1971).

Considérense las ventajas mecánicas de los músculos en las patas delanteras del caballo y del armadillo (fig. 2). En cada caso, una línea punteada de la escapula al húmero demuestra la línea de acción principal de uno de los músculos principales usados para hacer rotar la pierna hacia atrás. Se indican dos medidas en cada dibujo. h es la distancia de la articulación del hombro al piso y l la distancia de la articulación del hombro a la principal línea de acción del músculo. Cuando esta línea de acción ejerce una fuerza F_1 en el húmero, el momento de fuerza sobre la articulación del hombro es $F_1 l$. Esto hace que el pie ejerza una fuerza F_2 en la tierra cuando el momento sobre la articulación del hombro es $F_2 h$. Si no hay fricción en la articulación estos momentos se equilibrarían y la ventaja mecánica de la línea de mayor acción del músculo F_2 / F_1 será l / h . En la práctica, es ligeramente



menor que esto. Para mover el pie a una distancia X del cuerpo, es solamente necesario para los músculos principales acortarse por una cantidad Xl/h . El cociente de la velocidad es l/h (McNeill, 1971).

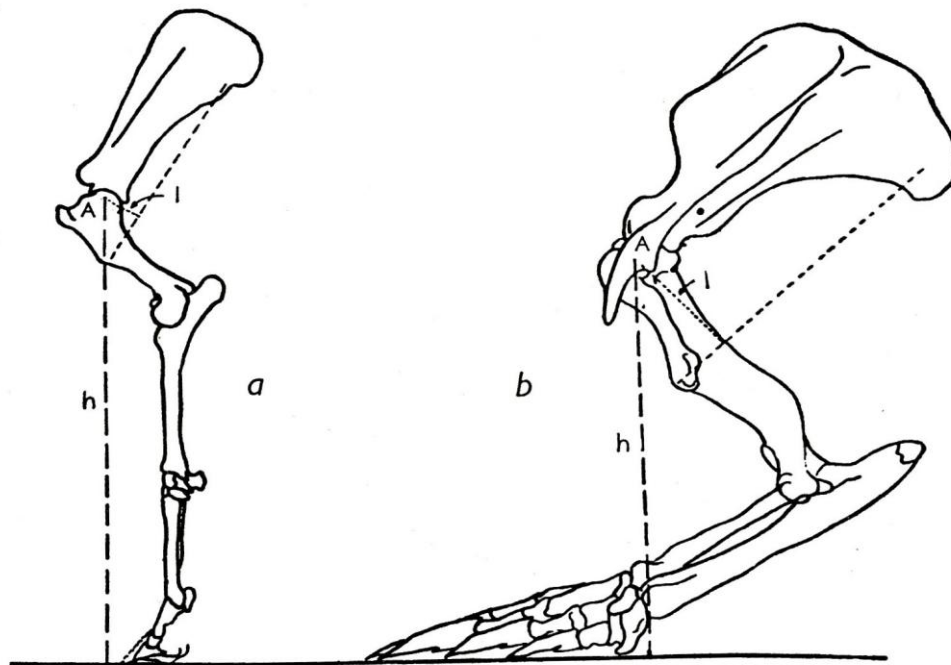


Figura 2. Extremidades delanteras de a) caballo y b) armadillo. Tomado de McNeill, 1971

El caballo se adapta para el funcionamiento rápido. Mueve las piernas muy rápidamente pero sin ejercer particularmente grandes fuerzas en el piso. Necesita un cociente bajo de la velocidad y puede tolerar la baja ventaja mecánica que esto trae: l/h es cerca de $1/13$. El armadillo no corre rápidamente, sino utiliza sus piernas delanteras para cavar, así que tiene que ejercer grandes fuerzas contra el piso. Necesita una ventaja mecánica razonablemente alta con un correspondientemente alto cociente de velocidad: l/h es cerca de $1/4$ (McNeill, 1971).

La figura 2 también demuestra que un caballo tiene un proceso olecranon relativamente más pequeño en su ulna que el armadillo. El músculo del tríceps que extiende el codo se inserta en este proceso y tiene una ventaja mecánica mucho más pequeña en el caballo que en el armadillo. El



caballo y el armadillo no son ejemplos aislados, en general los mamíferos corredores tienen músculos en las patas delanteras con ventajas mecánicas bajas, y los mamíferos que hacen madrigueras en general presentan ventajas mecánicas más altas. Las adaptaciones de la ventaja mecánica a diversos hábitos se pueden también demostrar en otros grupos de animales y otras partes del cuerpo (McNeill, 1971).

De acuerdo al principio de ventaja mecánica, un proceso olecranon largo aumenta la palanca del músculo tríceps, responsable de la extensión del antebrazo en relación al brazo, y vuelve óptimo este último movimiento cuando se debe generar más bien fuerza que velocidad. Por el contrario, un olecranon corto maximiza la velocidad en la extensión del antebrazo (Fariña, 2000). Esta es una ley básica de la mecánica clásica que expresa que, lo que se pierde de fuerza se gana en velocidad y viceversa.

El IHF describe la ventaja mecánica del músculo tríceps en la mayor extensión del brazo usada por los animales al cavar con movimientos del brazo completo (Bargo *et al.* 2000).

Índice de hipsodoncia (IH)

Otra manera de contrastar los hábitos alimenticios de las diferentes especies animales consiste en calcular el índice de hipsodoncia, ya que esta condición ha sido relacionada a hábitos pasadores (Bargo, *et al.*, 2006a)

Inicialmente este índice fue aplicado a ungulados actuales que se alimentan al nivel del suelo, en estos animales la superficie oclusal de los dientes nunca deja de crecer (algunos ungulados y roedores) debido al contenido de material abrasivo de su alimento (Bargo, *et al.*, 2006a).

Por lo tanto, la altura de los dientes tomada desde la base de la mandíbula hasta la corona resulta un buen indicador del nivel de hipsodoncia que presentan los distintos organismos, sin embargo es necesario tomar en cuenta la longitud de la hilera de dientes de las mandíbulas, ya que



no es posible una buena molienda del alimento si se cuentan con pocos dientes, por lo tanto la relación entre la altura de las mandíbulas y la longitud de la hilera dental resulta un buen indicador del grado de hipsodoncia (Bargo, *et al.*, 2006a).

Alometría

El fenómeno del crecimiento es sumamente complejo y heterogéneo y se puede definir como el incremento en las medidas de un sistema orgánico, producido por la asimilación de materiales obtenidos del ambiente (Bertalanffy, 1938).

Los organismos exhiben diferentes estrategias de crecimiento, de acuerdo con Prothero (2004) son acreción, adición, muda y modificación, siendo esta última el tipo de desarrollo típico de vertebrados, los cuales constantemente modelan y adhieren material a sus huesos a lo largo de su vida.

El desarrollo del crecimiento de los organismos puede ser estudiado mediante el análisis dimensional, por ejemplo al comparar dos variables, como puede ser la relación superficie/volumen, longitud/área o longitud/longitud. Cualquier par de variables pueden ser analizadas de esta manera, si al graficar las variables se obtiene una línea recta (fig. 3a) significa que el crecimiento es proporcional en ambas variables, a este comportamiento se le llama crecimiento isométrico (igual medida) y obedece a la formula (Prothero, 2004):

$$y = mx + b$$

Las salamandras y algunos peces entre otros, son ejemplos de organismos que exhiben este tipo de crecimiento (Prothero, 2004).

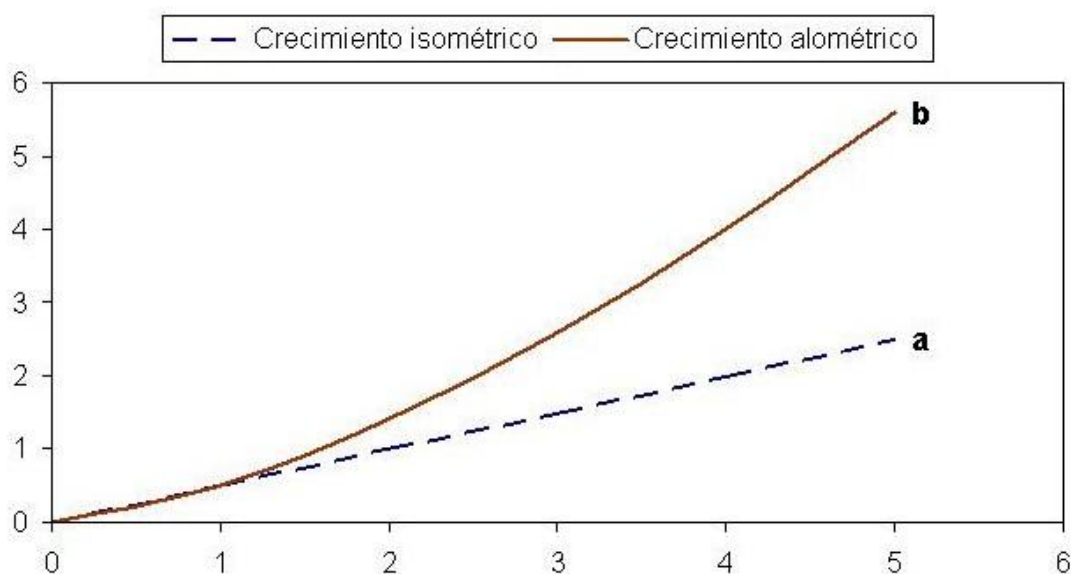


Figura 3. Gráfica del comportamiento del crecimiento (a) isométrico y (b) alométrico

Sin embargo no todas las variables en los seres vivos tienden a ser lineales, algunas como el área de sección transversal o el volumen varían con el cuadrado y el cubo de sus dimensiones lineales respectivamente, al graficar estas variables, un eje varía en forma lineal y el otro de forma exponencial, dando como resultado una línea curva (fig. 3b), esta forma de desarrollo se conoce como crecimiento alométrico (diferente medida) y es descrito por la fórmula siguiente (Prothero, 2004):

$$y = mx^n$$

Donde **m** es la pendiente y **n** es la constante del crecimiento exponencial. Si **n** adquiriera un valor de 1 el resultado sería un comportamiento isométrico, pero si **n** difiere de 1 resultaría en un crecimiento alométrico (Prothero, 2004)

El concepto de alometría tiene varios significados y múltiples aproximaciones metodológicas. La alometría trata de la variación de un carácter asociado con la variación de otro carácter que



representa la totalidad del patrón morfofisiológico de la especie. Los caracteres pueden ser el tamaño de las porciones orgánicas, su forma o características fisiológicas, ecológicas y conductuales (Gersenowies, 2007)

Los mamíferos exhiben en la mayoría de los casos un crecimiento de tipo alométrico, por lo cual un análisis dimensional de este tipo puede ser muy útil en el análisis del desarrollo ontogenético o en la reconstrucción de los fósiles incompletos.

En los organismos actuales es fácil describir el crecimiento, basta simplemente con tomar las medidas que un organismo exhibe a lo largo de todo su desarrollo ontogenético o las medidas de diferentes organismos en distintos estadios de vida pero de la misma especie, sin embargo cuando se trata de organismos fósiles el análisis se vuelve mas complicado debido a la naturaleza del registro fósil, ya que éste se encuentra por lo general fracturado e incompleto y no todos los estadios de desarrollo se preservan como fósiles (Prothero, 2004 y Gersenowies, 2007), esta capacidad para predecir medidas en base a otras conocidas, hacen de la alometría una valiosa herramienta paleontológica.

Entre las regresiones mas utilizadas para describir el crecimiento de organismos, se encuentra la regresión de tipo lineal que relaciona en cada caso un factor o factores con un resultado específico. Es una técnica estadística utilizada para analizar la relación funcional entre una variable dependiente **Y** y otra independiente **X** (Duran *et al.*, 2003).



Antecedentes

Los primeros estudios biomecánicos se enfocaron a los dinosaurios, sobre todo de Norteamérica y Europa (Bargo, 2003). Sin embargo, en los últimos 20 años se ha revalorizado el potencial de la biomecánica como herramienta paleobiológica, sobre todo en los xenarthros de Sudamérica que actualmente carecen de homólogos vivos para poder realizar comparaciones, como son los gliptodontes y perezosos terrestres (Bargo *et al.*, 2006a). Cabe destacar que en México no existen trabajos biomecánicos aplicados a la fauna de vertebrados fósiles y la mayoría de los trabajos se enfocan a la descripción de los ejemplares que se han colectado.

Fariña (1995) al detectar que los trabajos en gliptodontes correspondían generalmente a la descripción y muy pocos a la paleobiología realizó un análisis biomecánico en las extremidades de estos animales. Para ello calculó la resistencia de los fémures y húmeros aplicando el Índice de Capacidad Atlética, determinó la masa del cuerpo mediante el desplazamiento de agua con modelos a escala, reconstruyó la masa de los músculos mediante métodos utilizados primeramente en dinosaurios, así como la postura, el tamaño del pie y la forma de caminar analizando los huesos de varios ejemplares, concluyó que a los gliptodontes no solo les era posible, sino además ventajoso el realizar actividades extenuantes con las extremidades posteriores para poder minimizar el riesgo de fracturas, así como las posibles implicaciones biológicas.

Fariña y Blanco (1996) debido a la discrepancia ecológica entre la cantidad de carnívoros y herbívoros de la fauna lujanense y las peculiaridades en la anatomía de los molariformes, la ulna y las falanges ungales del perezoso terrestre *Megatherium americanum* propusieron un análisis biomecánico calculando la fuerza y velocidad que podían ejercer las ulnas y el proceso olecranon aplicando el principio de la ventaja mecánica y de velocidad angular, concluyeron que *M. americanum* pudo haber utilizado las falanges ungales para acuchillar a algunos animales tanto de forma defensiva como para su alimentación y de esta manera incluir carne en su dieta.



En un estudio realizado por Bargo *et al.* (2000) debido a la poca información relativa a la locomoción de los perezosos terrestres, determinaron la resistencia de los huesos largos de las extremidades utilizando el Índice de Capacidad Atlética así como los posibles hábitos excavadores aplicando el Índice de Habilidad Fosorial de *Scelidotherium leptcephalum*, *Glossotherium robustum* y *Lestodon armatus*. Se concluyó que tanto *S. leptcephalum* como *G. robustum* presentan una buena resistencia a las fuerzas de carga en los huesos largos de las extremidades y que presentaban huesos mejor diseñados para el desarrollo de actividades que ponderaran la fuerza en vez de la velocidad, por ejemplo el cavar madrigueras.

Fariña *et al.* (2005) realizan una nueva aportación a los estudios paleoautoecológicos de la megafauna lujanense al analizar los hábitos locomotores de *Macrauchenia patachonica* relacionados con las estrategias para evitar a los depredadores. Para ello desarrollaron una variante del Índice de Capacidad Atlética concluyendo que esta especie presentaba una resistencia y morfología de los huesos largos de las extremidades tal que era posible que realizara movimientos de esquite para evitar la depredación.

Vizcaíno y Fariña (1997) al detectar diversas peculiaridades anatómicas en los armadillos del género santacrucense *Peltephilus* así como la falta de estudios detallados de su morfología funcional, se propusieron realizar un análisis biomecánico con la finalidad de probar la hipótesis tradicional de sus actividades cursoriales y depredadoras. Para ello reconstruyeron la musculatura de las mandíbulas y la forma y distribución de los dientes y aplicaron el Índice de Habilidad Fosorial comparándolo con otros armadillos. Concluyeron que este armadillo estaba pobremente diseñado para las actividades carnívoras y activamente cursoriales proponiendo hábitos alternativos como cavadores para la obtención de materiales vegetales provenientes del subsuelo para su alimentación.

Bargo y colaboradores (2006a) trataron de probar la relación que existía entre los hábitos alimenticios y la posible hipsodoncia en 11 especies de perezosos gigantes del pleistoceno, entre ellos incluido *Paramylodon harlani*. Aplicaron el índice de hipsodoncia el cual fue creado previamente por otros autores para evaluar esta característica en ungulados. Concluyen que estos animales presentan un gran desarrollo de la hipsodoncia, lo cual es comprensible con la dieta de pastos y



materiales duros provenientes con la ingesta de materia vegetal proveniente del subsuelo, de igual manera proponen un ambiente donde predominaban los espacios abiertos y que pudiera albergar este tipo de plantas.

Algunas contribuciones han descrito el aparato masticatorio de los perezosos terrestres, pero no se ha prestado casi ninguna atención a la reconstrucción del hocico, es por ello que Bargo *et al.* (2006b) examinaron los modelos de la toma de comida reconstruyendo el aspecto y la forma del hocico en cinco especies de perezosos terrestres pleistocénicos (*Megatherium americanum*, *Glossotherium robustum*, *Lestodon armatus*, *Mylodon darwini*, y *Scelidotherium leptcephalum*) usando reconstrucciones de los cartílagos nasales y de los músculos faciales implicados en la toma de comida. Al final concluyeron que los perezosos de hocico ancho (*Glossotherium* y *Lestodon*) presentaban un labio superior cuadrado no prensil y presentaban una alimentación de tipo generalista utilizando los labios junto con la lengua para arrancar tanto pastos como plantas herbáceas. Los perezosos de hocico estrecho (*Mylodon*, *Scelidotherium*, y *Megatherium*) tenían un labio cónico y prensil y se alimentaban de forma mixta o selectiva utilizando el labio prensil para seleccionar las plantas o partes particulares de alguna planta como podrían ser hojas y brotes tiernos.

Con la intención de elaborar una base de datos útiles para estudios autoecológicos y sinecológicos Fariña *et al.* (1998) realizaron las estimaciones de la masa corporal de varias especies de xenartros y epiterios del Lujanense utilizando una serie de ecuaciones alométricas previamente desarrolladas con base a las dimensiones craneanas, dentales y del esqueleto apendicular. Estadísticamente los datos obtenidos para los xenartros extintos presentaron una notable dispersión, sin embargo para los taxones que muestran representantes vivientes la dispersión fue menor y recomiendan utilizar el valor de la media aritmética en aquellos estudios en los que la hipótesis conservadora sea el tamaño mayor y alguna otra cantidad como la media geométrica, la moda o la mediana en el caso contrario.



Área de Estudio

La recolecta del material se realizó dentro de un predio particular de la colonia Tejabanes, Municipio de Tlalnepantla de Baz, Estado de México; dentro de la zona metropolitana adyacente a la Ciudad de México. La posición geográfica central es $19^{\circ} 31' 53''$ de latitud Norte y $99^{\circ} 11' 41''$ longitud Oeste. La ruta de acceso es por Av. Juárez, en la intersección con la Av. Ayuntamiento (fig. 4). Todo el yacimiento fue destruido por la construcción de una gasolinera (Cristín, 2003).

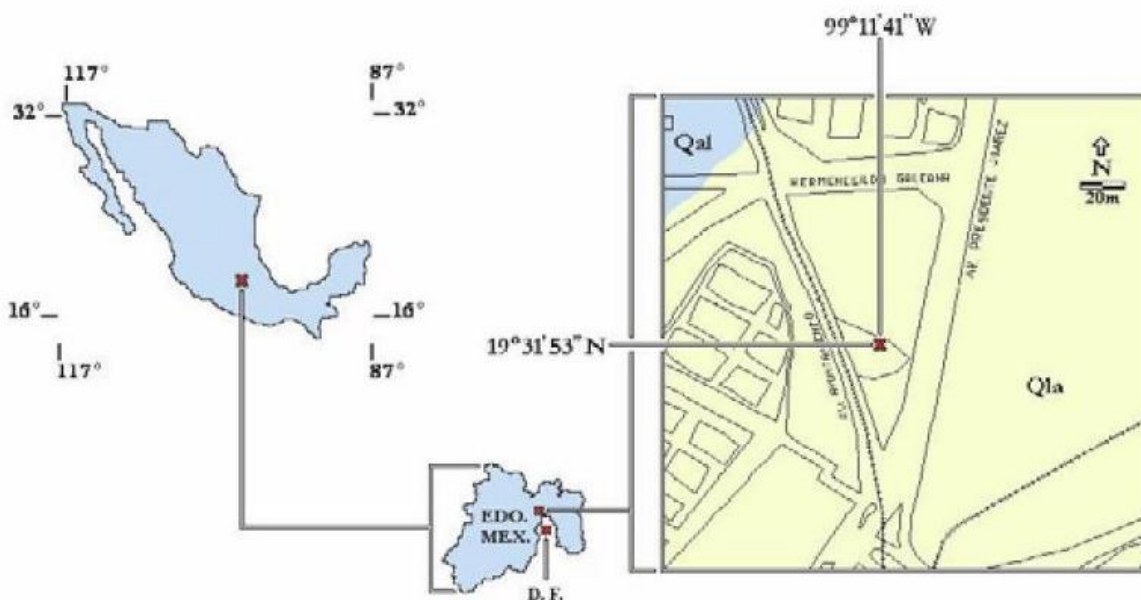


Figura 4. Ubicación de la localidad Tejabanes de donde procede el material fósil utilizado para este estudio. Qal: Depósitos aluviales del pleistoceno tardío, Qla: Depósitos lacustres del pleistoceno tardío. Tomado de Cristín, 2003

El yacimiento comprendía un área que medía aproximadamente 370 m^2 y consistió en un depósito volcánico - sedimentario de arcillas y arenas. Éstas estaban consolidadas en el basamento y presentaban un color grisáceo. Su espesor máximo era de 1.80 m. Sobreyaciendo a esta capa, se encontraba el estrato fosilífero de arenas - arcillas grisáceas, menos compactadas y con un espesor que variaba entre los 0.20 a 0.80 m. La capa contenía unos cuantos guijarros, algunos cantos



rodados no superiores a 15cm de diámetro; lentes pumíticos, lentes de arenas gruesas así como minerales visibles a simple vista (fig.5) (Cristín, 2003).

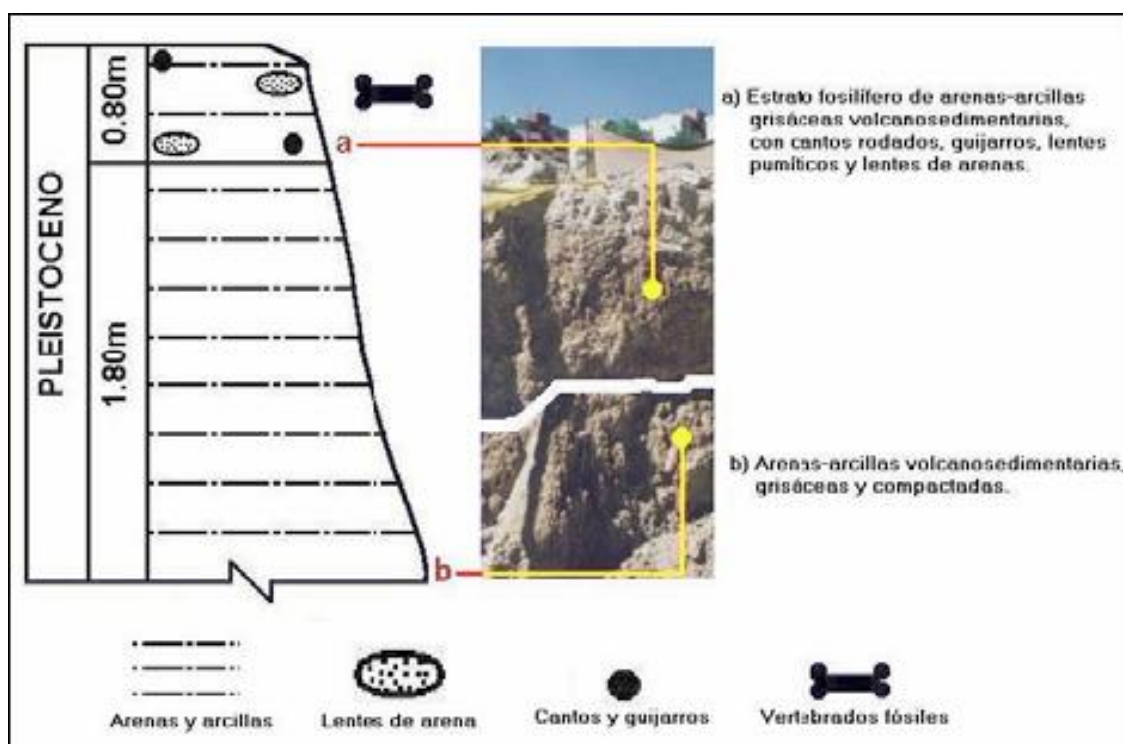


Figura 5. Sección estratigráfica parcial de la localidad Tejabanes. Tomado de Crstín, 2003

El área de estudio se ubica en una región próxima al contacto litológico lacustre - aluvial (fig. 3). Con base en información geológica y topográfica, Tapia y López (2002, citado por Cristín, 2003) determinan y mapean unidades morfogénéticas (*i. e.* unidades del relieve en función de su origen, tipo, edad y geometría) éstas coinciden en que el área de estudio se ubica próxima al límite noroeste de la unidad denominada PII61, que se caracteriza por sedimentos clásticos y piroclásticos depositados en un ambiente lacustre. En síntesis, la localización del área de estudio dentro de los mapas temáticos mencionados, así como las semejanzas litológicas entre los sedimentos observados y descritos por los autores, hacen suponer que el área de estudio probablemente perteneció a una superficie de inundación originada por eventos de transgresión lacustre (Cristín, 2003).



Objetivos

General

- Determinar caracteres biomecánicos de las extremidades y mandíbula del perezoso gigante *P. harlani* del municipio de Tlalnepantla de Baz y sus posibles implicaciones paleobiológicas y paleoecológicas.

Particulares

- Con base al Índice de Capacidad Atlética establecer la posibilidad de que *P. harlani* pudiera mantener actividades bípedas
- Determinar la posible actividad fosorial de *P. harlani* utilizando el Índice de habilidad Fosorial.
- Aplicar el Índice de Hipsodoncia para analizar los posibles hábitos alimenticios de *P. harlani*.
- Con base en el análisis biomecánico proponer un posible tipo de ambiente y vegetación del Municipio de Tlalnepantla de Baz.



Material y Métodos

El trabajo se dividió en dos partes: trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

Laboratorio

Durante las excavaciones en la localidad Tejabanes, el Instituto de Geología de la UNAM conservo una gran cantidad de piezas óseas correspondientes al perezoso gigante *P. harlani*, este material fue trabajado y descrito en primer instancia por Cristín (2003), otra parte del material extraído quedo bajo custodia del Laboratorio de Paleontología de Vertebrados de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FESI), este material se encontraba aún dentro de los jackets realizados durante la excavación para la protección y transporte del material, por lo tanto se procedió a la limpieza y extracción de 8 jackets.

Con la ayuda de cinceles, martillos y picahielos se removieron de forma uniforme los sedimentos del jacket que contenía la(s) pieza(s) óseas, estos sedimentos se depositaron en costales y fueron almacenados para un posible análisis micropaleontológico, éste último no forma parte del presente trabajo. Cuando se retiraba una cantidad considerable del sedimento, se procedía a cortar el jacket para poder seguir removiendo el sedimento de forma mas fácil y cómoda. Esta operación se repitió hasta poder retirar de forma segura la o las piezas contenidas en el jacket.

Una vez extraída la pieza del jacket, se procedió a una limpieza mas fina del material, para esto se colocaron las piezas dentro de un arenero y se utilizaron diversas puntas odontológicas para retirar el sedimento pegado, sin embargo en algunos casos el sedimento se encontraba muy adherido a las piezas, por lo tanto se recurrió al uso de peróxido de hidrógeno al 10% para disminuir la tensión superficial del sedimento y facilitar su remoción; en algunos casos el sedimento no pudo ser removido de esta manera y se tuvo que utilizar un microtaladro de alta velocidad y un percutor eléctrico de la marca Dremell® para retirar el sedimento persistente.



Ya con el material limpio se realizaron las restauraciones pertinentes, si las piezas se encontraban en un estado muy delicado se sumergían en gliptol o en una mezcla de resistol blanco y agua al 15% para evitar su deterioro y lograr su consolidación, una vez que el material dejaba de “burbujear” se retiraba de la solución y se dejaba escurrir el excedente.

Las piezas que durante la extracción se fracturaron o se encontraron rotas fueron pegadas con una mezcla hecha de yeso odontológico – hueso molido (80% - 20%) y suficiente resistol blanco hasta formar una pasta de consistencia parecida al puré. El hueso molido que se utilizó correspondía a material inidentificable y de desecho sin ningún valor taxonómico y se utilizó con la finalidad de que la mezcla al secar pudiera conservar el color original del hueso, sin embargo, si el color obtenido no se parecía al original, el material era teñido con chapopote diluido con gasolina blanca hasta obtener el color deseado.

Una vez limpio y restaurado, el material obtenido fue presentado para su rotulación, descripción y anexo a la Colección Paleontológica de la FESI.

Gabinete

Cálculo del ICA

Se aplicó el modelo utilizado por Fariña (1995a), Fariña et al. (1997) y Bargo (2000) para determinar la capacidad atlética y la resistencia de los huesos largos (fémur y húmero). Las medidas utilizadas se indican en las figuras 6 y 7 para el fémur y húmero respectivamente.

$$ICA = \frac{Z}{amgx}$$



Donde:

Z: Módulo de sección transversal. El cálculo de esta variable no difiere de los cálculos utilizados por la ingeniería para analizar la resistencia en diversos materiales. El módulo de sección transversal se calculo como si el hueso fuera sólido, empero, los huesos largos de los vertebrados se sabe que no son completamente sólidos, sino que presentan un espacio hueco que aloja la médula ósea lo cual les proporcionaría un mayor momento de inercia y por lo tanto una mayor resistencia a la flexión (McNeill, 1971, 1982 y Fariña, 1995), sin embargo, al no poder medir directamente o indirectamente el área ocupada por la médula ósea, para este calculo se considero el hueso sólido, ya que solo se obtendría una sobreestimación de alrededor del 10% (Comunicación personal con el Dr. Fariña R.). Para este cálculo se asumió que la sección transversal del hueso presenta una forma elíptica, por lo tanto se utilizo la siguiente formula (McNeill, 1971, Fenner, 1989 y Fariña, 1995a):

$$Z = \frac{\pi \times a^2 \times b}{4}$$

Para esta ecuación **a** corresponde al radio del eje en el que se ejerce la flexión, en sentido anteroposterior para la marcha hacia adelante, por lo tanto corresponde al radio del eje menor. **b** concierne al radio del eje perpendicular al eje donde se ejerce la flexión, en este caso el eje mayor.

a: Es la fracción del peso que soportada por el par de extremidades considerado, para obtenerlo primero se determinó el centro de masa, para esto se suspendió con hilos en dos puntos diferentes un modelo a escala en papel y se proyectaron las líneas de estos hilos, el punto en que se cruzaron se consideró como el centro de masa. Sin embargo, ya que el modelo está compuesto de un material homogéneo, y no así su original, los centros de masa de uno y otro pueden no coincidir, por lo cual es necesario considerar el espacio que ocupan los pulmones, estos ocupan una proporción de alrededor del 8% del volumen corporal total, para efectos de la simplificación de los cálculos, se supuso que este valor subía al 10%. Trazando una línea entre el centro de masa del modelo, y el que los pulmones deben de haber ocupado en el organismo real, y prolongándola un 10% de esa distancia hacia atrás, se halló el probable centro de masa real. La fracción **a** del peso que soporta



cada par de extremidades es inversamente proporcional a la distancia entre su punto de apoyo y la proyección del centro de masa en el piso.

m: Es la masa en Kg. del animal, para esto se elaboro un modelo a escala en plastilina, posteriormente fue sumergido en agua, el peso del animal se calculo multiplicando la escala por el volumen de agua que fue desplazado por el modelo y la densidad del organismo que en este caso como McNeill, (2006) y Fariña, (1995, 2000) se asumió que era la misma que la del agua.

g: Es la aceleración de la gravedad.

x: Es la distancia de Z al extremo del hueso, que en este caso fue tomada a la mitad del hueso.

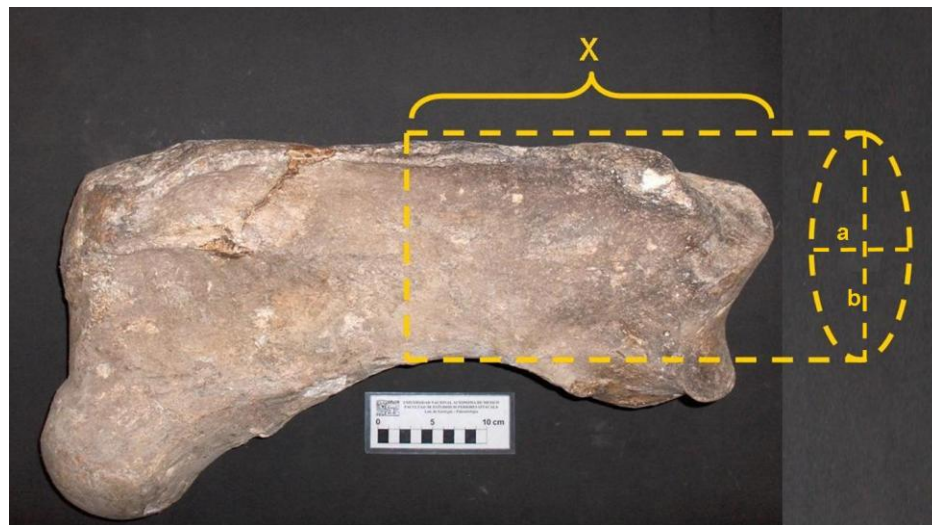


Figura 6. Medidas del fémur consideradas para realizar el cálculo del ICA

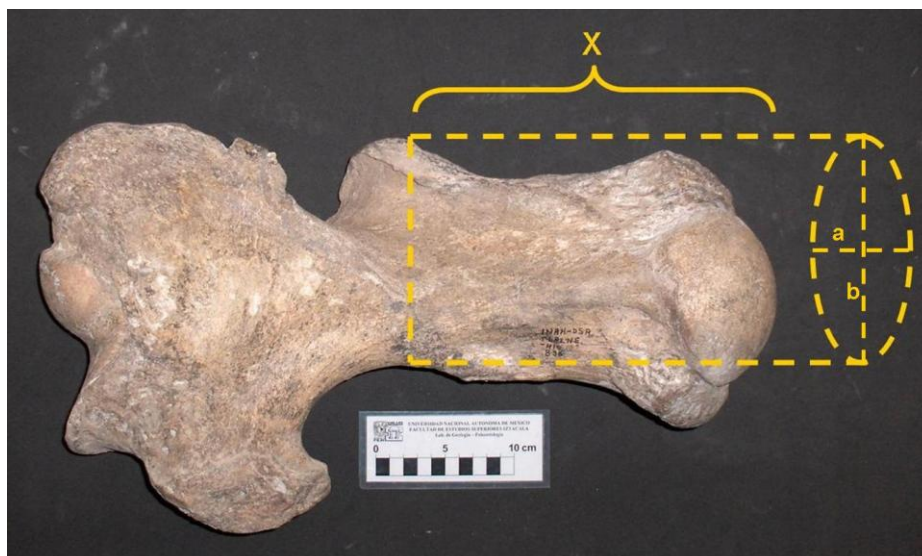


Figura 7. Medidas del Húmero consideradas para realizar el calculo del ICA

Calculo del IHF

Se utilizo el índice de habilidad fosorial propuesto por Vizcaino y Fariña (1997) y Bargo *et al.* (2000) calculándolo de la siguiente manera (Las medidas consideradas se muestran en la figura 8)

$$IHF = \frac{LO}{LU - LO}$$

Donde:

LO: Longitud del olecranon

LU: Longitud total de la ulna

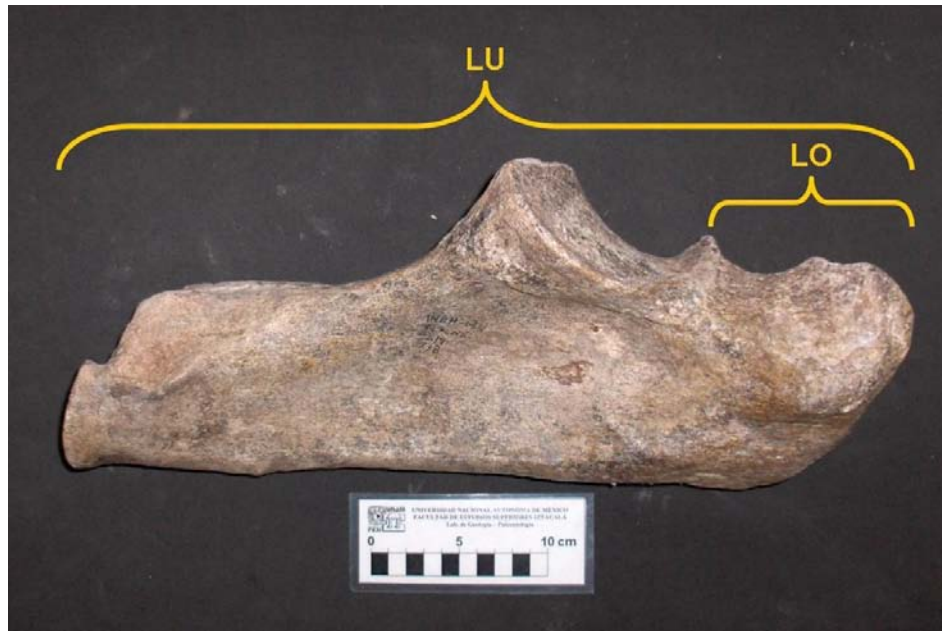


Figura 8. Medidas de la ulna consideradas para realizar el calculo del IHF

Calculo del IH

En la figura 9 se indican las mediciones tomadas para el cálculo del índice de hipsodoncia, el cual fue obtenido como Bargo *et al.* (2006) con la siguiente formula:

$$IH = \frac{ASO}{LHD}$$

Donde:

ASO: Altura de la superficie oclusal a la altura del tercer molar

LHD: Longitud de la hilera dental



Figura 9: Medidas de la mandíbula consideradas para realizar el cálculo del IH



Cálculos alométricos

Debido a que la mayoría del material se encuentra incompleto y fracturado fue necesario realizar modelos alométricos para poder obtener las medidas necesarias para aplicar los modelos biomecánicos. Se realizó un modelo para cada medida.

Para la construcción de los modelos alométricos se utilizó una la regresión estándar propuesta por Gershenowies (2007), la cual utiliza un criterio de selección estándar.

Para realizar este modelo, primeramente se obtuvo el logaritmo en base 10 de ambas variables.

Posteriormente, con las variables convertidas se obtuvieron los datos que se muestran en el cuadro 1

Cuadro 1. Matriz para la obtención de los coeficientes de “ α ”, “ b ” y “ r ”

X	Y	XY	X^2	Y^2
X_1	Y_1	X_1Y_1	$(X_1)^2$	$(Y_1)^2$
X_2	Y_2	X_2Y_2	$(X_2)^2$	$(Y_2)^2$
X_n	Y_n	X_nY_n	$(X_n)^2$	$(Y_n)^2$
ΣX	ΣY	ΣXY	ΣX^2	ΣY^2

Donde:

n = Número de datos por columna

Mediante el método de los mínimos cuadrados se obtuvieron los valores de “ α ” y “ b ” utilizando las siguientes formulas:



$$\alpha = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \text{anti log} \frac{\sum Y - \alpha \sum X}{n}$$

Por ultimo se obtuvo el coeficiente de correlación con la fórmula siguiente:

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{[\{n \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}]^{0.5}}$$

Con la finalidad de evaluar la significancia del coeficiente de correlación se obtuvieron los grados de libertad de la manera siguiente:

$$gl = n - 2$$

Con los grados de libertad resultantes se calculo el valor de $r_{0.05}$ utilizando las tablas de Gersnowies (2007). Si el valor de r resultaba menor que el obtenido en las tablas, la correlación no era significativa y por lo tanto la ecuación resultaba inválida. Si el valor de r era mayor que el calculado en las tablas la correlación era significativa y por tanto la ecuación resultaba valida.



Resultados

Se obtuvieron 37 piezas óseas de las extremidades, pertinentes para la realización del análisis biomecánico. En general el estado de conservación del material es bueno, sin embargo solo 5 fémures, 2 húmeros y 6 ulnas estaban completas, por lo tanto fue necesaria la aplicación de relaciones alométricas para poder obtener las medidas de las partes faltantes de los huesos incompletos. Para esto se utilizó la regresión propuesta por Gershenowies (2007)

En los cuadros 2 al 10 se muestran los valores obtenidos para el cálculo de los coeficientes α , b y el coeficiente de correlación r , también se muestran los valores de $r_{0.05}$. Para todos los análisis realizados no se obtuvieron relaciones válidas, con excepción de la correspondiente a la longitud máxima del húmero y el diámetro menor (cuadro 4).

Cuadro 2. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención de la longitud máxima de las ulnas.

Ejemplar	Cara articular (x)	Longitud máxima (y)
INAH - DSA 990UI	6.42	34.1
INAH - DSA 901	6.88	38.5
INAH - DSA 591UI	6.5	42
INAH - DSA 1086	6.58	41
INAH - DSA 741	6.83	42
INAH - DSA 738	7.72	41.4
<i>M. harlani</i> *	6.48	38.6
Sumatorias		
$\alpha = 0.4670$		
$b = 16.2066$		
$r = 0.3991$		
$r_{0.05} = 0.754$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925



Cuadro 3. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención de la longitud del proceso olecranon

Ejemplar	Cara articular (x)	Proceso olecranon (y)
INAH - DSA 990UI	6.42	9
INAH - DSA 901	6.88	10.8
INAH - DSA 591UI	6.5	11.26
INAH - DSA 1086	6.58	11.4
INAH - DSA 741	6.83	11.25
INAH - DSA 738	7.72	11.1
<i>M. harlani</i> *	6.48	9.24
Sumatorias		
$\alpha = 0.6857$		
$b = 2.8405$		
$r = 0.4394$		
$r_{0.05} = 0.754$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925

Cuadro 4. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención de la longitud máxima de los húmeros

Ejemplar	Diámetro menor (x)	Longitud máxima (y)
INAH - DSA 1038	6.4	49.1
INAH - DSA 836	8.2	48.1
<i>M. harlani</i> *	7.63	45.03
<i>N. shastense</i> *	5.03	43.24
<i>M. jeffersoni</i> *	6.05	44.7
Sumatorias		
$\alpha = 0.1589$		
$b = 34.0984$		
$r = -1.0150$		
$r_{0.05} = 0.878$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925



Cuadro 5. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención del diámetro mayor de los húmeros

Ejemplar	Longitud máxima(x)	Diámetro mayor (y)
INAH – DSA 1038	49.1	13.3
INAH – DSA 836	48.1	15
<i>M. harlani</i> *	45.03	12.66
Sumatorias		
$\alpha = 1.0585$		
$b = 0.2293$		
$r = 0.5484$		
$r_{0.05} = 0.997$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925

Cuadro 6. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención de la longitud máxima de los fémures

Ejemplar	Espacio intercondilar (x)	Longitud máxima (y)
INAH – DSA 822	5.7	57.1
INAH – DSA 1043	5.9	59.8
INAH – DSA 648	4.1	57.4
<i>M. harlani</i> *	4.7	54.64
Sumatorias		
$\alpha = 0.1059$		
$b = 48.1912$		
$r = 0.4900$		
$r_{0.05} = 0.950$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925



Cuadro 7. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención de la longitud máxima de los fémures

Ejemplar	Ancho del cóndilo exterior (x)	Longitud máxima (y)
INAH – DSA 1093	7.68	57.5
P. harlani**	6.44	51.43
M. harlani*	6.36	54.24
M. harlani*	6.34	59.2
Sumatorias		
$\alpha = -0.0154$		
$b = 57.1627$		
$r = 0.3140$		
$r_{0.05} = 0.950$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925

** Datos obtenidos de McDonald *et al.*, 2004

Cuadro 8. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención de la longitud de la longitud máxima

Ejemplar	Circunferencia de la cabeza femoral (x)	Longitud máxima (y)
INAH – DSA 822	41.5	57.1
INAH – DSA 1043	40.6	59.8
INAH – DSA 1093	39	57.5
INAH – DSA 648	39	57.4
<i>M. harlani</i> *	40.1	54.64
<i>P. harlani</i> **	39.7	51.43
Sumatorias		
$\alpha = 0.3559$		
$b = 15.1284$		
$r = 0.1645$		
$r_{0.05} = 0.811$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925

** Datos obtenidos de McDonald *et al.*, 2004



Cuadro 9. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención del diámetro mayor de los fémures

Ejemplar	Longitud máxima (x)	Diámetro mayor (y)
INAH - DSA 1093	57.5	17.2
INAH - DSA 822	57.1	19.3
INAH - DSA 1043	59.8	18.6
INAH - DSA 648	57.4	18.9
<i>M. harlani</i> *	53.93	17.3
<i>M. harlani</i> *	54.64	16.43
Sumatorias		
$\alpha = 1.0634$		
$b = 0.2446$		
$r = 0.6311$		
$r_{0.05} = 0.811$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925

Cuadro 10. Medidas (cm) y análisis alométrico para la obtención del diámetro menor de los fémures

Ejemplar	Longitud máxima (x)	Diámetro menor (y)
INAH - DSA 1093	57.5	7.3
INAH - DSA 822	57.1	7.9
INAH - DSA 1043	59.8	7.7
INAH - DSA 648	57.4	7.7
<i>M. harlani</i> *	53.93	7.86
<i>M. harlani</i> *	54.64	6.74
Sumatorias		
$\alpha = 0.4667$		
$b = 1.1424$		
$r = 0.2902$		
$r_{0.05} = 0.811$		

* Datos obtenidos de Stock, 1925

Con los datos del cuadro 4 se obtuvo la ecuación:

$$\text{Longitud máxima} = 34.0984 \times \text{Diámetro menor}^{0.1589}$$



Sin embargo, debido a que solo una de las ecuaciones resultaro valida no fue posible obtener las medidas restantes de las piezas incompletas, por lo que fueron descartadas y se procedió a utilizar el promedio de las piezas que se encontraban completas (cuadro 11 – 13) para realizar el análisis biomecánico.

Cuadro 11. Medidas (cm), promedio, error asociado y coeficiente de variación de las ulnas completas

Ejemplar	Largo	Proceso olecranon
INAH - DSA 990UI	34.1	13.12
INAH - DSA 901	38.5	13.89
INAH - DSA 591UI	42	14.19
INAH - DSA 1086	41	13.73
INAH - DSA 741	42	14.05
INAH - DSA 738	41.4	13.45
Media	39.8333	13.7383
Error asociado	6.0790	0.7809
Coeficiente de variación	15.2611%	5.6842%

Cuadro 11. Medidas (cm), promedio, error asociado y coeficiente de variación de los húmeros completos

Ejemplar	Diámetro menor	Diámetro mayor	Longitud máxima
INAH - DSA 1038	6.4	13.3	49.1
INAH - DSA 836	7.3	14.8	48.1
Media	6.85	14.05	48.6
Error asociado	1.2505	2.0841	1.3894
Coeficiente de variación	18.2557%	14.8341%	2.8589%

Cuadro 11. Medidas (cm), promedio, error asociado y coeficiente de variación de los fémures completos

Ejemplar	Diámetro menor	Diámetro mayor	Longitud máxima
INAH - DSA 822	7.9	19.3	57.1
INAH - DAS 1043	7.7	18.6	59.8
INAH - DSA 648	7.7	18.9	57.4
INAH - DSA 1093	7.3	17.2	57.5
Promedio	7.65	18.5	57.95
Error asociado	0.4945	1.7937	2.4464
Coeficiente de variación	6.4642%	9.6961%	4.2215%



Con base a las medidas proporcionadas por Stock (1925) se realizó un modelo en plastilina a una escala de 0.07 (fig. 10) para calcular el peso por medio de desplazamiento de agua, de esta manera se calculo un peso de 1.511 toneladas (cuadro 12). De igual manera para el cálculo de la proporción de peso soportada por cada par de extremidades se utilizo una reconstrucción realizada por Stock (1925) la cual se encontraba a una escala de 0.07 (fig. 10), de manera que se obtuvo una proporción del 68% del peso soportado por los fémures y un 32% para los húmeros (cuadro 12).

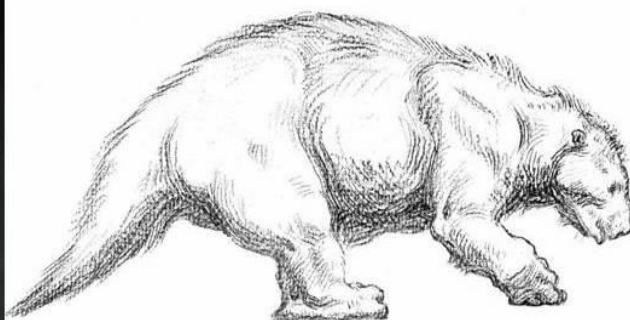


Figura 10. Modelos a escala utilizados para calcular la masa total y proporción de peso soportada por cada par de extremidades

Con el cálculo del peso, la proporción soportada por cada par de extremidades y el promedio de las medidas de los ejemplares completos se procedió a calcular el modulo de sección transversal **Z** y con ello el **ICA** para los fémures y los húmeros (cuadro 12)

Cuadro 12. Medidas (m) y factores utilizados para la obtención de Z y del ICA

Ejemplares	Longitud máxima	Radio mayor	Radio menor	Z	a	m	g	x	ICA
Húmeros	0.486	0.07025	0.03425	0.000064722	0.68	1511.39	9.8	0.243	36.4216
Fémures	0.5795	0.0925	0.03825	0.000106291	0.32	1511.39	9.8	0.28975	56.1951

Cuadro 13. Valores del ICA, peso y porcentaje del peso soportado por los fémures y húmeros calculados para *Paramylodon harlani* (negritas y cursivas) y algunos vertebrados actuales. Datos tomados de Fariña, 2000 y Bargo *et al.*, 2000.

Organismo	Peso (ton)	% de peso en fémures	ICA fémur (Gpa ⁻¹)	ICA húmero (Gpa ⁻¹)	ICA fémur / ICA húmero
<i>Struthio</i>	0,04	100	44		
<i>Loxodonta</i>	2,5	42	7	11	0.64
<i>Ceratotherium</i>	0,75	40	26	31	0.84
<i>Syncerus</i>	0,5	40	22	21	1,05
<i>Megatherium americanum</i>	3,8	60	28	21	1.33
<i>M. americanum</i> bípedo	3,8	100	17		
<i>Lestodon armatus</i>	4,1	68	9	10	0.9
<i>L. armatus</i> bípedo	4,1	100	6		
<i>Scelidotherrium leptocephalum</i>	0,85	63	27	29	0.93
<i>S. leptocephalum</i> bípedo	0,85	100	17		
<i>Glossotherium robustum</i>	1,5	69	18	25	0.72
<i>G. robustum</i> bípedo	1,5	100	13		
<i>Paramylodon harlani</i>	1,5	68	36.4216	56.1951	0.64
<i>P. harlani</i> bípedo	1,5	100	24.7667		





Cuadro 14. Índice de habilidad fosorial obtenido en *Paramylodon harlani* (negritas y cursivas) comparado con otros mamíferos. EO, excavador ocasional; NE, no excavador; EM, excavador de madrigueras; E, excavador; AE, altamente excavador. Datos tomados de Bargo et al., 2000

Taxón	Longitud de la ulna LU (mm)	Longitud del olecranon LO (mm)	IHF	Hábitos
Carnivora				
<i>Conepatus</i>	60.1	12.8	0.27	EO
<i>Felis</i>	110.8	14.3	0.15	NE
<i>Dusicyon</i>	136.4	17.1	0.14	NE
Rodentia				
<i>Dolichotis</i>	170.0	25.0	0.17	NE
<i>Lagostomus</i>	86.6	18.2	0.27	EM
<i>Hydrochaeris</i>	166.8	46.3	0.39	NE
Xenarthra				
<i>Tolypeutes</i>	49.4	17.0	0.53	NE
<i>Dasypus</i>	68.7	26.7	0.64	E
<i>Euphractus</i>	70.3	27.9	0.66	E
<i>Cabassous</i>	68.7	31.4	0.84	AE
<i>Chlamyphorus</i>	22.2	11.9	1.15	EM
<i>Lestodon</i>	460	160	0.53	¿?
<i>Glossotherium</i>	360	130	0.56	¿?
<i>Scelidotherrium</i>	340	120	0.54	¿?
<i>Megatherium</i>	670	140	0.26	¿?
<i>Paramylodon harlani</i>	398.333	137.383	0.5264	¿EO?



Para los fémures se obtuvo un ICA de 45.8642 Gpa^{-1} mientras que para los húmeros fue de 39.0922 Gpa^{-1} . El ICA obtenido para los fémures soportando todo el peso fue de 24.7667 Gpa^{-1} . Los índices resultantes fueron claramente superiores a los calculados para otros milodontidos y gliptodontes (Cuadro 13).

Para el cálculo del IHF se contó con 6 ulnas completas. Utilizando los promedios obtenidos para sus medidas se obtuvo un resultado de 0.3720, al compararlos con los calculados para otros milodontidos resulto ser mas bajo (Cuadro 14).

En el caso del IH se contó con solamente 3 piezas, las medidas y tomadas utilizadas para el índice se muestran en el cuadro 15. El promedio fue de $0,63 \pm 0,03$ con un intervalo de 0.60 – 0.66 y se encuentra dentro del rango calculado por Bargo *et al.* (2006a) para la misma especie y otros milodontidos (cuadro 16).

Cuadro 15. Medidas e índice de hipsodoncia calculados para *P. harlani*

Ejemplar	LHD (cm)	ASO (cm)	IH
INAH - DSA 1084 izq	15.2	9.2	0.60
INAH - DSA 1084 der	15.1	9.53	0.63
INAH - DSA 265 der	15.2	10.14	0.66



Cuadro 16. Índice de hipsodoncia calculado en *P. harlani* (negritas) comparado con otros perezosos. Datos tomados de Bargo et al., 2006a

Especie	n	IH
<i>G. robustum</i>	3	0.71
<i>L. armatus</i>	5	0.62
<i>M. darwini</i>	3	0.78
<i>P. harlani</i>	17	0.7
<i>S. leptcephalum</i>	7	0.91
<i>M. americanum</i>	22	1.02
<i>M. tarijense</i>	2	0.87
<i>M. medinae</i>	4	0.9
<i>M. altiplanicum</i>	1	1.01
<i>E. laurillardi</i>	17	0.77
<i>E. eomigrans</i>	1	0.78
<i>P. harlani Tlalnepantla</i>	3	0.63 ± 0.03



Discusión

El hecho que las regresiones planteadas resulten inválidas y no demuestren alometría, puede asociarse a que la población es muy semejante en cuanto a tamaño, esto pudo deberse a que la muestra contenía solo organismos adultos, otra posible causa es que los caracteres no se encuentran sometidos a presión de selección dando como resultado una población de morfología muy semejante. Para esto las condiciones ambientales a las que fueron sometidos estos organismos debieron de ser muy estables.

Sin embargo, una hipótesis mas plausible es que tal resultado pudo haber sido causado porque el tamaño de muestra no fue suficiente, ya que en algunos casos solo se conto con tres muestras siendo el máximo 6 piezas. Esta hipótesis se puede apoyar en el hecho que si se pudo obtener una ecuación valida, esto puede demostrar que si existe alometría en la población, solo que no se cuenta con los datos suficientes. Esta falta de datos no pudo remediarse con la obtención de las medidas tomadas de otros trabajos ya que las descripciones realizadas por otros autores para esta especie no incluyen la toma de medidas necesarias para este análisis.

La indeterminación de la alometría, se suplió realizando los promedios de cada medida. Los coeficientes de variación de estos promedios resultaron razonablemente bajos (menores del 20% en todos los casos) y aceptables para una población, esto podría estar relacionado con la falta de alometría debida a la poca variabilidad dentro de la población, sin embargo, es necesaria la utilización de mas medidas para realizar análisis alométricos más confiables. Debido a este bajo coeficiente de variación se tomo como adecuados estos datos para utilizarlos en el estudio biomecánico.

Diversos autores han calculado el peso de animales extintos utilizando modelos alométricos con diversas partes del esqueleto, sin embargo muchos de ellos se basan en la comparación de sus resultados con fauna actual como en el caso de algunos ungulados (McNeill, 2006, Martin, 1990), no obstante, en el caso de los perezosos, es muy poco probable debido a la falta de parientes actuales que sirvan de comparación. Otro método se basa en la medición de las diversas circunferencias a lo



largo del fémur y del húmero, sin embargo este método tiene el inconveniente de caer en razonamientos circulares al calcular la resistencia de estos huesos. Debido a esto, en este caso se utilizó un método basado en el desplazamiento de agua por un modelo a escala, este método ha demostrado no tener grandes errores ya que se han probado y comparado los resultados obtenidos con ecuaciones alométricas (Fariña *et al.*, 1998, Bargo *et al.*, 2000) y con los obtenidos por modelos generados por computadora (Bargo *et al.*, 2000).

El peso calculado con el modelo a escala en plastilina resultó semejante al obtenido en *Glossotherium robustum* (Bargo *et al.*, 2000), esta especie es muy semejante a *P. harlani*, por lo tanto, no se esperaban grandes diferencias en cuanto al peso entre estas dos especies. Sin embargo, es necesario realizar otros cálculos del peso mediante otros métodos como son los modelos por computadora o las relaciones alométricas para poder contrastar mejor este resultado y tener una mayor confiabilidad.

La proporción soportada por las extremidades resultó parecida a la calculada por Bargo *et al.* (2000) para otros milodóntidos. Esto es plausible al considerar que todas estas especies pertenecen a la misma familia. De acuerdo con Bargo *et al.* (2000) la posición del centro de masa cerca de las extremidades posteriores facilitan la adopción de la postura bípeda desplazando el peso hacia los pies con pocos cambios en la postura, lo cual ya ha sido propuesto para algunos milodóntidos al sugerir que estos se alimentaban de las hojas de los árboles.

El **ICA** calculado para los húmeros de *P. harlani* es muy alto (56.1951 Gpa^{-1}) y no concuerda con ninguno de los valores obtenidos para otros milodontidos por Bargo *et al.* (2000), el valor que se obtuvo se acerca más a los valores de *Ceratotherium* (31 Gpa^{-1}) y para el gliptodonte *Propalaeohoplophorus australis* (55 Gpa^{-1}) calculado por Fariña (2000), sin embargo, estos animales presentan un peso mucho menor que *P. harlani*.

Al igual que los húmeros, el **ICA** de los fémures de *P. harlani* (36.4216 Gpa^{-1}) no concuerda con ningún milodontido y se acerca más al calculado por Fariña (2000) para el gliptodonte *Doedicurus clavicaudatus* (31 Gpa^{-1}), en este caso el peso es más parecido al ser de 1.4 toneladas.



De acuerdo con Fariña (2000) si un tetrápodo se fractura alguna extremidad anterior esta mas propenso a la depredación, y los costos energéticos de reparación son mayores así como la disminución de las oportunidades de apareamiento y aprovechamiento de recursos comestibles, estas pueden ser algunas de las razones de la gran disparidad encontrada entre el ICA de los húmeros y de los fémures de *P. harlani*.

El perezoso *G. robustum* presenta un gran parecido morfológico y de tamaño con *P. harlani*, sin embargo hay una gran discrepancia entre el **ICA** de estos. Para explicar esta alta diferencia del **ICA** entre *P. harlani* y *G. robustum* es necesario analizar el tamaño de las extremidades de cada uno de estos animales. Esto ultimo es importante ya que el tamaño de los diámetros afecta de forma directa al modulo de sección transversal (**Z**), y es esta variable la que describe la resistencia a la flexión en las vigas y en este caso los huesos largos.

De acuerdo con Bargo *et al.* (2000) el diámetro menor de *G. robustum* es de 55.3 mm mientras que en *P. harlani* el promedio fue de 68.5 mm. La fuerza que se aplica al caminar es en el sentido de este eje, es decir anteroposterior y debido a que **Z** es directamente proporcional con esta fuerza, pequeñas variaciones afectaran de manera mucho mayor la resistencia de los huesos. Otra diferencia existente es la longitud máxima de los húmeros de *G. robustum* y *P. harlani*, esta fue de 400 mm y 486 mm respectivamente, conforme la longitud de los huesos aumente el **ICA** disminuirá al ir aumentando la distancia **x** a la que se toma **Z**, sin embargo, parece que esta variación no afecta en gran medida el **ICA**. Entonces estos altos valores de **ICA** pueden deberse a que los húmeros de *P. harlani* son mas robustos y por tanto presentan un modulo de sección transversal mayor que en los otros milodontidos trabajados por Bargo *et al.* (2000), pese a ser sumamente semejantes en cuanto al peso, con excepción de *L. armatus*, sin embargo, en este último el peso desempeña un papel radical al ser mucho mayor (4.1 ton). En el caso de los fémures ocurre lo mismo que con los húmeros, el **ICA** duplica los valores de *G. robustum* y también se encuentran diferencias entre las medidas del diámetro menor y la longitud.



El **ICA** obtenido para las extremidades posteriores de *P. harlani* es mas próximo al calculado para otros animales actuales de peso inferiores que pueden galopar como el rinoceronte *Ceratotherium* y menores en el caso de los fémures que los obtenidos para la avestruz (*Struthio*) que puede sostener marchas a velocidades más altas que el rinoceronte. Recurriendo al actualismo se podría afirmar que *P. harlani* se encontraría en un punto medio y sostendría marchas mas veloces que *Ceratotherium*, pero menores que *Struthio*. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta la morfología de las extremidades de estos animales. De acuerdo con Bargo *et al.* (2000) en el caso de organismos actuales que pueden correr o saltar, la tibia se presenta mas alta y delgada, y generalmente son digitígrados o ungulígrados lo cual restringe los movimientos laterales a través de la reducción o fusión de los podiales y metapodiales. Los milodontidos como *G. robustum* presentan una tibia mas corta y robusta y son plantígrados por lo que no pueden restringir los movimientos en el plano sagital además de que caminaban sobre la parte lateral de las manos y los pies. Por lo tanto, la semejanza morfológica con *P. harlani* descarta la posibilidad del desarrollo de grandes velocidades que justifique los altos valores del **ICA**. Entonces es necesario encontrar otro tipo de actividades que expliquen estos altos valores obtenidos.

De acuerdo con McNeill (1971), altos valores del **ICA** no necesariamente significan actividades extenuantes por parte de los organismos, ya que los huesos pueden estar diseñados con un alto factor de seguridad, sin embargo, esto nos lleva a pensar en la utilidad de estos huesos sumamente resistentes. Durante las actividades cotidianas de un organismo pueden llevarse a cabo actividades que momentáneamente requieran grandes esfuerzos de las extremidades posteriores por parte de estos. Acciones como la cópula no resulta sumamente desgastantes desde el punto de vista biomecánico para las extremidades posteriores (Fariña, 2000), durante esta actividad los perezosos machos no soportarían todo su peso en las extremidades posteriores ya que parte del peso seria cargado por la hembra. La marcha cuadrúpeda no supondría un gran desgaste que justifique los altos valores del ICA ya que durante cada paso que diera el animal, de acuerdo con la proporción calculada de la masa soportada por cada par de extremidades, las patas traseras soportarían solamente el 68% del peso total, incluso suponiendo una marcha bípeda no resultaría extenuante para los fémures ya que durante esta postura cada extremidad soportaría el 50% del peso con cada paso, proporción que no difiere mucho al adoptar la marcha cuadrúpeda.



Sin embargo las fracturas por fatiga son más comunes que por carga (McNeill, 1971 y 1982) y se producen cuando las estructuras se encuentran sujetas a tensiones dinámicas y fluctuantes, comúnmente se originan después de periodos de tensiones repetitivas o cíclicas. Bajo estas circunstancias es posible que las fracturas se produzcan a niveles de tensión relativamente bajos (Echevarria, 2003). De ahí que mantener una postura bípeda podría representar mayor riesgo para un perezoso que caminar solamente en sus patas traseras, actividades que impliquen este tipo de acciones podrían justificar los altos valores de ICA en los fémures obtenidos para *P. harlani*.

Como se muestra en el cuadro 13 el mantenimiento de la postura bípeda de *P. harlani* produce un **ICA** más cercano al calculado por Bargo *et al.* (2000) para *M. americanum* en posición cuadrúpeda en este caso los fémures estarían soportando solo el 60 % del peso, es decir 2,28 ton y aun así el peso que *P. harlani* soporta en posición bípeda es menor. Es posible deducir que la postura bípeda no somete a altas tensiones a las extremidades posteriores, sin embargo, el mantener una postura bípeda podría poner en riesgo a sufrir una fractura por fatiga a las extremidades posteriores, aun a las bajas tensiones a las cuales estarían sometidas este peligro de fractura podría justificar los altos valores de **ICA** obtenidos para los fémures comparado con otros milodontidos.

Si bien, *P. harlani* podía mantener una posición cuadrúpeda sin necesidad de mucha exigencia desde el punto de vista biomecánico, sus actividades cotidianas lo forzarían a adoptar una postura bípeda. Hay que descartar la rápida huída ya que resulta difícil de justificar como ya se discutió anteriormente debido a la morfología, además es una estrategia poco común en animales que presentan esta talla y peso.

Es difícil imaginar algún depredador para un animal de tonelada y media de peso que justifique el sistema de vida en manadas, sin embargo, hay que recordar que la dentición de estos animales es por demás débil y no presentan el desarrollo de caninos grandes y fuertes para utilizarlos como medio de defensa. Hay que descartar el mimetismo como estrategia contra los depredadores debido al gran volumen que ostentaban. Sin embargo, las crías de estos animales al no contar con el volumen y



peso que podría asegurar su defensa contra los depredadores necesitarían una mayor protección por parte de sus padres o en este caso de toda una manada

Acudiendo al actualismo, se sabe que en la mayoría de los mamíferos actuales que viven en manadas tienden a entablar peleas entre ellos para decidir quien sería el macho alfa o líder, ahora, volviendo a *P. harlani*; las luchas interespecíficas por la supremacía de la manada podrían ser una actividad extenuante. Supongamos que estas luchas se hubiesen llevado a cabo, el adoptar una posición bípeda podría ser una estrategia de exhibición que disuadiera a los demás machos a pelear, si esto no funcionaba, se recurriría a la confrontación, en este caso la posición bípeda liberaría las extremidades anteriores útiles para la lucha. Sin embargo, como sucede con algunos animales de cornamenta que solo se empujan uno contra el otro midiendo sus fuerzas, *P. harlani* pudo haber hecho lo mismo trabando los brazos y forcejeando uno contra el otro. Esta actividad sometería a mayor tensión las extremidades posteriores que estarían soportando el 100% del peso total más el embate del macho rival, de igual manera las extremidades anteriores presentarían mayor tensión debido al trabajo que estarían realizando. Podríamos decir que el macho con mayor fuerza y mejor **ICA** tendría la mayor ventaja para dejar descendencia y perpetuar sus genes.

Considérese el gran desarrollo de las falanges ungales y su empleo como medio de defensa contra posibles depredadores, esto solo sería posible si el animal adoptara una postura bípeda que dejara libres las extremidades anteriores.

Este desarrollo de las falanges ungales y el alto valor del ICA de los húmeros (56.1951 GPA^{-1}) comparado con el de otros milodóntidos (cuadro 13) pueden estar relacionados no solo con la defensa a posibles ataques por depredadores o a luchas interespecíficas sino también a ciertas actividades tróficas relacionadas con la obtención de alimento del subsuelo.

El largo del proceso olecranon de *P. harlani* es muy parecido al presentado *G. robustum* y el **IHF** obtenido (0.5264), resultado muy similar al obtenido por Bargo *et al.* (2000) para otros milodóntidos (cuadro 14).



En el cuadro 14 se muestra una clasificación de los distintos organismos analizados con base a los resultados del **IHF**. Éste modelo desarrollado por Vizcaíno *et al.* (1999, citado por Bargo *et al.*, 2000) resultó ser muy eficaz para distinguir hábitos excavadores en armadillos y otros mamíferos actuales, cuanto mas alto es el resultado se asume que sus hábitos excavadores son mayores, sin embargo, los resultados mostrados en el cuadro 3 muestran que *Lagostomus* con un IHF de 0,27 es un animal que excava madrigueras (EM), de igual manera *Tolipeutes* presenta un IHF alto de 0,53 y esta clasificado como un organismo no excavador (NE).

Sin embargo, en el caso de *P. harlani* considérese el valor del **ICA** presentado en los húmeros (56.1951 Gpa^{-1}), de acuerdo con el cuadro 13, este **ICA** es alto en comparación con los demás organismos, si combinamos los valores del **ICA** y el **IHF** es posible pensar que los brazos estaban preparados para una actividad extenuante como podría ser la elaboración de madrigueras o la constante obtención de alimento del subsuelo como podrían ser bulbos, raíces o tubérculos.

Con respecto a la elaboración de madrigueras, Bargo *et al.* (2000) mencionan la presencia de túneles en la región pampeana correspondientes al pleistoceno las cuales, originalmente se atribuyeron a los gliptodontes, sin embargo debido al problema del caparazón rígido se reconsidero esta hipótesis y se cree que se pudieron pertenecer a *Glossotherium* o a *Scelidotherium* ya que presentan un tamaño que corresponde a estos animales, además de la presencia de marcas paralelas que podrían corresponder al alto desarrollo de las falanges ungales II y IV. Cabe destacar también el problema de la perdida de calor en animales de la tallas de *P. harlani*, aunque el clima durante el pleistoceno era un poco mas frío que el actual la masa de estos animales podría haber dificultado la disipación del calor dentro de las madrigueras, éstas podrían ser una mejor opción para guarecer a las crías durante las temporadas frías, aún así, las madrigueras necesitarían estar adaptadas para alojar también a la madre con el fin de alimentarlas, empero, la elaboración de madrigueras es una estrategia que adoptan animales de tallas mucho menores que *P. harlani*. Además de que no se han reportado algún tipo de estas estructuras cerca de la localidad que puedan confirmar este habito para *P. harlani*.



Fariña (1996 y 2000) entre otros factores utiliza la morfología de los molariformes para inferir una supuesta ingesta de carne, en este caso *P. harlani* no presenta molariformes con cúspides como *M. americanum*, sino planos lo que sugiere una mayor área y funcionalidad para moler, como sugiere Bargo *et al.* (2006a) para otros milodóntidos.

Stock (1925) y Brown (1903) mencionan que *P. harlani* debió haber sido un animal pasador, sin embargo, considérese la debilidad de los molariformes de los Xenarthros debida a la falta de esmalte y la presencia de partículas abrasivas contenidas en los pastos, estas partículas pudieron ser demasiado agresivas para la débil dentición de *P. harlani*, el alto índice de desgaste que los pastos pudieron haber causado en la dentición de estos animales podría representar una desventaja y la postre impedir la correcta molienda del material vegetal. Este problema ha sido resuelto por algunos animales pasadores (p. e. caballos) en los cuales los dientes no dejan de crecer, es decir el desarrollo de la hipsodoncia.

Otra opción es la ingesta de materiales mas suaves y menos agresivos para la dentición como pueden ser hojas, plantas acuáticas, raíces, etc. Como ya se ha mencionado, la posibilidad de la postura bípeda justificada por el **ICA** calculado dejaría libres las extremidades anteriores para muy diversas actividades, una de ellas pudo haber sido aprovechada para alcanzar las hojas de los árboles e incorporarlas a su dieta. La postura bípeda pudo haber facilitado el vadeo de pequeños y poco profundos cuerpos de agua (tal como lo hacen algunos gorilas actuales) en busca de plantas acuáticas mas suaves y menos abrasivas, como se ha sugerido para los desmostilidos.

El **IHF** calculado para *P. harlani* sugiere el uso de las extremidades para cavar en busca de alimentos mas suaves como podrían ser bulbos, raíces e incluso insectos (como otros xenarthros actuales) lo cual puede ser justificado dada la débil dentición, sin embargo, esto conlleva también un problema: la adición a la dieta de partículas abrasivas provenientes del suelo.

El **IH** calculado para *P. harlani* fue de $0,63 \pm 0,03$, aunque resulta un poco mas bajo que la media obtenida por Bargo *et al.* (2006a) para la misma especie se encuentra dentro del rango que estos mismos autores calcularon (cuadro 16). Este resultado sugiere que *P. harlani* podía incorporar



cantidades considerables de abrasivos en su dieta, ya sea proveniente de los pastos o bien incorporados en material vegetal proveniente del suelo.

Si bien, el **IH** no resulta tan alto como en *M. americanum*, es posible inferir la incorporación moderada de material abrasivo. De acuerdo con Bargo y col. (2006a) *P. harlani* pudo haber tenido una dieta mixta consistente en pastos y raíces con inclusiones de material abrasivo provenientes del suelo así como materiales vegetales suaves como son las hojas de árboles y plantas acuáticas.

Bargo *et al.* (2006b) clasifica a *G. robustum* como un animal de alimentación generalista, al considerar las semejanzas morfológicas del hocico entre *P. harlani* y *G. robustum* es posible suponer el mismo tipo de dieta.

Por lo tanto, la dieta mixta sugiere que durante finales del pleistoceno, el municipio de Tlalnepantla de Baz presento un medio en el cual predominasen los pastos así como árboles de talla mediana y plantas con bulbos, la presencia del lago pudo aportar plantas acuáticas suaves a esta dieta. Un ambiente parecido a los pastizales o las sabanas africanas actuales.



Conclusiones

De acuerdo con el análisis alométrico de las extremidades, es posible pensar que la población de *P. harlani* del municipio de Tlalnepantla de Baz presentaba una morfología semejante y poca presión de selección, por lo tanto las condiciones ambientales durante esta parte del pleistoceno debieron ser muy estables y constantes, sin embargo, la falta de muestras hace que esto sea muy dudoso y es mas viable atribuir esta falta de alometría a las pocas muestras con las que se conto. En el caso de los dentarios, la falta de ejemplares y de trabajos que contemplen las medidas pertinentes para los cálculos del **IH** hacen imposible la utilización de modelos alométricos.

El peso de *P. harlani* así como la proporción de cada par de extremidades resultó semejante al calculado para el milodóntido *G. robustum* los cuales presentan una gran semejanza morfológica.

El alto valor del ICA calculado hace posible el desarrollo de actividades extenuantes de forma bípeda. El desarrollo de esta postura proporcionaba una mayor ventaja adaptativa a *P. harlani* al permitirle la obtención de alimento procedente de las ramas de los árboles. La liberación de las extremidades anteriores hizo posible la adopción de hábitos fosoriales, de igual manera lo proveía de una mejor forma de defenderse contra los depredadores. Esta postura también permitió la adopción de hábitos sociales relacionados con la competencia intraespecífica, garantizando la permanencia de mejores pautas genéticas en la descendencia.

El alto valor del ICA permite romper la clásica imagen graviportal de este perezoso como un animal de movimientos lentos y torpes, sugiriendo que fuese un animal de movimientos mas activos.

El IHF resulto similar al de otros milodóntidos, consecuentemente *P. harlani* pudo haber sido un animal que construyera madrigueras y de hábitos moderadamente fosoriales, por lo tanto, es posible clasificarlo como un excavador ocasional (EO).



La posibilidad de la postura bípeda y el largo proceso olecranon así como el alto **ICA** de los fémures, confirma la posibilidad de la utilización de las extremidades anteriores para ciertas actividades fosoriales.

El **IH** resultó muy similar al obtenido para esta especie en trabajos posteriores, al correlacionar este índice con el **IHF** permite afirmar que *P. harlani* no era un animal selectivo como suponían algunos autores, al contrario pudo presentar una dieta mixta consistente de materia vegetal suave como son hojas y plantas acuáticas, así como materiales mas desgastantes para la dentición como son los pastos y materia vegetal proveniente del subsuelo tales como raíces y tubérculos que por su origen incluirían grandes cantidades de minerales abrasivos, una dieta parecida a la presentada por los armadillos actuales. De esta manera es posible romper con la clásica visión de que *P. harlani* era un animal típicamente pasador.

La presencia en esta localidad de *Mammuthus*, diversos ungulados y de *P. harlani* aunado a la constante actividad demostrada con el alto valor del **ICA** y la dieta mixta indicada por el **IHF** y el **IH** de éste ultimo permiten suponer que durante el paso del pleistoceno temprano (Irvingtoniano) al pleistoceno tardío (Rancholabreano), el municipio de Tlalnepantla de Baz sufrió un cambio en el paisaje, deponiendo los ambientes cerrados y dando paso a grandes extensiones abiertas como son los actuales pastizales, llanuras o tundras que conservaban una cantidad moderada de árboles, plantas bulbosas y amplios cuerpos de agua donde florecían grandes cantidades de plantas acuáticas y algas. Este tipo de paisajes debieron prevalecer debido el descenso de la temperatura correspondiente a los últimos periodos glaciales resultando en climas templado – fríos.

Por ultimo, este trabajo permite reafirmar la utilidad de la biomecánica en los refinamientos paleoecológicos y paleoecológicos, demostrando ser una muy valiosa herramienta paleontológica.



Bibliografía

- McNeill A. R. 1971. Animal Mechanics. Sidwick & Jackson London. Great Britain. 346 p.
- McNeill A. R. 1982. Biomecánica. Omega. España. pp 1 – 43
- McNeill A. R. 2006. Dinosaur Biomechanics. Proc. R. Soc. B. *Review*: 1 – 7
- Bargo M. S., Vizcaíno S. F., Archuby M. F. and Blanco R. E. 2000. Limb Bone Proportions, Strength and Digging in Some Lujanian (Late Pleistocene-Early Holocene) Mylodontid Ground Sloths (Mammalia, Xenarthra). J. Vert. Paleo. Vol. 20 (3): 601 – 610
- Bargo S. M. 2003. Biomechanics and Paleobiology of the Xenarthra: The State of the Art. Senckenbergiana Biologica. 83 (1): 41 – 50
- Bargo M. S., De Iuliis G. and Vizcaíno S. F. 2006a. Hypsodonty in Pleistocene Ground Sloths. Acta Paleontológica Polónica. 51 (1): 53 – 61
- Bargo S. M., Toledo N. and Vizcaíno S. F. 2006b Muzzle of South American Pleistocene Ground Sloths (Xenarthra, Tardigrada). J. Morph. 267: 248 – 263
- Bertalanffy L. W. 1983. A Quantitative Theory of Organic Growth (Inquiries on Growth Laws II). Human Biol. a Rec. of Res. Vol. 10 (2). pp. 181 - 213
- Blob R. W. 2001. Evolution of Hindlimb Posture in Nonmammalian Therapsids: Biomechanical Test of Paleontological Hypothesis. Paleobiology. Vol. 27 (1): 14 – 38
- Briggs D. E. J. and Crowther P. R. 1996. Palaeobiology A Synthesis. 5^{ta} ed. Black well Science. Great Britain. Pp. 318 – 322



- Brown B. 1903. A New Genus of Ground Sloth from the Pleistocene of Nebraska. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. Vol 19 (22). pp. 569 – 583
- Castillo C. J., Cabral P. M. y Carranza C. O. 1996. Vertebrados Fósiles del Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. pp. 11 – 40
- Cristín P. A. 2003. Variación morfométrica en *Paramylodon harlani* Owen, (Xenarthra: Milodontidae), de Tlalnepantla de Baz, Estado de México. Tesis de licenciatura. UNAM. FESI. 91 p.
- Duran D. A., Cisneros C. A. y Vargas V. A. 2003. Manual de Bioestadística. UNAM – FESI. pp 79 – 108
- Echevarria R. 2003. Fractura de Materiales. Laboratorio de Ensayos no Destructivos. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Comahue. Argentina. 30 p.
- Engelmann G. F. 1985. The phylogeny of Xenarthra. In G. G. Montgomery (ed.). The evolution and ecology of armadillos, sloths and vermilinguas. Smithsonian Institution Press. pp 51 – 64
- Fariña R. A. 1995 Limb Bone Strength and Habits in Large Glyptodonts. Lethaia. Vol. 28: 189 – 196
- Fariña R. A. 1995a. Paleobiología de los Grandes Mamíferos Lujanenses. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. PEDECIBA. Universidad de la República. Uruguay. 122 p.
- Fariña R. A. y Vizcaino S. 1995. Hace Solo Diez Mil Años. Fin de siglo. Uruguay. 128 p.
- Fariña R. A. and Blanco, R. E. 1996. Megatherium, the Stabber. Biol. Sci. Vol. 263 (1377): 1725 – 1729



- Fariña R. A. Vizcaíno S. F. and Blanco, R. E. 1997. Scaling of the Indicator of Athletic Capability in Fossil and Extant Land Tetrapods. J. Theor. Biol. Vol. 185: 441 – 446
- Fariña R. A., Vizcaíno S. F. and Bargo M. S. 1998. Body Mass Estimations in Lujanian (Late Pleistocene-Early Holocene of South America) Mammal Megafauna. Mastoz. Neot. Vol. 5 (2): 87 - 102
- Fariña R. A. 2000. Física y Matemáticas para Reconstruir la Vida en el Pasado. Actas de Fisiología. 6 pp. 45 – 70
- Fariña R. A., Blanco R. E. and Christiansen P. 2005. Swerving as the Escape Strategy of *Macrauchenia patachonica* Owen (Mammalia; Liptoterna). Ameghiniana. Vol. 42 (4): pp. 751 – 760
- Fenner R. T. 1989. Mechanics of Solids. Blackwell Scientific Publications. United Kingdom. pp 605 - 606
- Gershenowies. R. J. R. 2007. Alometría. UNAM – FESI. México. 142 p.
- Kurtén B. and Anderson E. 1980. Pleistocene Mammals of North America. Columbia University Press, New York. 443 p.
- Martin R. A. 1990. Estimating Body mass and Correlated Variables in Extinct Mammals: Travels in the Fourth Dimension. In Dammuth J. and MacFadden B. J. (ed.). Size in mammalian Paleobiology: Estimation and Biological Implications Cambridge University Press pp. 49 – 68
- McDonald H. G., Agenbroad L. D. and Haden C. M. 2004. Late Pleistocene Mylodont Sloth *Paramylodon harlani* (mammalian: Xenarthra) from Arizona. The Soutw. Nat. 49 (2): 229 – 238



- Prothero D. R. 2004. Bringing Fossils to Life: an Introduction to Paleobiology. (2^{da} ed.). McGraw – Hill Higher Education. México. pp. 20 – 37
- Stock C. 1925. Cenozoic Gravigrade Edentates of Western North America with Special References to the Pleistocene Megalonychinae and Mylodontidae of Rancho La Brea. Carnegie Institution of Washington. 253 p.
- Vizcaíno S. F. and Fariña R. A. 1997. Diet and Locomotion of the Armadillo *Peltephilus*: A New View. Lethaia. Vol. 30: 79 – 86
- Webb. S. D. 1985. The Interrelationships of Tree Sloths and Ground Sloths. In Montgomery G. G. (ed.). The evolution and ecology of armadillos, sloths and vermilinguas. Smithsonian Institution Press. pp. 105 – 112
- Young J. Z., 1980, La Vida de los Mamíferos. Anatomía y Fisiología, Omega, España, pp. 53 – 65