

Modificaciones de la estructura corporal en grupos prehispánicos del norte y sureste de México debido a procesos de microadaptación fenotípica y formas de organización social

José Manuel Arias López*
Olga Villanueva**

Recepción: 28 de enero de 2019.
Aceptación: 11 de octubre de 2019.

Resumen

La discusión sobre diferentes procesos de adaptación que se pueden observar en los diversos grupos humanos, cobra particular interés cuando lo relacionamos directamente al tema de la variabilidad física. Sin embargo, aunque mucho se ha escrito sobre morfología corporal, poco se ha tratado la problemática desde un punto de vista funcional. Además de las presiones del entorno eco-geográfico, los factores socioculturales condicionarán en gran medida el nivel de adaptación, problemática relacionada con el tema de estrés ocupacional en poblaciones antiguas. En este sentido, el análisis de los parámetros mecánicos en los huesos largos (AC, AT, AM, J e Índice de Nordin, entre otros), resulta útil para comprender los tipos (pesca, caza, recolección y agricultura) y niveles (caminar, correr, trepar y cargar) de adaptación desarrollados por las poblaciones humanas en función del medioambiente y de su organización social. En este artículo se discuten los resultados obtenidos del análisis comparativo de dos muestras de población prehispánica, de ambos sexos; la primera (N=60 fémures) procede del sitio de Alta Vista, Zacatecas, del periodo Posclásico (1100 d.C.), con una organización social centralizada-heterárquica, cuya

* Centro INAH Yucatán. yago_arias@hotmail.com

** Centro INAH Zacatecas. ire@prodigy.net.mx

base de subsistencia fue la agricultura y la minería. La segunda, (N=107 fémures) corresponde a individuos que vivieron en la península de Yucatán, entre los periodos Clásico y Posclásico (600-1500 d.C.). Su organización social era heterogénea, centralizada y segmentada; un medioambiente físico homogéneo y una forma de subsistencia basada en la agricultura y en la pesca. Los resultados muestran una repuesta biomecánica ósea a los entornos socioculturales, más que a los geográficos y/o climáticos.

Palabras clave: morfología, funcional, imagenología médica, biomecánica, agricultura.

Abstract

The discussion on different adaptation processes that can be observed in different human groups, takes particular interest when we relate directly to the issue of physical variability. However, although much has been written on topics of body morphology, little has been addressed from a functional point of view. In addition to the pressures of the ecogeographic environment, socio-cultural factors will greatly condition the level of adaptation, a recurrent problem in ancient populations to the phenomenon of occupational stress. In this sense, the analysis of the mechanical parameters in the long bones (AC, AT, AM, J and Nordin Index, among others), are useful to understand the types (fishing, hunting, gathering and agriculture) and levels (walking, running, climbing and carrying) of adaptation developed by human populations according to the environment and their social organization. This contribution discusses the comparative results between two prehispanic samples, of both sexes; the first (N=60 femurs) from Alta Vista, Zacatecas, Postclassic period (1100 AD) with a centralized-heterarchical social organization, whose subsistence base was agriculture and mining. The second (N = 107 femurs) were individuals who lived in the Yucatan Peninsula, between the Classic and Postclassic periods (600-1500 AD) with a heterogeneous, centralized and segmented social organization. With a homogeneous physical environment, whose subsistence base was agriculture and fishing. The results show a biomechanical bone response to sociocultural environments, rather than geographical and / or climatic ones.

Key words: morphology, functional, medical imaging, biomechanics, agriculture.

Introducción

Uno de los objetivos primordiales de la antropología física es el estudio de la variabilidad física en individuos de sociedades antiguas y contemporáneas, ya sea mediante el examen de las características óseas o de las morfológicas. En el primer caso, de las poblaciones antiguas, se utilizan los restos óseos como evidencia primaria que refleja una memoria de interacciones sucesivas con su medioambiente, el sistema óseo responde a las agresiones del entorno, tanto físico como social, acoplándose o no a sus variaciones, modelándose y remodelándose continuamente. Se trata de un proceso dinámico y funcional, cuya huella la podemos “ver” en los huesos, desde temas relacionados con su alimentación hasta los impactos de esfuerzos continuos y cotidianos.

Existen varias formas de describir esta variabilidad, desde la propuesta hecha por Kennedy (1989) quien utiliza más de 50 marcadores de estrés ocupacional, como los índices de robustez de la diáfisis en combinación con las medidas de proporción corporal, hasta la hecha por Jurmain (1999) quien propone considerar las huellas de osteoartritis como producto de una historia de sobrecarga y esfuerzos físicos continuos.

Una forma novedosa de comprender estos mismos fenómenos es recurriendo a la aplicación de la tomografía computarizada en el estudio de la geometría de la sección transversal de los huesos largos; estos estudios se empezaron a realizar en la década de los ochenta, liderados por Christopher Ruff y su equipo del hospital Johns Hopkins (Ruff, 1983, 1984, 1986, 1998, 2008), quienes, con base en estudios de anatomía comparada, pretendían describir y explicar la forma de locomoción y desplazamiento de los primates modernos y extrapolar sus resultados a los restos óseos de los antiguos homínidos, sin embargo, la obtención de resultados estaba supeditada a un importante aparato: el tomógrafo.

De esta manera pretendemos aplicar este conjunto de principios provenientes de la biomecánica para valorar el impacto del medioambiente físico y social sobre el sistema óseo, utilizando cortes sagitales a la mitad del fémur. Se espera encontrar diferencias importantes en el dimorfismo sexual, movilidad y actividad física.

Para apreciar tal variabilidad se utilizaron y compararon los resultados obtenidos de los fémures de dos muestras de población prehispánica, la primera de ellas corresponde a individuos que vivieron en la costa y en la planicie de la península de Yucatán, durante los periodos Clásico y Posclásico (600 a.C al 1400 d.C), con una organización sociopolítica centralizada, inicialmente

conformada por linajes hereditarios y posteriormente organizada en grupos segmentados con un poder central. La segunda muestra procede del norte del país, del sitio de Alta Vista, en Zacatecas y que corresponde a la cultura Chalchihuites y que vivieron alrededor del año 1100 d.C. Tenían una organización social heterárquica donde el poder se distribuye más o menos homogéneamente y un solo grupo decide sobre cuestiones significativas para el resto de la población. Si bien los individuos de ambas muestras tenían como base de subsistencia la agricultura, habitaron en regiones geográficas diferentes, los primeros en una selvática y con altitudes menores a 100 msnm y los otros, en clima seco a templado, cercanos a zonas semidesérticas, con una altitud de más 1500 msnm. Algunas de las preguntas que siempre he planteado en este tipo de investigación y que versa sobre la relación hombre-naturaleza, han sido: ¿Cuál es el grado de influencia del medioambiente en la respuesta física del sistema óseo al impacto biomecánico? ¿Tienen mayor impacto las formas de organización social, mayormente demandantes físicamente sobre los individuos, que el entorno geográfico? ¿Es posible medirlas y diferenciarlas con este método?

Marco geográfico y sociopolítico. Yucatán

El estado de Yucatán se localiza en la península del mismo nombre, junto con los estados de Campeche y Quintana Roo; dicha península se encuentra al este de Tabasco y al norte de Chiapas, Belice y de los departamentos del Petén e Izabal, en Guatemala. Está limitada al sur por las estribaciones de la sierra Madre Occidental hasta el paralelo 16 de latitud norte; al sudeste con la desembocadura del río Ulúa en Honduras; y al oeste con la región de Comalcalco, en Tabasco (Flores, 1974). Es una loza caliza casi plana de 525 km de longitud (norte a sur) y de 322 km de anchura con una superficie aproximada de 150,000 km² (que se inclina de sureste a noreste). Se encuentra bordeada al este por el Mar de las Antillas y al norte y al oeste por el Golfo de México, con alturas que oscilan entre 30 y 130 m.

En lo que respecta a la flora, existen dos grupos de vegetación: el bosque tropical caducifolio (principalmente hacia el norte) y el bosque tropical perennifolio (hacia la región del sur). La época de sequía es muy severa y se extiende de siete a ocho meses. Cuanto más se avanza hacia el norte las precipitaciones se hacen menos frecuentes; el bosque cede el paso al matorral bajo y espinoso; los árboles altos como la caoba y el zapote comienzan a escasear;

y finalmente a lo largo de la costa yucateca la vegetación queda reducida a un matorral espeso e impenetrable. De manera general y esquemática, el paisaje fisiográfico de la porción norte de la península se divide en tres regiones fisiográficas con nichos ecológicos particulares (véase la figura 1) (Chiappy et al., 2000; Robles y Andrews, 2004).

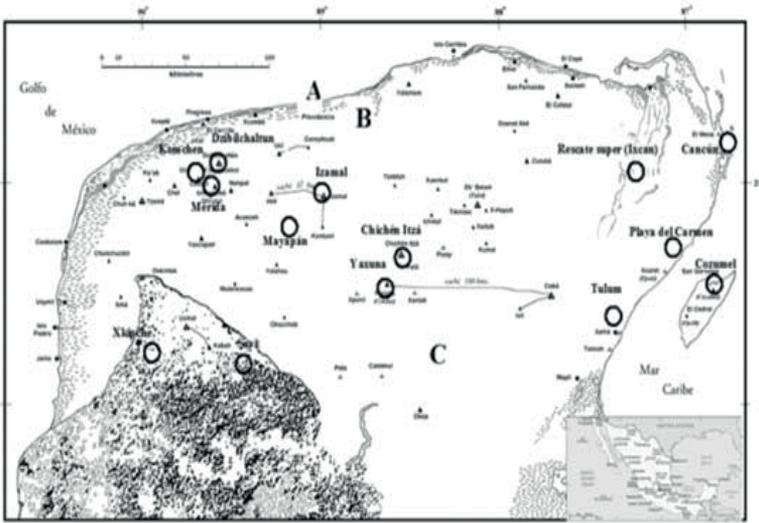


FIGURA 1. Región norte de la península de Yucatán y sus regiones fisiológicas y sitios, (zonas A, B y C). Mapa adaptado de Robles y Andrews, 2004; líneas sombreadas, dibujo propio.

- a.) La costa y zona de manglares, con una anchura variable de 50 a 100 m, corre paralela al Golfo de México desde los límites con Campeche, hasta los límites con Quintana Roo. Comprende una franja de arena y vegetación de fango y lodo, formando una zona de transición entre a la ría y tierra firme. Debido a una fuerte exposición a los embates de huracanes y tormentas tropicales, la costa se ve frecuentemente impactada por corrientes marinas que forman ríos o esteros posteriores a la franja de arena.
- b.) El área de sabanas, en sentido norte-sur, la cual está compuesta por humedales con suelos calizos de escasa vegetación de zacatales, xerófitas y arbustos espinosos. Aquí podemos ubicar los petenes, que son islas de selva dentro de afloramientos de agua dulce, formadas por manglares y palmeras; abarca una anchura aproximada de uno a dos kilómetros posterior al área de manglares y se trata de humedales que también funcionan como zonas de transición ecológica entre la planicie y la costa.

c.) La tierra firme o planicie, formada por una plancha calcárea de selva baja, con escasa sedimentación y lluvias; dicha plancha se agudiza hacia el extremo noroeste formando los cenotes y el nivel freático se halla muy cerca de la superficie. Esta área abarca desde los humedales de la zona sur, hasta la Sierrita de Ticul con una extensión en dirección noroeste-sureste de 160 km de largo, 15 km de ancho y con una elevación del terreno entre 100 y 150 msnm.

El clima peninsular se clasifica en tres tipos de acuerdo con la superficie: cálido subhúmedo con lluvias en verano, que cubre el 84.95% del área; semiseco cálido y muy cálido, que abarca el 13.87% de la superficie; y seco muy seco cálido, con una extensión del 1.87% de la superficie. Como se observa, el clima predominante en la mayor parte de la península es el subhúmedo con lluvias en verano. El promedio de precipitación anual hacia el centro y sur de la península es de 1,000 mm y 500 mm hacia la zona costera (INEGI, 2003). Presenta dos estaciones durante el año, una en octubre con lluvias y la otra en mayo con sequía.

La península se caracteriza por tener un suelo poco profundo (en algunos lugares sólo alcanza 50 cm de espesor) y aunque da la impresión de ser una región rica en recursos por su exuberancia, en realidad es difícil para la agricultura convencional y resulta por tanto poco productiva. A lo anterior se agrega la alta permeabilidad que tiene el piso, misma que impide la formación de ríos superficiales, sin embargo, esta carencia es sustituida con amplios cuerpos de agua, como consecuencia del hundimiento de la capa cárstica superficial (cenotes y bolsas de agua superficial llamadas "aguadas"). Estos fueron ampliamente utilizados y adaptados por los primeros grupos humanos.

En resumen y de manera general, se puede decir que el norte de la península de Yucatán se considera una unidad medioambiental heterogénea tanto geográfica como climáticamente. La región se vuelve más árida hacia el extremo noreste y norte y más húmeda hacia el extremo sur y oeste.

Por otro lado, y para los propósitos de este trabajo, señalaremos algunas características sociopolíticas generales de la región norte de la península para los dos periodos utilizados (Clásico y Postclásico), con la finalidad de contextualizar los probables escenarios, además de los ecológicos arriba descritos, en los que habitaron estos grupos. Para el Clásico, Andrews (1980, citado en Velázquez et al., 1988) y Garza y Kurjack (1980) señalan que los grupos mayas pasaron de una estrategia basada fundamentalmente en la recolección y cacería, a la producción de alimentos por métodos agrícolas extensivos e intensivos, lo que incrementó y diversificó las fuerzas productivas. Durante

el Clásico Medio y Tardío, la región estaba conformada socioculturalmente por dos polos de desarrollo: la esfera del oeste que abarcaba el norte de Campeche, occidente y norte de Yucatán, (siendo Kabah y Uxmal sus principales ciudades) y la esfera del este conformada por los asentamientos del oriente de Yucatán y el norte de lo que hoy es Quintana Roo (con Cobá como ciudad principal) (Benavides, 1995). Estas dos esferas se asentaban sobre áreas ecológicas diferenciadas. La primera lo hizo sobre la planicie árida hacia el extremo noroeste; de baja productividad agrícola, pero con acceso hacia las zonas costeras del golfo. La segunda, con una mayor capacidad agrícola, se extendió hacia el sur debido a la calidad de sus suelos. Hacia el sureste, frente al mar Caribe, las poblaciones compensaron su acceso a los recursos a través de su relativa cercanía a la costa; ésta, aunque pedregosa, presenta áreas de lagunas y manglares en la que existieron varios puertos importantes para el comercio a gran distancia.

El desarrollo agrícola iba ligado estrechamente al crecimiento poblacional y al surgimiento de instituciones que dominaban y explotaban los excedentes producidos por los campesinos. Al intensificarse el comercio en los corredores comerciales entre el norte de la península y la región sureste o esfera oriental (Cobá, Xelhá y San Gervasio), se dio un mayor grado de centralización económica y política, lo que llevó a una máxima densidad demográfica y una baja productividad del terreno; fue diferente en la zona Puuc hacia el sur de la península, en donde centros como Uxmal, Sayil y Kabah presentaron un extraordinario desarrollo. La región Puuc tuvo una mayor capacidad agrícola por la riqueza de sus suelos, a diferencia del norte con suelo pedregoso, que buscaba compensar su situación con un mejor acceso a los recursos del mar (en esta área se asentaron sitios como Dzibilchaltún y Komchen). Para estos lugares, además de la explotación de los recursos marinos, la horticultura y el policultivo fungieron como formas alternativas de producción agrícola.

En ambas regiones aumentó el número de horas-hombre para la construcción de edificios, caminos y talla de piedras destinadas a la erección de estelas en las que se exaltaba a los linajes en el poder. Sin embargo, durante el Clásico Tardío y Terminal existió una mayor densidad demográfica y una mayor diversificación y complejidad sociopolítica entre los mayas prehispánicos del norte de la península (Robles y Andrews, 2004).

Al final del Clásico Tardío, la región Puuc dejó de existir como polo importante y el poder se transfirió de Chichén Itzá a Mayapán, sitio que colapsó hacia el 1441 d.C. En la porción noroeste de la península, al final del Clásico Terminal y a principios del

Postclásico, la densidad de los sitios aumentó considerablemente hacia la planicie y hacia la región costera (Robles y Andrews 2004).

Durante el Postclásico, algunas características socioculturales nos indican que los centros de poder consolidados durante el Clásico sufrieron una reconfiguración en la redistribución de la población (Andrews 1980); se concentró el poder en dos polos de desarrollo: uno que controlaba el norte de Yucatán y otro en lo que hoy es la costa de Quintana Roo e isla de Cozumel. El desarrollo de ellos se basó en el acceso a redes más amplias de comercio con Campeche y Tabasco, para de ahí extenderse al resto de Mesoamérica. Al final del Postclásico Tardío, se dio una polarización política entre la esfera centrada en Mayapán y la otra ubicada en Cozumel; hecho que coincidió con los entornos ecológicos diferenciados de la planicie y las zonas costeras.

Por lo que se aprecia en este breve resumen, cada periodo se vio marcado por una intensa movilización y reacomodo de grupos de población entre la planicie y la costa. Es precisamente bajo este escenario social (diversificado y heterogéneo) y geográfico (homogéneo) de la planicie interior y la costa del norte de la península, en donde podemos ubicar la totalidad de la muestra utilizada en esta investigación.

Alta Vista, Zacatecas (cultura Chalchihuites)

Esta región también la podemos ubicar al este de la Sierra Madre Occidental que es la porción más árida de la Altiplanicie Mexicana. Se le conoce como provincia fisiográfica Mesa Central. Su origen se debió a los movimientos de elevación del Mesozoico superior, constituida por mesetas de levantamiento rellenas por material sedimentario y por cadenas montañosas bajas (López, 1989, p. 19). Esta provincia está limitada por la Sierra Madre Oriental, Occidental y el Eje Neovolcánico. Compuesta por una planicie con su mayor altitud en Zacatecas, esta porción está constituida por valles y llanuras semidesérticas en las que afloran gravas y costras de caliche.

El grupo humano que habitó Alta Vista, durante el periodo Clásico (100 o 200 d.C. a 900 o 1000 d.C.), se estableció en una región denominada Mesoamérica marginal, como lo ha definido Braniff (1966, 1975) al referirse al territorio ocupado por sociedades de origen mesoamericano que se asentaron al norte de la frontera establecida por Kirchhoff para el siglo xvi (1943). La Cultura Chalchihuites (véase la figura 2) era plenamente mesoamericana y tuvo como principal centro ceremonial el de Alta Vista, situado

casi sobre el trópico de Cáncer, y orientado de tal forma que las esquinas de las principales estructuras están sobre los ejes de los puntos cardinales, orientación poco común en Mesoamérica.

Actualmente esta región comprende: al poniente a los estados de Guanajuato, Querétaro, Aguascalientes, Durango, Zacatecas y al Altiplano Potosino, sector que es denominado "el Altiplano"; al oriente, la Sierra de Tamaulipas; al suroeste, la cuenca del Río Verde, Guadalcázar, en San Luis Potosí y la Sierra Gorda de Querétaro, que es lo que Braniff llamó "la región Nororiental" (Braniff, 1972, 1975, 1994). Geográficamente se encuentra ubicado sobre las coordenadas geográficas de 23° 29' 00" de latitud norte y 103° 57' 00" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, y con una altitud de 2,322 m. s. n. m. (INEGI F13b34).

El sitio de Alta Vista tuvo gran importancia desde el punto de vista astronómico, lo que se demuestra mediante datos arqueoastronómicos. Lo anterior reafirma las teorías respecto de que el sitio de Alta Vista fue escogido por razones que sobrepasan su función local como centro rector. Kelley (1983, p. 10) propone que la edificación de los templos marca la localización del Trópico de Cáncer.

Se sabe que la cultura chalchihuites estuvo organizada en una estructura sociopolítica denominada heterarquía, en donde los centros rectores de Cerro Moctehuma y Alta Vista controlaban la producción minera de los valles de los ríos San Antonio y Colorado, respectivamente (Martínez, 2007).

Las características climáticas y geológicas del noroeste del actual Estado de Zacatecas permitieron que algunos grupos se asentaran de manera permanente entre el 100 y 1000 d.C. y pudieran satisfacer sus necesidades de alimento, también desarrollaron la minería a cielo abierto y subterránea para la explotación de recursos minerales a gran escala. Pudo ser que la explotación de los minerales contribuyera a que los grupos de otros lugares se interesaran en ellos y así comenzó la distribución hacia otros centros (Córdova y Martínez, 1998).

Los materiales utilizados en este trabajo proceden de la Estructura 5 (véase la figura 3), del sitio de alta Vista, situado a 229 Km., al noroeste de la ciudad de Zacatecas y a 170 Km. al sureste de la ciudad de Durango. A seis kilómetros al oeste de la población de Chalchihuites y cruzando el río Colorado, se puede observar la zona arqueológica ubicada sobre una colina, desde donde se puede dominar todo el valle.

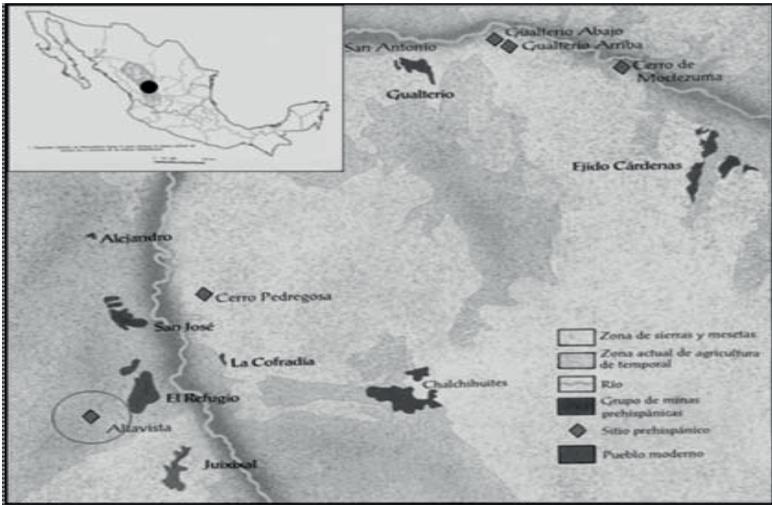


FIGURA 2. Ubicación de minas prehispánicas en Chalchihuites y Alta Vista.

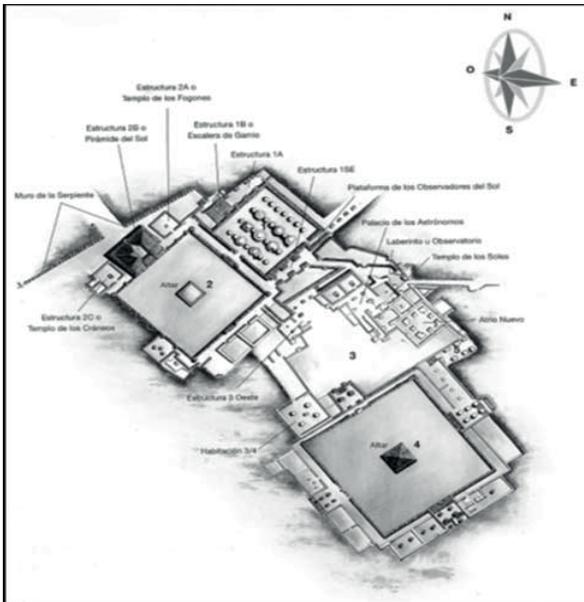


FIGURA 3. Estructura 5, de Alta Vista Zacatecas, donde se excavaron los entierros.

Métodos

Tradicionalmente, los indicadores de actividad física que se han utilizado se pueden clasificar en los siguientes rubros:

- 1) Modificaciones de las regiones articulares, relacionadas con el desgaste-degeneración de las articulaciones o artrosis, para el caso de estar relacionadas con posturas habituales, estas son asintomáticas.
- 2) Modificaciones no articulares, se trata de remodelaciones óseas en las regiones de inserción muscular sometidas a presión, denominadas entesopatías. También pueden ser resultado de un debilitamiento óseo o pérdida de la resistencia del tejido óseo.
- 3) Modificaciones estructurales, son las alteraciones en la estructura interna del hueso que alteran su geometría cuando éste es sometido a presión mecánica, sufriendo deformaciones por medio de la tensión, compresión, cizallamiento y torsión, las cuales se tratan de determinar y valorar (Nadal y Morador, 2002; Hawkey y Merbs, 1995; Kennedy, 1989).

Precisamente esta investigación, trata sobre este último rubro, en el contexto de la actividad y movilidad física, que tiene como premisa fundamental una de las aplicaciones directas de la *Ley de Transformación de Wolff*. Wolff (1892) fue uno de los primeros estudiosos de la biomecánica que propuso las leyes de la remodelación ósea; en estas leyes la estructura del hueso se considera que tiene una alta respuesta a la carga física durante la vida del individuo. Esta ley permite realizar inferencias acerca de la intensidad de los patrones de comportamiento en las poblaciones del pasado, sin embargo, se tiene que considerar que el sistema óseo interactúa con una gama amplia de estresores, que pueden no tener ninguna actividad mecánica directa y que complican el análisis.

Como una ampliación de estos principios y en conjunto con la *Teoría de las estructuras rígidas o vigas* utilizados por los ingenieros en la construcción de estructuras, se ha extendido este conocimiento al estudio de las características mecánicas de los huesos largos humanos, como lo sugieren los trabajos de Ruff y Hayes (1983a, 1983b), Ruff, (1984a), Trinkaus y Churchill (1984, 1999), Ruff y Trinkaus (1993), Trinkaus (1997) y de Bridges *et al.*, (2000), quienes los aplicaron con la finalidad de comprender los procesos de transición entre grupos prehistóricos, tanto europeos como norteamericanos, a través del estudio de las modificaciones sufridas en la sección transversal de los huesos largos como producto de las actividades de subsistencias, además de las

diferencias resultantes según sexo en función de las actividades domésticas.

Un aspecto particular de esta aplicación es el cálculo de parámetros biomecánicos en la sección transversal de la diáfisis de los huesos largos. Para este propósito se han creado diversos métodos no invasivos, uno de ellos es la radiografía plana múltiple (Biknevicius y Ruff, 1992; Runestad y Ruff, 1993). Otro método no destructivo es la utilización de la radiografía estándar, en la que se mide el espesor cortical del hueso, utilizando el *método excéntrico elíptico* (*Eccentric Elliptical Method*, EEM por sus siglas en inglés); en este método el límite endosteal asume la forma de una elipse excéntrica con respecto al límite periosteal (Ohman, 1993).

Una de las aplicaciones principales de la tomografía axial computarizada (TAC), es la obtención de imágenes de la sección transversal de los huesos largos (véase la figura 4), que nos permita aplicar los algoritmos para el cálculo de los parámetros biomecánicos, como son: área cortical (AC)¹, área subperiosteal o medular (AM), centroide (x, y), segundos momentos de inercia cercanos al centroide o eje neutral de carga I_x , I_y ; segundos momentos de inercia (I_{max} , I_{min}) sobre los planos mediolateral (ML) y anteroposterior (AP); el ángulo de torsión (θ), medido en grados, en sentido contrario a las manecillas del reloj a partir del eje mayor X, y el momento polar de inercia (J). Estos parámetros que reflejan los procesos de carga, de tensión y de estrés sobre los huesos largos, así como de su resistencia que reflejan la distribución de la masa ósea (Brock y Ruff, 1988; Bridges y Blitz, 1989)

En un modelo ideal de vigas perfectamente cilíndrica, las áreas óseas (AT, AC, %AC y AM) son proporcionales a las fuerzas de compresión y tensión cuando las fuerzas son aplicadas axialmente, sin embargo y en sentido estricto, la forma de la sección transversal de los huesos largos no es una curva elíptica perfecta, tiene imperfecciones que complican el cálculo del área y de los momentos de inercia, entonces, las fuerzas aplicadas en la diáfisis de los huesos largos son excéntricas, de allí que los segundos momentos de área o de inercia (I_x , I_y , I_{min} , I_{max} y J) sean los mejores indicadores de la resistencia de los huesos a la función mecánica. Así, por ejemplo, la función mecánica de carga que opera sobre los huesos largos durante la marcha habitual son la flexión y la torsión (Brock y Ruff, 1988; Bridges y Blitz, 1989).

¹ De aquí en adelante se utilizarán las siglas respectivas de estos parámetros en español. Las unidades de las áreas son en mm² y la de los segundos momentos de inercia es en mm⁴.

Estas propiedades son una medida directa de las características mecánicas del hueso y de la sección transversal, o sea, reflejan la rigidez (*strength*) o dureza que le permite al hueso resistir las fuerzas mecánicas que actúan sobre él (Beck et. al, 1990). Estas fuerzas son generalmente “cargas” derivadas de la acción de la gravedad y de los músculos sobre los huesos, y pueden variar debido a un gran número de factores que incluyen diferencias en la masa corporal (peso), en la postura habitual y en los tipos y niveles de actividad física (Bridges, 1989). Por tanto, se presume que las propiedades mecánicas del hueso podrían ser un reflejo de las características biológicas y de comportamiento del individuo que soportó una sobrecarga física durante su vida cotidiana (Fox y Keaveny, 2001). A partir de estos parámetros básicos se calcula el denominado índice de movilidad o de Nordin que involucra a los momentos mínimos y máximos de inercia y el momento polar de inercia o J.

Por otro lado, la estimación de estos parámetros está basado en la integración de áreas, así que para poder realizar los cálculos respectivos se utilizan técnicas que recurren a novedosas herramientas de análisis que provienen de la imagenología médica, donde se utilizan recursos computacionales como el PC-Momentmacro o Macro para el cálculo de los momentos de inercia para PC u ordenador y el Programa Beta 4.0.2 de *Scion Image del National Image Health* (NIH) (Spigel, 2000).

Estas técnicas permiten calcular los principales parámetros biomecánicos a partir de las imágenes obtenidas con un tomógrafo asistido por computadora (*CT Scan*) (Ohman, 1993). Sus resultados son similares a los cortes histológicos que se realizan directamente en el hueso para obtener “rebanadas” (“slice” en inglés) transversales de imágenes de los huesos largos, en la sección que se desee estudiar, en nuestro caso a la mitad de la diáfisis o al 50% de la longitud de los huesos (Biknevicius & Ruff, 1992)

Para poder aplicar esta tecnología, el hueso debe tener ciertas características, como no tener ninguna patología superficial que altere la forma del hueso y el cómputo de los parámetros; en un principio, era necesario que el hueso estuviera lo más completo posible para poder colocarlo sobre su plano sagital, apoyándolo sobre sus extremos distal y proximal, pero en la actualidad se pueden escanear fragmentos de tal manera que sus imágenes pueden ser rotadas en cualquier plano (véase la figura 4).

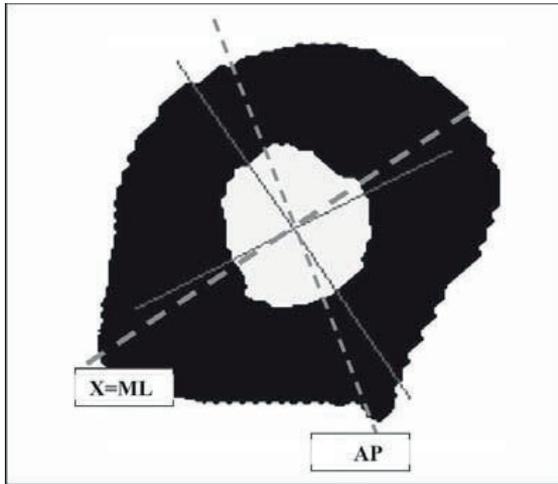


FIGURA 4. Imagen digital de la sección transversal del fémur al 50%. imagen propia.

Para realizar la toma de las imágenes en el tomógrafo, el fémur es colocado de acuerdo con los planos morfológicos (véase la figura 5), los cuales son: el plano sagital (eje Y) o eje de las ordenadas el cual es definido como el plano que pasa a través del punto medio de la anchura mediolateral de la diáfisis cercano al trocánter menor o subtrocantérico y al punto medio de los cóndilos articulares, sobre el surco patelar. El plano coronal (eje X) o eje de las abscisas, es perpendicular al plano sagital, definido como el plano que pasa a través del punto medio del diámetro anteroposterior de la diáfisis, desde el trocánter menor hasta los cóndilos.

Las imágenes de las secciones transversales de los huesos largos se obtienen escaneándolos con un equipo General Electric, CT/e helicoidal, dual multicorte²; se obtienen dos imágenes de alta resolución por corte virtual y de construcción tridimensional. Las imágenes son tomadas cada 2 mm, en dirección próximo-distal y dependiendo de la sección que se requiera, por ejemplo, con una resolución de 512 x 512 píxeles, teniendo el *pixel* una resolución de 12 *bit*. A su vez, las imágenes son enviadas a una estación de trabajo, donde son impresas en papel fotográfico o son

² Las versiones modernas de equipos se diferencian del TAC original al tomar mayor cantidad de imágenes con una mayor velocidad en menor tiempo y hacer cortes virtuales menos espaciados que aumentan la resolución para "ver" dentro de las estructuras anatómicas con mayor precisión.

almacenadas en discos compactos bajo un formato comprimido en JPG O TIFF.

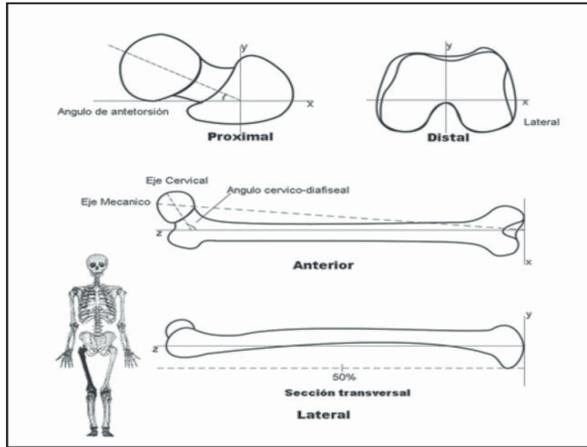


FIGURA 5. Planos del fémur utilizados en el tomógrafo y la sección a la mitad de la diáfisis. Adaptado de Ruff, 1983.

Posteriormente las imágenes pueden leerse en cualquier PC con el programa proporcionado por *NIH-Image*³ y a continuación se procede a calcular los parámetros biomecánicos. El cálculo se realiza con un *software* especializado diseñando para este propósito. El cálculo está basado en una técnica denominada *SLICE*, se trata de un algoritmo originalmente diseñado por Nagurka y Hayes (1980), adaptado a las nuevas técnicas computacionales más automatizadas por medio de un programa escrito en lenguaje *BASIC*, de nombre *PC-Momentmacro* (o *Macro* para el cálculo de los momentos de inercia para PC u ordenador)⁴. Este programa calcula los parámetros biomecánicos de las secciones transversales de los huesos largos y se aplica en imágenes con formato "TIFF". Para cargar este macro se utiliza el programa proporcionado por el *National Image Health* (NIH) disponible en su página Web: <http://rsb.info.nih.gov/nih-image>; se trata del programa Beta, en su versión 4.0.2 de *Scion Image*. Y se puede utilizar en cualquier

³ *National Image Health* o NIH.

⁴ Disponible en la página Web (<http://www.hopkinsmedicine.org/fae/CBR.htm>). La macro fue escrita en lenguaje Basic por Matthew Warfel investigador del Cornell University y modificada por Stanley Serafin investigador en el hospital universitario Johns Hopkins.

versión de Windows⁵.

Para la estimación de la edad y la identificación del sexo, se utilizaron los métodos recomendados por la literatura internacional. En el caso de la edad y para las dos muestras, se utilizaron principalmente los cambios que sufrieron tanto la sínfisis púbica como la superficie auricular propuestas por Todd (citado por Loth e Iscan, 1989; Meindl y Lovejoy, 1985), así como la aparición del tercer molar y el cierre de la epífisis de la cabeza del fémur, la idea era seleccionar a los mayores de 25 años. Para la identificación del sexo de los individuos prehispánicos que vivieron en la región peninsular yucateca se utilizaron los parámetros para la pelvis y en algunos casos del cráneo, y para el grupo de Alta Vista, se utilizó el grado de robustez en miembros superiores e inferiores, y específicamente en el fémur, el ángulo y longitud del cuello femoral (Krogman e Iscan, 1986).

Por último, para el cálculo de la estatura, por sexo, se utilizaron las ecuaciones de regresión obtenidas por Genovés (1967) y corregidas por Del Ángel y Cisneros (2004):

$$\text{Talla} = 2.262 (\text{Longitud máxima del fémur}) + 63.89 (\text{para masculinos})$$

$$\text{Talla} = 2.588 (\text{Longitud máxima del fémur}) + 47.25 (\text{para femeninos})$$

Por otra parte, se sabe que las propiedades de la sección transversal son afectadas indirectamente por la masa corporal, mientras que los segundos momentos de inercia son afectados por la masa corporal y la longitud del hueso de los individuos. Por ello, para el cálculo de la masa corporal se utilizaron las siguientes ecuaciones de regresión obtenidas a partir de estudios que incluyen varias poblaciones a nivel mundial, tanto prehistóricas como contemporáneas (Kristian et. al., 2007; Ruff et al., 1997; Grine et al., 1995). Las ecuaciones son las siguientes:

Masculinos

$$\text{Masa corporal} = (2.741 \times \text{diámetro de la cabeza femoral}) - 54.9$$

Femeninos

$$\text{Masa corporal} = (2.426 \times \text{diámetro de la cabeza femoral}) - 35.1$$

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizaron principalmente la T de *Student*, sobre una curva normal y para una prueba de dos colas con probabilidades del 0.01 y 0.05 respectivamente; y para evitar el error de muestreo se aplicó la prueba F (de *Fisher* o de *Levene*), que consiste en probar la hipótesis

⁵ Estas instrucciones se agregan a las proporcionadas por Ruff en la página Web: (www.hopkinsmedicine.org/faef/fae.html)

nula de igualdad de varianzas entre los grupos estudiados. Para este propósito se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 23.0

Materiales

Para ambas muestras, los fémures seleccionados proceden de individuos completos o con al menos el 70% del esqueleto. La primera muestra se integró con 107 fémures de adultos de sexo masculino y femenino de población maya y la segunda, por 50 fémures de individuos adultos de sexo masculino procedentes del sitio de Alta Vista, Chalchihuites, Zacatecas, recuperados de estructuras ceremoniales. La muestra de mayas peninsulares procede de contextos habitacionales e inhumados en *cistas*, todos en buen estado de conservación, condición necesaria para la toma de imágenes tomográficas, además de que el contexto arqueológico estuvo bien definido en función de la calidad y cantidad del ajuar funerario.

En el caso de la muestra de población maya (véase el cuadro 1), el material procede de 14 sitios arqueológicos, de distintos proyectos y fue explorado durante varias temporadas de campo. Como se dijo anteriormente, estos individuos vivieron en la costa y la planicie yucateca, con una cronología entre el periodo Clásico y el Posclásico (circa 600 d.C. y 1500 d.C.).

Región geográfica y cronología		Masculinos		Femeninos		Total	
		Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%
Geografía	Costa	35	32.7	5	4.7	40	37.4
	Planicie	61	57.0	6	5.6	67	62.6
	Total	96	89.7	11	10.3	107	100.0
Cronología	Clásico	38	35.5	11	10.3	49	45.8
	Posclásico	58	54.2			58	54.2
	Total	96	89.7	11	10.3	107	100.0

CUADRO 1. Distribución de la muestra (N=107, 14 sitios). Según sexo, geografía y cronología.

El cuadro 1 presenta los resultados obtenidos de acuerdo con la procedencia geográfica y cronológica de la muestra yucateca. El 89.7% de los fémures corresponden a individuos de sexo masculino y el 10.3% a individuos de sexo femenino. El 62.2% de los casos proceden de la planicie y el restante 37.4% de las

planicies, siendo mayoría los de sexo masculino. En relación con la cronología, vemos que la mayoría, 58 fémures (54.2%) son del periodo Posclásico; para este periodo no hay individuos de sexo femenino. Para resolver este problema de muestreo elaboramos una estrategia estadística que más adelante se explicará y que evitará sesgos en nuestras inferencias.

En el caso de la muestra de Alta Vista (véase el cuadro 2) el 78% son de sexo masculino y 22 de sexo femenino.

	<i>Derecho</i>		<i>Izquierdo</i>		<i>Total</i>
	<i>Núm</i>	<i>%</i>	<i>Núm</i>	<i>%</i>	<i>Núm</i>
Masculinos	19	38	20	40	39
Femeninos	5	10	6	12	11
Total	24	48	26	52	50

CUADRO 2. Distribución de la muestra de Alta Vista, Zacatecas. Según sexo y lado.

Resultados y discusión

El esqueleto poscranial es producto de la interacción entre la genética y el medio ambiente. De aquí, se espera que la forma y el tamaño de los distintos segmentos corporales muestren de manera diferencial el efecto de la influencia genética y de los distintos factores, tales como los ambientales, los funcionales, la nutrición, el clima, entre otros, sobre el crecimiento y el desarrollo. Dependiendo de la profundidad en el tiempo, los factores que han sido identificados y que provocan modificaciones en la corporeidad humana, son principalmente el clima, el cual tiene un impacto sobre la plasticidad humana a nivel filogenético; en este caso los grupos humanos parecen adaptarse bien a las predicciones de las reglas biogeográficas, como las leyes de Allen (1877) y de Bergman (1847). Sin embargo, en escalas temporales menores, la ausencia de tales relaciones puede indicarnos que son otros los factores que están operando con mayor o menor intensidad, así, se han propuesto eventos de migración y movilidad y de actividad física intensa.

De aquí que, nos interese realizar un estudio exploratorio, a partir de los parámetros biomecánicos, del grado de modificación estructural a nivel del esqueleto poscranial y analizar la variación intra e inter específica de dos grupos prehispánicos

de Mesoamérica. Se contrastan en dos medios ambientes físicos diferentes y con organización sociales similares, con la intención de evaluar su respuesta ósea al estrés biomecánico.

En lo particular, la aplicación de esta metodología en el estudio de la variabilidad biomecánica del fémur en la población prehispánica maya de la península de Yucatán ha aportado información empírica importante para elaborar hipótesis que puedan ser contrastadas. Estas podrían permitirnos comprender los fenómenos de microadaptación fenotípica, específicamente en el rubro de la movilidad y de la actividad física entre individuos de la costa y de la planicie, según distintos periodos cronológicos, geografía y sexo, centrándonos en este último aspecto.

Muestra población maya

Así, al comparar los resultados por sexo (véase el cuadro 3), en función de la cronología, se aprecian los valores correspondientes a los primeros momentos de inercia (AT y AC), que miden las áreas de la sección cortical del fémur, presentando diferencias significativas, siendo más resistentes los fémures de los hombres que los de las mujeres. Los segundos momentos de inercia que están vinculados a procesos de actividad y movilidad física (momentos cercanos al eje, mínimos y máximos, torca e índices de *Nordin*); manifiestan valores más altos entre los hombres que en las mujeres.

Es interesante señalar el valor más elevado de la magnitud de torsión entre los hombres que entre las mujeres, indicándonos que estuvieron sujetos a una mayor actividad física, lo que coincide con el valor más alto del índice de robustez. Además, la movilidad fue ligeramente mayor entre las mujeres, ($F = 0.088$), con una forma de la sección transversal más redondeada entre los masculinos y más elipsoidal entre las mujeres.

Con relación a las variables del tamaño y masa corporal (ver cuadro 4) se aprecia que la longitud máxima del fémur (LMF), al igual que la talla, no presentaron diferencias significativas y para la masa corporal (MC) no hubo valores medios para los individuos de sexo femenino.

Variable	Masculinos			Femeninos			<i>p(t)</i>	<i>p(f)*</i>
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		
AT	52	704.9	116.3	2	501.4	123.8	0.019	
AC	52	514.8	83.6	2	358.8	87.7	0.012	
AM	52	190.1	39.7	2	142.6	36.2	0.103	
I _x	52	21617.6	7071.2	2	10496.7	2732.3	0.032	
I _y	52	22635.3	7735.7	2	1113.5	7108.6	0.043	
I _{max}	52	24680.1	7689.7	2	12540.4	53.23.1	0.032	
I _{min}	52	19556.3	6812.3	2	9069.8	4517.8	0.036	
∅	52	10.3	45.0	2	-31.0	60.8	0.212	
J	52	44252.9	1470.7	2	21610.2	9840.9	0.031	
I _x /I _y	52	1.0	0.2	2	1.1	0.5	0.468	0.088
I _{max} /I _{min}	52	1.3	0.2	2	1.4	0.1	0.348	
IR	46	109.4	36.1	2	55.2	24.9	0.042	

CUADRO 3. Mayas-Costa. Prueba T y F, según sexo. Nota: AT, AC, AM, I_x, I_y en mm², ∅ ángulo de torsión, J en mm⁴; I_x/I_y, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una *p* ≤ 0.05.

	Masculinos			Femeninos			<i>p(t)</i>	<i>p(f)</i>
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		
LMF	46	40	1.3	2	39.1	0.2	0.190	0.109
Talla	46	159	3.0	2	157.7	0.5	0.479	0.172
MC	28	64	8.8					

CUADRO 4. Mayas-Costa. Prueba T para muestras independientes.

Los valores de tamaño son homogéneos, si bien la falta de diferencias podría deberse a la subrepresentación de fémures de mujeres. Sin embargo, desde la perspectiva de los parámetros biomecánicos la historia es otra, hombres y mujeres responden de manera diferencial en las regiones costeras, a pesar de no presentar dimorfismo sexual, en estas sí se presentan. Esta aseveración es consistente con el ambiente socioeconómico que se vivía al final del Clásico y principios del Posclásico: aumento de la actividad de trabajo físico y redistribución de la población hacia la costa, cuando al final del Clásico se produce el colapso de los grupos en las zonas altas del sur de la península de Yucatán y del Petén guatemalteco.

Según algunos autores (Wescott, 2004), la movilidad producida por migración es un causal próximo que influye en las diferencias en el dimorfismo sexual. A este dimorfismo sexual iba aparejado una alimentación basada en el monocultivo y en la pesca, donde los hombres y mujeres tienen que producir de manera similar e intensiva.

Así, el diseño experimental aplicado a los datos demostró que, respecto a los periodos Clásico y Posclásico, entre hombres y mujeres, las variables biomecánicas medidas a través de las áreas o primeros momentos de inercia, referidas al tamaño absoluto y relativo de la sección transversal del fémur, fueron consistentes con el entorno sociopolítico, más que con el entorno físico, porque la costa no es un medio geográfico accidentado, es relativamente homogéneo. También lo fueron aquellas referidas a la resistencia y a la fractura, que miden la distribución de la masa ósea en el hueso; esta nos proporciona inferencias directas sobre la actividad física. Por último, y de igual forma fueron consistentes también las que están relacionadas con la forma de la sección transversal y que nos remiten al nivel de movilidad de los individuos.

Ahora, veamos cuál fue el comportamiento de estas mismas variables, pero en la planicie (véase el cuadro 5). Se aprecia que los parámetros biomecánicos son más estables y homogéneos, solo se obtuvo una diferencia significativa en el índice de movilidad, que involucra los planos máximo y mínimo, siendo ligeramente mayor la movilidad entre las mujeres que entre los hombres.

En lo particular, se muestra un patrón dimórfico similar entre sexos. Lo mismo se puede decir de las variables del tamaño y masa corporal (véase el cuadro 6), son homogéneos, no habiendo diferencias importantes entre hombres y mujeres,

En la planicie a diferencia de la costa, las actividades están basadas en el monocultivo y en una actividad intensa constructiva, se presume que, tanto hombres como mujeres fueron sujetos a una serie de actividades físicas similares, de allí la expresión semejante entre estos parámetros. Sin embargo, y de nueva cuenta, la movilidad fue la variable que presentó un valor mayor entre las mujeres que entre los hombres, al igual que en la costa.

Para ampliar el análisis decidimos explorar la correlación entre aquellos parámetros biomecánicos que habían presentado diferencias significativas, según cronología, geografía y sexo. Especialmente la correlación entre las variables de los primeros y segundos momentos de inercia (I_{AT} , %AC, %AM, I_{max} , I_{min} y J) que tienen que ver con carga y movilidad física y las relativas a tamaño y masa corporal (MC y LMF) para intentar apreciar si estas variables están relacionadas en los procesos de dimorfismo

sexual y si habían sido constantes en el tiempo, aunque para las mujeres no hubo suficientes casos para contrastar. Los resultados se aprecian en el cuadro 7 y figura 6.

Variable	Masculinos			Femeninos			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
AT	44	704.3	121.1	9	655.5	144.6	0.291	0.413
AC	44	503.0	82.5	9	476.1	102.7	0.396	0.255
AM	44	201.3	49.5	9	179.4	45.7	0.227	0.676
I _x	44	20988.3	7406.9	9	19537.9	7607.2	0.596	0.724
I _y	44	21409.2	7607.3	9	18996.7	9286.4	0.407	0.330
I _{max}	44	23598.8	8345.7	9	21437.6	8773.2	0.473	0.578
I _{min}	44	18797.0	6442.3	9	17097.1	7893.8	0.473	0.150
Ø	44	1301	45.1	9	5.7	50.8	0.660	0.723
J	44	42398.1	14097.2	9	38534.6	16437.8	0.469	0.391
I _x /I _y	44	1.0	0.2	9	1.1	0.3	0.207	0.228
I _{max} /I _{min}	44	1.3	0.2	9	1.3	0.3	0.344	0.068
IR	42	100.5	32.6	8	83.4	29.4	0.173	0.967

CUADRO 5. Mayas-Planicie. Prueba T de los parámetros biomecánicos. Nota: AT, AC, AM, I_x, I_y en mm², Ø ángulo de torsión, J en mm⁴; I_x/I_y, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una p > 0.05.

	Masculinos			Femeninos			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
LMF	42	41.2	3.0	8	41.8	2.2	0.616	0.369
Talla	41	160.4	8.0	8	158.8	7.2	0.625	0.734
MC	35	60.7	8.7	9	59.3	10.2	0.682	0.409

CUADRO 6. Mayas-Planicie. Prueba T para muestras independientes según sexo.

Se aprecia que, para la planicie, la masa corporal obtuvo una alta correlación significativa con la magnitud del momento polar de inercia ($r=0.452$, $p=0.078 < 0.05$). Y para la costa (véase la figura 7), el tamaño corporal (LMF) obtuvo valores significativos con los porcentajes de los espesores corticales y medulares, derivados del AC y AM; y la masa corporal con el AT, momento polar de inercia (J), momentos de inercia mínimo y máximo.

Variable	Masculinos Planicie						
	n	m	s	m+2s	m-2s	r	p
Masa corporal	16	57.8	6.7	71.2	44.2		
Momento polar (J)	21	46747.8	14060.2	74868.2	18627.5	0.452	0.078
	Masculinos Costa						
Mong. max. fémur	18	404.7	11.5	427.6	381.8		
% área cortical (mm ²)	20	72.3	2.4	77.1	67.6	0.471	0.049
% área medular (mm ²)	20	27.7	2.4	32.4	22.9	-0.471	0.049
Masa corporal	13	58.0	6.5	71.0	45.0		
Área total (mm ²)	20	720.5	97.9	916.4	524.6	0.604	0.027
Imax (mm ⁴)	20	25135.6	6522.9	38181.3	12089.8	0.572	0.041
Imin (mm ⁴)	20	19947.8	6248.8	32445.4	7450.2	0.544	0.055
J (mm ⁴)	20	45124.3	12533.2	70190.7	20057.9	0.566	0.044

CUADRO 7. Correlaciones entre longitud máxima de los fémures (LMF), masa corporal (MC) y variables biomecánicas significativas, para hombres según región geográfica. N=61, 14 sitios. Nota; Correlación significativa para una p > 0.05 bilateral.

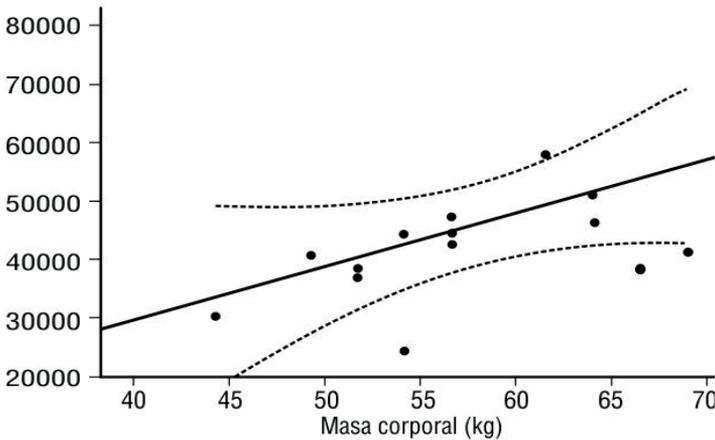


FIGURA 6. Correlación de MC (n=16) y J (n=21). Planicie r=0.452, y=911.35x-6812.74.

Con base en lo arriba descrito, inferimos, por tanto, una mayor resistencia ósea entre la gente de la planicie, probablemente

relacionada con una mayor demanda física sobre estos individuos, que afectó de manera similar a ambos sexos. Sin embargo, no presentan diferencias importantes en los niveles de movilidad, siendo esta constante. Es probable que los individuos hayan sido afectados por caminatas intensas en terrenos irregulares, pues no tuvieron otra forma de desplazarse más que utilizando sus piernas.

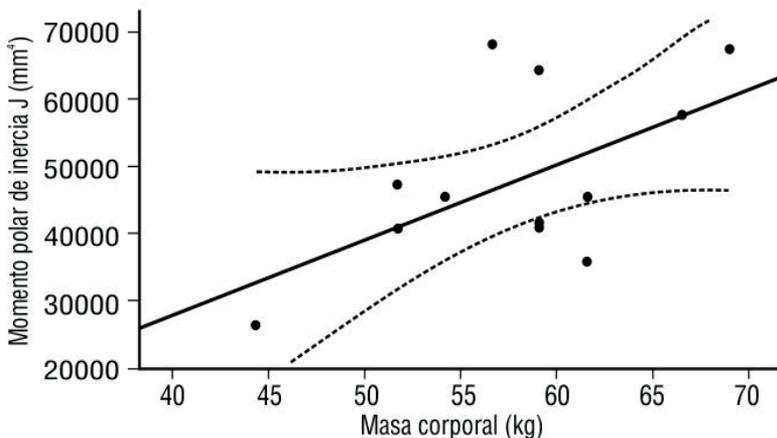


FIGURA 7. Correlación de MC (n=13) y J (n=20). Costa $r=0.566$, $y=1105.17x-16106.04$.

Es así como las modificaciones respecto a las exigencias para el desarrollo económico y social impactaron a los individuos de la costa, quizá con una vida más difícil y con una mayor intensidad que a los de la planicie.

Al correlacionar estos resultados con los obtenidos entre indígenas americanos del sudoeste americano, cazadores-recolectores (CR) y horticultores (Ho) (Bridges, 1989), se han encontrado resultados similares. La intensa carga de trabajo asociada con las actividades de subsistencia puede explicar muchas de las diferencias en las propiedades de la sección transversal del fémur en estos últimos y durante la transición han hallado que la resistencia de los huesos largos se incrementa tanto en hombres como en mujeres.

Especialmente en las mujeres, debido al incremento en la carga de trabajo para producir semillas y maíz, en comparación a las necesidades de subsistencias de los CR. De la misma forma Ruff y colaboradores (1999) han observado que aquellos grupos que viven en terrenos montañosos y escabrosos, independiente

de las estrategias de subsistencias, tienen los miembros inferiores más fuertes, que aquellos grupos que viven en terrenos menos escabrosos (por ejemplo, regiones costeras y planicies). Se argumenta que, mientras la forma del fémur puede corresponder con las actividades de subsistencias, el relieve del terreno podría influir en su robustez (Ruff, 2000).

Por otra parte, Pearson (2000) encuentra que los huesos largos de las poblaciones que viven en ambientes fríos son generalmente más robustos que aquellas poblaciones que viven en climas calientes, por esta razón, él señala que los Cr tienden a ser más robustos que los Ho en climas fríos, mientras que un patrón inverso se observa en climas calientes.

Wescott (2004), al investigar las diferencias en la forma a la mitad del fémur, su robustez, dimorfismo sexual y medidas externas entre grupos prehistóricos e históricos de Norteamérica, con diferentes estrategias de subsistencias y niveles de movilidad, encuentra que las variaciones significativas no son consistentes con la estructura del fémur en hombres y mujeres, sin embargo, la predicción sobre el dimorfismo sexual sí es consistente con una gran movilidad (Wecott, 2006, p. 201), y añade que los hombres tienden a mostrar modificaciones en el fémur según sus prácticas de subsistencias, mientras que la forma del fémur en las mujeres está más asociada con la región geográfica (Wecott, 2008, p. 333). En general, este autor plantea un patrón general de variación intraespecífica, en donde la variabilidad morfológica a nivel geográfico y entre grupos, está más asociada con diferencias inducidas por el clima, que aquellas debidas al relieve del terreno. Muy similar a lo que he encontrado entre los mayas donde no hay relieve del terreno significativo que induzca modificaciones importantes en la morfología ósea, pero que entonces es posible referirse hipotéticamente a factores provenientes del entorno socioeconómico, más que al clima o al relieve topográfico.

En resumen, podemos afirmar dentro de los límites de la confiabilidad estadística, que los valores estadísticos de los fémures de los individuos que vivieron en la costa y en la planicie, son consistentes con causales próximos, tales como la agricultura y construcción que se intensificaron en los dos periodos, a pesar de la redistribución de los centros de poder, así como los causales finales, tales como la centralización del poder, que provocó un mayor incremento de actividad física. Los hombres de la costa, presentan una mayor asociación significativa entre variables biomecánicas con el tamaño y la masa corporal, resultado de causales finales relacionados con redistribución, concentración y migración de población, que ocurrió en la transición del Clásico

al Posclásico, aunados a una intensificación de las estrategias de subsistencias en zonas costeras.

Muestra de Alta Vista, Zacatecas

En cuanto a los resultados de la variación intraespecífica obtenida para los fémures de los individuos de Alta Vista, se presentan en el cuadro 8, donde es posible observar aquellas variables que obtuvieron valores significativos y que se refieren a los primeros momentos de inercia (AT, AC, AM) (véase el cuadro 8).

Variable	Masculinos			Femeninos			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
AT	33	659.1	109.0	9	524.3	106.2	0.002	
AC	33	489.9	85.8	9	390.1	77.8	0.003	
AM	33	169.1	39.4	9	134.2	35.2	0.021	
I _x	33	22735.0	9076.7	9	15155.5	4722.1	0.021	0.060
I _y	33	17070.2	6045.6	9	11389.5	7060.6	0.007	
I _{max}	33	24247.2	8889.3	9	16852.1	6815.5	0.026	
I _{min}	33	16558.0	5759.7	9	963.0	3427.1	0.002	
Ø	33	-16.8	66.3	9	-21.8	59.7	0.160	
J	33	40805.2	14175.0	9	26545.1	10093.1	0.007	
I _x /I _y	33	1.3	0.3	9	1.5	0.4	0.068	
I _{max} /I _{min}	33	1.5	0.2	9	1.7	0.2	0.008	
IR	6	104.2	44.5					

CUADRO 8. Alta Vista, Zacatecas. Prueba T de los parámetros biomecánicos según sexo. Nota: AT, AC, AM, I_x, I_y en mm², Ø ángulo de torsión, J en mm⁴; I_x/I_y, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una p > 0.05.

Al aplicar el cálculo de la distribución t, obtenemos probabilidades menores a 0.05 para dos colas con un 95% de confianza y para m+2s. Los valores son mayores en los hombres que en las mujeres, lo que indica una mayor resistencia ósea a la fractura y mayor vulnerabilidad entre las mujeres. Los segundos momentos de inercia cercanos al eje, y mínimos y máximos son valores significativos y elevados en los hombres. La magnitud del ángulo de torsión resultó el doble que el de las mujeres, lo cual evidencia la mayor actividad física de trabajo en los hombres,

sin embargo, las variables relacionadas con desplazamientos son mayores en las mujeres. Por último, el índice de robustez solo se calculó para los hombres. En cuanto a las variables de tamaño y masa corporal (véase el cuadro 9), se puede observar que en general no hubo diferencias importantes, el dimorfismo sexual es homogéneo y estable.

	Masculinos			Femeninos			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
LMF	23	41.62	1.83	4	40.33	1.97	0.210	0.948
Talla	22	159.98	4.58	4	157.26	4.44	0.283	0.915
MC	10	56.84	7.72	2	53.56	9.26	0.603	1.000

CUADRO 9. Alta Vista, Zacatecas. Prueba T para muestras independientes según sexo.

Como bien se pudo constatar, en ambos grupos los factores de estrés biomecánico están actuando similarmente, y es mayor la similitud, en cuanto a respuesta, con los que vivieron en la costa yucateca y menor con los que vivieron en la planicie, lo que es congruente porque, en primer lugar, ambos grupos están sometidos por estructuras sociopolíticas semejantes, exigencias en la construcción arquitectónica, agricultura intensiva, grupos de poder centralizados y corporativos. Es probable que la intensidad de estos factores sea diferente en calidad, cantidad y exposición; pero, con la misma dirección e intensidad. Pero al final, la respuesta ósea es parecida, debido a que si bien, el medio ambiente social es homogéneo, lineal y no cooperante, porque se realizan tareas premeditadas y estandarizadas que tienen como finalidad satisfacer las necesidades de supervivencia, el sistema óseo se está remodelando y estructurando constantemente, es complejo y no lineal, es decir es un sistema aleatorio, cooperante y auto organizado (Sepúlveda, 2017), bajo una serie de grados de libertad ligados al movimiento, esfuerzos y tensiones permanentes y que se ajustan constantemente, según el modelo del *Mecanostato*, y que de acuerdo con los resultados de esta investigación, el ambiente sociopolítico tiene una mayor presencia en las modificaciones en el dimorfismo sexual y en la estructura corporal, que el entorno físico. Según la literatura citada, los valores de los parámetros biomecánicos que hemos obtenidos en ambos grupos deberían corresponder a individuos que se desplazan en entornos montañosos o escabrosos, que si bien, esto sí ocurre en otros grupos, no es nuestro caso, de aquí que, se invoquen otros

factores que operan a escalas temporales cortas y que modifican a nivel ontogenético la plasticidad humana, produciendo con esta aptitud, microadaptaciones fenotípicas que les permiten entrar en sintonía con sus entornos físicos y sociales (Arias, 2012, 2015).

Variación interespecífica

Otro aspecto, central en esta investigación, y que decidí explorar, es el comportamiento de las variables biomecánicas entre hombres mayas que habitaron en la planicie y los de Alta Vista que habitaron en el valle, los resultados se aprecian en el cuadro 10.

Variable	Mayas-Yucatecos			Alta Vista			<i>p</i> (t)	<i>p</i> (f)
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		
AT	54	687.5	121.6	33	659.1	108.9	0.274	
AC	54	495.5	84.2	33	489.9	85.8	0.769	
AM	54	193.0	48.9	33	169.1	39.4	0.020	0.092
I _x	54	20432.0	7248.3	33	22735.0	9076.7	0.195	0.076
I _y	54	20821.1	7699.8	33	18070.2	6045.6	0.084	
I _{max}	54	22734.6	8361.9	33	24247.2	8889.3	0.426	
I _{min}	54	18064.8	6147.8	33	16558.0	5759.7	0.259	0.025
∅	54	10.9	47.6	33	-16.8	66.3	0.026	0.002
J	54	40799.4	14203.6	33	40805.2	14175.9		
I _x /I _y	54	1.0	0.3	33	1.3	0.3	0.000	0.015
I _{max} /I _{min}	54	1.3	0.2	33	1.5	0.2	0.000	0.022
IR	51	97.8	32.7	6	104.2	44.1	0.664	

CUADRO 10. Prueba T de los parámetros biomecánicos entre fémures masculinos de mayas de la planicie y de Alta Vista, Zacatecas. Nota: AT, AC, AM, I_x, I_y en mm², ∅ ángulo de torsión, J en mm⁴; I_x/I_y, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una *p* > 0.05.

Las diferencias significativas se dieron principalmente entre las variables que se refieren al momento de inercia en el eje X y que refleja los esfuerzos y resistencia ósea en el plano AP, el fémur de los individuos de Alta Vista está mayormente reforzado en ese plano que el de los mayas, a pesar de tener un AC ligeramente mayor que los primeros. De igual manera, el momento de inercia

mínimo sobre el plano mediolateral (ML) fue mayor entre los mayas. Llama la atención que la magnitud del momento polar o torca es similar en ambos grupos. Y la variable que continúa despuntando es el de la movilidad, con valores mayores a 1 entre los de Alta Vista, aunque en ambos la forma es elipsoide, propia de grupos que se dedican a la agricultura, indicándonos que la movilidad fue mayor entre los de Alta Vista que entre los mayas, lo que es consistente con lo que reportan algunos estudios, de que estamos ante una zona geográfica de transición y con mucha movilidad.

En cuanto al tamaño y masa corporal (véase el cuadro 11), se aprecia que el tamaño corporal representado por la talla o estatura, al igual que la longitud máxima del fémur (LMF), presentaron valores significativos y la masa corporal no.

	<i>Mayas-Yucatecos</i>			<i>Alta Vista</i>			<i>p(t)</i>	<i>p(f)</i>
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		
LMF	42	41.2	3.0	8	41.8	2.2	0.616	0.369
Talla	41	160.4	8.0	8	158.8	7.2	0.625	0.734
MC	35	60.7	8.7	9	59.3	10.2	0.682	0.409

CUADRO 11. Prueba T para muestras independientes de hombres mayas-planicie y de Alta Vista de Zacatecas.

Estos valores son consistentes con las diferencias de talla entre grupos que vivieron en el norte y sur de Mesoamérica, y de las actividades de subsistencia basadas en el monocultivo, el maíz como alimento fundamental de estos grupos, lo que provoca una ligera ganancia en la masa corporal por el consumo de carbohidratos, ya que, para este tiempo, las exigencias y determinaciones del sistema sociopolítico son similares y los factores de estrés solo varían en intensidad en ambos grupos, como ya se ha dicho, a pesar de estar separados en el espacio. En el cuadro 12 se presentan resultados para el caso de las mujeres de ambos grupos, e independientemente de la cronología.

Las variables más significativas, son los primeros momentos de inercia (AC y AM), con valores superiores en los mayas, o sea, una mayor resistencia a la tensión y a la compresión. Y de nueva cuenta, el segundo momento de inercia cercano al eje (y) y referido al plano ML se vio mayormente reforzado, así como el momento de inercia mínimo, sobre el mismo eje. En las mujeres de ambas muestras el momento polar de inercia presentó valores elevados y proporciona una idea de la carga física soportada. Por último, los

valores del índice de movilidad son elevados en ambos grupos, siendo mayores entre las mujeres de Alta Vista.

Variable	Mayas-Yucatecos			Alta Vista			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
AT	12	639.1	127.1	10	496.5	133.0	0.581	
AC	12	467.5	89.5	10	369.6	97.9	0.024	
AM	12	171.6	42.5	10	40.2	40.2	0.021	
Ix	12	18209.3	6943.2	10	5815.0	5815.0	0.141	
Iy	12	18640.1	7995.6	10	7257.2	7251.2	0.022	
I _{max}	12	20553.2	7695.3	10	7399.6	7699.6	0.142	
I _{min}	12	16296.3	6920.0	10	4009.6	4009.6	0.006	
Ø	12	3.7	44.3	10	56.7	56.7	0.026	0.002
J	12	36849.5	14417.3	10	11589.9	11589.9	0.041	
Ix/Iy	12	1.0	0.3	10	1.1	0.4	0.005	
I _{max} /I _{min}	12	1.3	0.3	10	1.7	0.2	0.002	
IR	11	82.6	25.0	1	15.9			

CUADRO 12. Prueba T de los parámetros biomecánicos, entre fémures femeninos de Mayas de la planicie y de Alta Vista, Zacatecas. Nota: AT, AC, AM, Ix, Iy en mm², Ø ángulo de torsión, J en mm⁴; Ix/Iy, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una p > 0.05.

Con relación al tamaño y masa corporal (véase el cuadro 13) se aprecia la ausencia de diferencias importantes entre las mujeres mayas de la planicie y de Alta Vista. El dimorfismo en este caso es más estable y homogéneo entre las mujeres que entre los hombres, como ha sido demostrado para cada grupo.

	Mayas-Yucatecos			Alta Vista			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
LMF	13	41.0	2.0	4	40.3	2.0	0.581	0.833
Talla	13	158.3	6.1	4	157.3	4.4	0.768	0.476
MC	11	58.1	7.9	2	53.6	9.3	0.475	0.995

CUADRO 13. Prueba T para muestras independientes. Femeninos. Según geografía Mayas de la planicie y Alta Vista de Zacatecas. NOTA: Talla en cm y masa corporal en kg.

Ahora bien y, por último, veamos cual fue el comportamiento

de los parámetros biomecánicos en función del dimorfismo sexual, desde la perspectiva de los hombres que vivieron en la costa de Yucatán y en Alta Vista (véase el cuadro 14).

Variable	Mayas-Yucatecos			Alta Vista			p(t)	p(f)*
	n	m	s	n	m	s		
AT	52	704.9	116.3	33	659.1	109.0	0.073	
AC	52	514.8	83.5	33	489.9	85.8	0.189	
AM	52	190.1	39.7	33	169.1	39.4	0.020	
I _x	52	21617.6	7071.5	33	22735.0	9076.7	0.527	0.085
I _y	52	22635.0	7735.7	33	18070.2	6045.6	0.005	
I _{max}	52	24680.0	7689.7	33	24247.2	8889.3	0.813	
I _{min}	52	19556.3	6813.3	33	16557.0	5759.7	0.039	
Ø	52	10.3	45.0	33	-16.8	66.3	0.027	
J	52	44236.3	14271.9	33	40805.2	14175.8	0.282	
I _x /I _y	52	1.0	0.1	33	1.3	0.3	0.000	0.004
I _{max} /I _{min}	52	1.3	0.1	33	1.5	0.2	0.001	
IR	46	109.4	36.1	6	104.2	44.1	0.746	0.879

CUADRO 14. Prueba T de los parámetros biomecánicos, entre fémures masculinos de Mayas de la costa y de Alta Vista, Zacatecas. Nota: AT, AC, AM, I_x, I_y en mm², Ø ángulo de torsión, J en mm⁴; I_x/I_y, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una p > 0.05.

La probabilidad al 95 % de significancia según la función t y para los primeros momentos de inercia (AT y AM), los mayas obtuvieron los valores más altos en el área total y, por ende, el área cortical presenta mayores espesores que los de Alta Vista, indicándonos una mayor resistencia a la fractura y al cizallamiento. Los segundos momentos de inercia, cercanos al eje principal del fémur y el I_{min} también presentan reforzamientos importantes en los planos AP y ML en ambos grupos, misma respuesta a determinados estresores de actividad física. Si bien, el momento polar no presentó diferencias significativas, es necesario señalar que los valores elevados obtenidos en ambos grupos son congruentes con sus ángulos de torca (≥45°). A mayor ángulo de torca, mayor valor en la magnitud del momento polar (J).

En este momento podemos señalar, que la variable que ha presentado mayores diferencias significativas es el índice de *Nordin* o de movilidad (véase la figura 8), el cual continúa siendo

consistente en ambos grupos. Son valores más elevados para el grupo de Alta Vista sujetos a una movilidad y migración intensa y menores para los mayas con una vida de menor movilidad e intensidad en la costa.

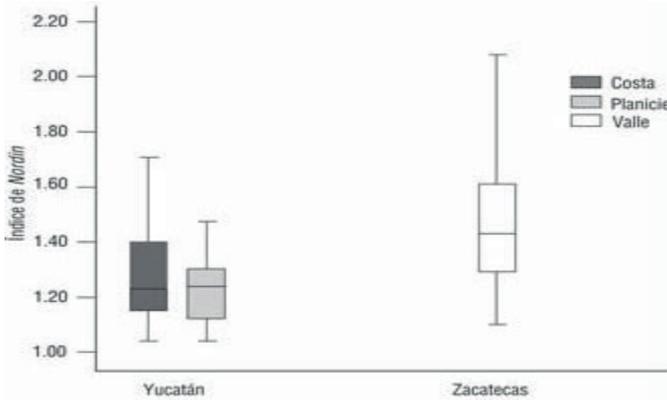


FIGURA 8. Índice de movilidad o de Nordin, para hombres según grupos.

Los causales finales parecen ser congruentes. Vale la pena anotar, que el índice de robustez obtuvo diferencias significativas en ambos grupos, presentando valores elevados propios de individuos robustos causados por una actividad física intensa, y al parecer independiente de su entorno topográfico.

Para el caso de las mujeres (véanse el cuadro 15 y la figura 9) podemos apreciar que la única variable que tuvo diferencias significativas fue el índice de movilidad con un valor mayor para las de Alta Vista, según la función F de *Levene*; que el de las mayas.

Si bien, ambos valores son congruentes con su capacidad de movilización. Se nota que el resto de las variables no presentan diferencias entre las mujeres, consistentes con una resistencia mayor para amortiguar factores de estrés biomecánicos, en espacios similares, y con relación a los variables de tamaño y masa corporal (véase el cuadro 16) podemos apreciar que no hubo diferencias entre las mujeres de ambos grupos, y al igual que en la planicie, son muy homogéneas, de nueva cuenta los resultados son consistentes con la estructura socioeconómica que determina a cada grupo o quizá la falta de diferencia se deba a la heterogeneidad de la muestra y al reducido número de mujeres en la muestra que la prueba de *Fisher* y de *Student* no pudieron discriminar.

Variable	Mayas-Yucatecos			Alta Vista			p(t)	p(f)
	n	m	s	n	m	s		
AT	2	501.4	123.8	10	496.5	133.0	0.963	0.787
AC	2	358.8	87.6	10	369.6	97.9	0.889	0.677
AM	2	142.6	36.2	10	127.0	40.2	0.624	0.649
I _x	2	10496.7	2732.3	10	13972.6	5815.0	0.440	0.127
I _y	2	11113.5	7108.6	10	10480.3	7251.2	0.912	0.882
I _{max}	2	12540.4	5323.1	10	15510.7	7699.6	0.472	0.620
I _{min}	2	9069.8	4517.8	10	8942.2	4009.6	0.968	0.975
∅	2	-31.0	60.8	10	-53.9	56.6	0.616	0.941
J	2	21610.2	9840.9	10	24452.9	11589.9	0.633	0.755
I _x /I _y	2	1.1	0.5	10	1.5	0.4	0.197	0.822
I _{max} /I _{min}	2	1.4	0.1	10	1.7	0.2	0.366	0.099
IR	2	55.2	24.9	1	15.9			

CUADRO 15. Prueba T para muestras independientes. Mujeres, según territorio. Mayas de la costa y Alta Vista, Zacatecas. Nota: AT, AC, AM, I_x, I_y en mm², ∅ ángulo de torsión, J en mm⁴; I_x/I_y, I_{max}/I_{min} índices de movilidad; IR índice de robusticidad; n=submuestra; s=desviación típica; * diferencias significativas para una p > 0.05.

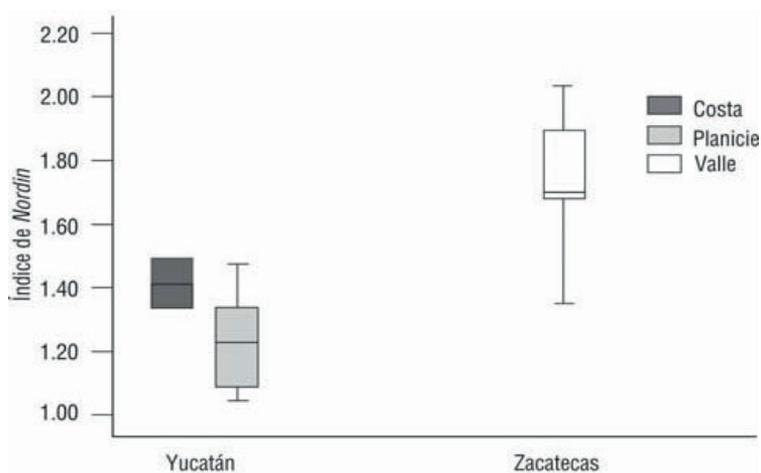


FIGURA 9. Índice de movilidad o de Nordin, para mujeres según grupos.

	<i>Mayas-Yucatecos</i>			<i>Alta Vista</i>			<i>p(t)</i>	<i>p(f)</i>
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>s</i>		
LMF	2	39.1	0.2	4	40.3	2.0	0.446	0.173
Talla	2	157.0	0.4	4	157.3	4.4	0.910	0.123
MC				2	53.6	9.0		

CUADRO 16. Prueba T para muestras independientes para mujeres mayas de la costa y de Alta Vista de Zacatecas. NOTA: Talla en cm y masa corporal en kg.

Conclusiones

La aplicación de este método para el estudio de la actividad física en grupos arqueológicos ha permitido comprender y establecer líneas de investigación en los rubros de la movilidad y en la diferenciación del trabajo entre sexos y que para este rubro fue seria la limitación debido a lo reducido de la muestra femenina. También nos ha dado la oportunidad de entender los procesos de ajuste y respuesta del sistema óseo a las acciones del medio ambiente.

En este aspecto se ha podido precisar que dichas respuestas se dan con mayor frecuencia en el contexto del entorno social, que enmascaran al entorno geográfico. Entonces podríamos afirmar, que nuestros cuerpos se conforman de acuerdo con las formas en cómo nos organizamos socialmente. En la medida en que un grupo humano está organizado socialmente de manera simple, pensemos en un grupo igualitario y nómada, veremos que su estructura corporal presenta improntas óseas gráciles que reflejan el grado de movilidad y actividad física. Y para esquematizar, por el contrario, en la medida que un grupo se vuelve complejo en sus formas de organización económica y social, los esfuerzos para la supervivencia se jerarquizan, los alimentos se vuelven insuficientes y de menor calidad y las exigencias en el trabajo son mayores en aras de sostener a una burocracia sacerdotal y dirigente ineficiente, que provocan improntas mecánicas con diversos grados de impacto, pero no por ello difícil de medir.

En nuestro caso hemos estudiado grupos prehispánicos de Mesoamérica cuyas formas de organización se consideran preindustriales, encontrando una diversidad de actividades complejas y cuyas respuestas mecánicas lineales, acotadas en un estrecho rango fisiológico, son susceptibles de medir y diferenciar

y que facilitó clasificar a los individuos representados por sus fémures, en función de su actividad y movilidad física en el contexto sociopolítico particular de cada grupo.

Particularmente, al comparar a los mayas peninsulares que vivían en la planicie yucateca, con los de Alta Vista, vemos, que los primeros momentos de inercia de los fémures de los hombres fueron mayores entre los primeros que entre los de Alta Vista. Desde este enfoque, esto significa una mayor actividad física, debido a una mayor resistencia ósea en su sección transversal. En cuanto a los segundos momentos de inercia, presentaron valores mayores en Alta Vista, que entre los mayas. Esto es congruente con una mayor actividad física, que también se ve reflejado por el momento polar de inercia, el cual presentó diferencias importantes en ambos grupos, con una mayor torsión entre los mayas.

Sin embargo, pudimos apreciar que el Índice Movilidad, fue mayor a 1 en Alta Vista que entre los mayas. La forma elipsoidal, es propia de agricultores-sedentarios. Lo que nos indica una mayor movilidad.

Con relación a los fémures de las mujeres mayas solo podemos especular, mientras no se incremente el monto de la muestra, que presentaron una mayor resistencia a la fractura que las de Alta Vista. De nueva cuenta el momento polar de inercia es mayor entre las mujeres mayas. El índice de movilidad fue mayor de 1, entre las de Alta Vista, lo que significa una mayor resistencia ósea entre estas mujeres, así como de una mayor movilidad.

El estado que presentó el tamaño y la masa corporal en ambos grupos fue homogéneo y estable. En este caso es congruente y consistente con la base de la alimentación basada en monocultivo del maíz y que coincide con grupos de agricultores. Lo anterior se ha vinculado a un incremento en las calorías consumidas y por ende a un incremento en la masa corporal.

Para el caso de los hombres mayas que vivieron en la costa y los hombres de Alta Vista y para los cuales sí tuvimos montos pertinentes, ambos reflejaron en los primeros y en los segundos momentos de inercia, una resistencia ósea similar en los planos AP y ML, lo cual significa una respuesta similar a estresores de actividad semejantes. Lo anterior es congruentes con los altos valores del momento polar de inercia y el ángulo de torca y que implica una elevada actividad física en ambos grupos. De nueva cuenta, los valores del índice de movilidad son mayores de 1 y estos presentan valores mayores entre individuos de Alta Vista que entre mayas, consistentes con causales finales vinculados a exigencias en la extracción de minerales en combinación sinérgica con la actividad agrícola.

Para el sexo femenino y con lo antes acotado, sólo en el índice de movilidad se obtuvieron diferencias importantes. El resto variables no presentan diferencias. Esta situación sugiere una mayor estabilidad y amortiguamiento óseo entre mujeres de Alta Vista que entre las mayas.

Por último, el tamaño y masa corporal no presentaron diferencias significativas, estas variables son homogéneas en ambos grupos.

Referencias

- Arias López, J. M. (2012). Procesos de microadaptación de poblaciones arqueológicas de la península de Yucatán: La dinámica funcional del fémur. En: Travis W. Stanton (Ed.), *Archaeological Investigations in Yucatán, México*. Oxford: Archaeopress.
- Arias López, J. M. y J. Montes de Paz (2015). Implicaciones sociales de las formas de subsistencia y el relieve geográfico en la estructura corporal de grupos prehispánicos chiapanecos: una perspectiva biomecánica 64. *Diario de Campo, tercera época, año 2*, núms. 10-11, septiembre-diciembre, 64-79.
- Biknevicius, A. R. y C. Ruff (1992). Use of biplanar radiographs for estimating cross-sectional geometric properties of mandibles. *Anatomical Record*, 232, 157-163.
- Bridges, P. S. y J. H. Blitz (1989) Changes in Activities with the Shift to Agriculture in the Southeastern United States. *Current anthropology*, 30, 385-394.
- Bosch, O. E. (2004) Sir Godfrey Newbold Hounsfield y la tomografía computada, su contribución a la medicina moderna. *Revista Chilena de Radiología*, 10 (4), 183-185.
- Brock, S. L. y C. B. Ruff (1988). Diachronic Patterns of Change in Structural properties of the Femur in the Prehistoric American Southwest. *American Journal of Physical Anthropology* 75 (1), 113-127.
- Cabrero Fraile, F. J. (2006). *Imagen radiológica: principios físicos e instrumentación*. Barcelona: Masson.
- Gómez-Esteban González, P. (2008). *Tomografías TEP, TAC, RMN y ecografía*. Recuperado de <http://www.eltamiz.com>.
- Kennedy, K. A. R. (1989). Skeletal Markers of Occupational Stress. En Y. M. Iscan (Ed.) *Reconstruction of Life from the Skeleton*, (pp. 129-160). Nueva York: Alan R. Liss.
- Fenoglio Limón, F. (2011) *Minería en la cultura de Chalchihuites. Un modelo para armar*. Colección Científica 571. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Jurmain, R. (1999). Studies of bone geometry. The Shape of Things to

- come. *Stories from the Skeleton. Behavioral Reconstruction in Human Osteology* (pp. 231-322). En M. K. Standford (Ed.), Londres: Taylor and Francis.
- Krogman, M. y M. Y. Iscan (1986). *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Springfield: Charles C. Thomas Pub.
- Larsen, S. C. (1997). Stress and deprivation during the years of growth and development and adulthood. *Bioarchaeology. Interpreting Behavior from the Human Skeleton* (pp. 6-63). Cambridge: University Press.
- Loth, S. R. y M. Y. Iscan (1989). Morphological Assessment of Age in the Adult: The Thoracic Region. En M.Y. Iscan (Ed.) *Age Markers in the Human Skeleton* (pp. 105-135). Springfield: Charles C. Thomas Pub.
- Martínez Mora, E. (2007). *La organización sociopolítica regional en la época prehispánica en el Valle del Río Suchil, Zacatecas*. Tesis de maestría en arqueología no publicada, México: Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Meindl, R. S. y C. O. Lovejoy (1985). A revised method of age determination using the pubis, with a review and tests of accuracy of other current methods of pubic symphyseal aging. *American Journal of Physical Anthropology*, 68 (1), 29-45.
- Nagurka, M. L. y W. C. Hayes (1980). An interactive graphics package for calculating cross-sectional properties of complex shapes. *Journal of Biomechanics*, 13, 59-64.
- Ohman, J. C. (1993). Computer software for estimating cross-sectional geometric properties of long bones with concentric and eccentric elliptical models. *Journal of Human Evolution*, 25, 217-227.
- O'Neill, M. C. y C. B. Ruff (2004). Estimating human long bone cross-sectional geometric properties: a comparison of noninvasive methods. *Journal Human Evolution*, 47, 221-235.
- Pearson, O. M. (2000). Activity, climate, and postcranial robusticity: implications for modern human origins and scenarios of adaptive change. *Current Anthropology*, 41(4), 569-607.
- Ruff, C. B. (1984). Structural changes in the femur with the transition to agriculture on the Georgia coast. *American Journal of Physical Anthropology*, 64 (1), 125-136.
- Ruff, C. B. (2000). Body size, body shape, and long bone strength in modern humans. *Journal of Human Evolution*, 38 (2), 269-290.
- Ruff, C. B. y W. C. Hayes (1983). Cross-sectional geometry of Pecos Pueblo femora and tibiae, a biomechanical investigation: I. Method and general patterns of variation. *American Journal of Physical Anthropology*, 60 (4), 359-381.
- Ruff, C. B. y H. H. Jones (1981). Bilateral asymmetry in cortical bone of the humerus and tibiae, sex and age factors. *Human Biology*, 53, 69-86.
- Ruff, C. B. y F. P. Leo (1986). Use of Computed Tomography in skeletal structure research. *American Journal of Physical Anthropology*, 29 (1),

- 181-196.
- Ruff, C. B., H. M. McHenry y J. F. Thackeray (1999). [Cross-sectional morphology of the SK 82 and 97 proximal femora.](#) *American Journal of Physical Anthropology*, 109 (4). 509-521.
- Ruff, B. C. y W. W. Scout (1991). Articular and diaphyseal remodeling of the proximal femur with changes in body mass in adults. *American Journal of Physical Anthropology*, 86(3), 397-413.
- Runestad, J. A., C. B. Ruff, J. C. Neih, R. W. Thorington Jr. y F. Teaford (1993). Radiographic estimation of long bone cross-sectional geometric properties. *American Journal of Physical Anthropology*, 90 (2), 207-213.
- Schwartz, G. T. y G. C. Conroy (1996). Cross-sectional geometric properties of the *Otaviipithecus* mandible. *American Journal of Physical Anthropology*, 99 (4), 613-623
- Sepúlveda Vargas, R.D. (2017). Humanos y naturaleza, una mirada desde la complejidad. *Ciencias* 126, (pp. 54-56). México: Facultad de Ciencias, UNAM.
- Warfel M. (1997). *Software*. Escrito en lenguaje BASIC. (Modificado por Stanley Serafin en 2000).