

ECUACIONES PARA ESTIMAR LA TALLA FETAL AL MOMENTO DE LA MUERTE EN POBLACIÓN MEXICANA

Perla Chávez-Martínez^a, Federico Zertuche^b, Abigail Meza-Peñaloza^c

^aDoctorado en Análisis Forense, Euskal Herriko Unibertsitatea, España E-mail: perla.lichma@gmail.com

^bUnidad Cuernavaca Instituto de Matemáticas, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad S/N, Cuernavaca, Morelos 62210, México, E-mail: federico.zertuche@im.unam.mx

^cInstituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal Coyoacán, México, E-mail: abigailm@unam.mx

RESUMEN:

La estimación del tamaño fetal es esencial para establecer un perfil biológico de sujetos prenatales. A continuación, se presenta un modelo de regresión cuadrática utilizando longitudes de huesos largos: húmeros, radios, ulnas, fémures, tibias y fibulas de ambos lados. Se utilizó un tamaño de muestra de 97 fetos de entre 10 y 38 semanas de edad morfológica. Los sujetos tenían tejidos blandos, estaban completos y conservados en formalina tamponada. Las longitudes diafisarias se obtuvieron a través de imágenes de rayos X. La muestra control estuvo compuesta por 47 fémures desarticulados de fetos de entre 10 y 20 semanas de gestación y fueron medidos con un calibrador digital. Todos los especímenes fueron proporcionados por la Colección de Embriones y Fetos Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. El estudio encontró que el húmero, el fémur y la tibia se pueden utilizar para obtener estimaciones precisas de la longitud o el tamaño fetal medido en mm.

PALABRAS CLAVE: Ciencias forenses, antropología forense, talla fetal, LCR, longitud diafisaria, regresión lineal cuadrática.

EQUATIONS FOR ESTIMATING FETAL LENGTH AT TIME OF DEATH IN THE MEXICAN POPULATION

ABSTRACT

Fetal size estimation is essential for establishing a biological profile of prenatal subjects. In this study, a quadratic regression model is presented using long bone lengths: humeri, radii, ulnas, femurs, tibias, and fibulas from both sides. A sample size of 97 fetuses between

10 and 38 weeks of morphologic age was used to perform the estimations. The subjects had soft tissue, were complete and conserved in buffered formalin. The diaphyseal lengths were obtained through x-ray imagery. The control sample was composed of 47 disjointed femurs from fetuses between 10 and 20 weeks of gestation and were measured with a digital calibrator. All specimens were provided by the Collection of Human Embryos and Fetuses in the Faculty of Medicine at the National Autonomous University of Mexico. The study found that the humerus, femur and tibia can be used to obtain precise estimations of fetal length or size measured in mm.

KEYWORDS: Forensic anthropology; Fetal length; Crown-rump length; Diaphyseal length; Quadratic linear regression

INTRODUCCIÓN

El análisis antropológico del feto recae principalmente en la asignación de edad, la indicación de algunas características biológicas y sólo en ciertas ocasiones posibles circunstancias de la muerte (Indriati 1999; Lewis 2007; Beauchesne y Agarwal 2018; Han *et al.* 2018; Bartosch *et al.* 2019; Niel *et al.* 2022), provocando la reducción del alcance del perfil biológico y la exclusión de variables por falta de elementos valorables, discriminantes y significativos. Un problema particular ocurre con la talla en el perfil biológico fetal, dado que el número de propuestas para su estimación es reducido (Bartosch *et al.* 2019) el concepto de talla o estatura no se encuentran plenamente definidos y se utilizan modelos de predicción que no son completamente adecuados a la etapa prenatal. Sin embargo, no debe ser desestimada debido a lo siguiente: es una variable susceptible de evaluar y proporciona información importante respecto al tamaño del sujeto prenatal, complementa los datos disponibles en términos de su individualización, permite una diferenciación en caso de restos mezclados, orienta sobre problemas de crecimiento o presencia de enfermedades y coadyuva en la identificación.

En los individuos fetales, la estatura se ha considerado como la distancia existente entre el punto coronal y el talón (longitud cráneo-talón o LCT) en posición extendida, sin embargo, es complicada de medir dado que los miembros inferiores suelen estar flexionados o en distintas posiciones tanto en sujetos vivos como en cadáveres (England 1993; Bareggi *et al.* 1994; Arteaga y García 2014). No obstante, si la talla se equipara con la longitud cráneo-rabadilla o LCR, su estimación resulta más confiable por no interferir la posición de las piernas y ser valorable en todas las semanas fetales, caracterizándose como medida del esqueleto y no de la maduración (Kjar 1974), siendo el parámetro morfométrico mayormente recurrido para la valoración del tamaño fetal (Kjar

1974; Bareggi *et al.* 1994; Arteaga *et al.* 1997). El interés por la estimación de la estatura o LCT en fetos y perinatos inició con el trabajo de Balthazard y Dervieux (1921), quienes midieron los restos de 25 fetos de origen francés y desarrollaron tres fórmulas aplicables en fémur, tibia y húmero para estimar la estatura en centímetros, con el objetivo de proponer modelos estadísticos para la edad a partir de la estatura. Olivier y Pineau (1958) sometieron a revisión las medidas realizadas por Balthazard y Dervieux (1921) y encontraron que sólo son aplicables para individuos que han nacido (según Moore y Ross 2013). Años después, Olivier (1969); Olivier y Pineau (1958) realizaron una propuesta para la valoración de talla a partir del fémur y, después, utilizaron la longitud máxima de los seis huesos largos de 40 fetos, estableciendo fórmulas lineales para estimar la estatura en centímetros, con intervalos de confianza al 68% y al 95%; todas las fórmulas muestran un alto coeficiente de correlación (mayor a 98%); al igual que sus antecesores, desarrollan una fórmula lineal para calcular la edad en meses lunares a partir de la estatura. No obstante, se trata de fórmulas lineales establecidas que utilizan un número limitado de individuos, donde la precisión del cálculo en centímetros explica la eficacia estadística; el problema es que en la etapa prenatal existen diferencias a nivel milimétrico, especialmente importantes para individuos en el primer y segundo trimestre de gestación, por lo que los resultados no son completamente adecuados para una predicción de estatura en este grupo etario.

Huxley y Jiménez (1996) evaluaron las fórmulas de Olivier y Pineau (1960) para ulna, radio, tibia y fibula en la radiografía de un feto, observando que el radio presenta variaciones en comparación con los otros huesos, estimando longitudes superiores que, en términos de meses de edad fetal, se interpretan en tres meses de diferencia, con respecto a los otros huesos del mismo sujeto. Fazekas y Kósa (1978) estudiaron 138 fetos y propusieron seis fórmulas de regresión lineal para la estimación de la estatura a partir de la longitud diafisaria de los huesos largos y otros elementos óseos; no obstante, los resultados también se obtienen en centímetros y no se especifican coeficientes de correlación e intervalos de confianza que justifiquen el modelo y permitan mejores estimaciones. Alonso *et al.* (1998) realizaron un estudio para valorar el crecimiento medio antropométrico fetal y considera la LCT y el ajuste de una curva logarítmica, encontrando variaciones en la velocidad de crecimiento a lo largo del proceso prenatal y un punto de inflexión a las 28 semanas en las niñas y las 29 en los niños.

Mehta y Singh (1972) propusieron dos fórmulas lineales para estimar la LCR a partir de fémur y húmero, con coeficientes de correlación r de 0.9956

y de 0.9893, respectivamente. El estudio se realizó en 50 fetos (30 masculinos y 20 femeninos) de la India, aparentemente normales, con LCR de 65 a 290 mm, fijados en formalina, encontrando un crecimiento rápido y regular en individuos con hasta 99 mm de LCR, después una fase de crecimiento lento hasta alcanzar los 150 mm de LCR; posteriormente, una fase de crecimiento regular hasta los 245 mm, seguida de una nueva fase de crecimiento lento. Finalmente, Simon y Baig (2015) publicaron un estudio en el que evaluaron el húmero fetal en población india y lo correlacionaron con la LCR y la LCT para posteriormente poder calcular la edad fetal a partir de escalas de estimación ya establecidas, construyendo fórmulas de regresión lineal, en las que no se especificó el coeficiente de correlación r .

Con este panorama, se justifican nuevos trabajos para la valoración de esta variable.

Se entiende que la estimación de la talla fetal se hace a partir de tejido óseo y el resultado se establece en términos de tejido blando, producto del proceso de crecimiento; así, se observa una relación entre hueso y cuerpo que puede traducirse en una función matemática donde interactúan dos tipos de variables: la longitud de algún elemento óseo y la longitud cráneo-rabadilla. De esta forma, es a partir del modelado estadístico de la LCR en función de la longitud diafisaria de los huesos largos (húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula) que se puede representar el crecimiento del individuo generando una predicción de talla fetal. Por lo anterior, la consolidación de los métodos de estimación de talla se debe entender a partir de la valoración del crecimiento.

El crecimiento se define como el conjunto de cambios progresivos en el tamaño y morfología de la anatomía de un individuo durante su desarrollo, en cuanto peso, volumen y longitud, por lo que el crecimiento es aquel que “da lugar al aumento en el tamaño, la configuración morfológica y el cambio en las proporciones anatómicas” de un organismo (Arteaga y García 2014: 59), cuyo patrón es reflejo de la naturaleza biológica de la especie y el ambiente. En el ser humano, el crecimiento es resultado de su historia biocultural y evolutiva, por lo que el patrón seguido será producto de diversas interacciones entre la biología, el ambiente y los entornos social, económico y político (Bogin y Smith 2012).

Durante la etapa fetal, las diferentes estructuras y regiones del cuerpo crecen a distinta velocidad y con un patrón de crecimiento diferencial (aceleraciones y desaceleraciones) en las diferentes etapas ontogénicas, en sus distintos componentes y en los segmentos del cuerpo (Cabana *et al.* 1993; Wells y Stock 2007). La tasa de crecimiento de cualquier segmento es mayor cuando empieza

el desarrollo y disminuye progresivamente conforme aumenta la edad (Falkner 1985; Ford 1956), cambiando las proporciones corporales con el tiempo de gestación o el estadio ontogénico; por ello, la etapa prenatal parece seguir un patrón de curva (Méndez 1985), caracterizado por un proceso continuo de aumento, con un pico de velocidad (de ubicación exacta incierta, que puede ubicarse entre las 20 y 24 semanas) y un incremento casi lineal desde las 28 semanas y hasta las 34-36 semanas, tras lo cual se produce una reducción gradual de velocidad hasta el nacimiento, debido a la influencia del tamaño del espacio uterino (Falkner 1985; Méndez 1985). En términos generales, en el segundo trimestre gestacional ocurre un rápido crecimiento longitudinal y en el tercero un aumento en peso y maduración (Bogin y Smith 2012), observando para los huesos largos la mayor velocidad de crecimiento alrededor de las semanas 21-23 de gestación (Fescina *et al.* 2011).

Es necesario considerar los procesos de formación y crecimiento de los huesos, así como su relación con el cuerpo del individuo fetal, para que se pueda entender la relación existente entre la longitud de los huesos largos y la talla; así, se sustenta la viabilidad de la estimación de la talla en prenatales, pudiendo integrarla como una de las variables básicas a evaluar en el proceso de identificación de un feto. En este sentido, es oportuno desarrollar herramientas que permitan una valoración del perfil biológico fetal más específico y completo. Por lo que al proponer métodos para la estimación de la talla se busca subsanar la falta de estándares que aporten una mayor exactitud en los resultados y tengan un mejor poder predictivo, al sustentarse en las características del crecimiento y en una muestra de tamaño aceptable y de características adecuadas para considerarse un estándar poblacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra está constituida por 97 fetos, de los cuales 52 son masculinos, 41 femeninos y 4 a los que no se pudo sexar. Todos ellos íntegros de entre 10 y 38 semanas de edad morfológica, con tejido blando, articulados y conservados en formol amortiguado. La muestra testigo está formada por 47 fémures desarticulados pertenecientes a sujetos menores de 20 y mayores de 10 semanas. Todos los fetos eran fenotípicamente normales y se encontraban en óptimo estado de conservación e integridad; éstos fueron obtenidos de abortos espontáneos de población mexicana contemporánea, resguardados en la Embriofetoteca del

Laboratorio de Morfología del Desarrollo y Dismorfogénesis, de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.¹

Para desarrollar esta investigación se utilizaron las longitudes cráneo-rabadilla (LCR) realizadas en el laboratorio de la Embriofetoteca de la Facultad de Medicina. Para la medición LCR se empleó una cinta métrica flexible plástica que se ajustó en el vértex del cráneo del individuo y se continuó hasta la rabadilla (Arteaga Martínez *et al.* 1997); las medidas de longitud diafisaria fueron obtenidas en 2013 como parte de un trabajo de tesis (Chávez-Martínez 2013; Chávez-Martínez *et al.* 2016). Las longitudes diafisarias son resultado de un extenso proceso de toma de radiografías, digitalización, escalado y medición. Se realizaron mediciones repetidas de cada hueso con el fin de establecer una media e incrementar la precisión: se midieron un total de 207 del húmero derecho, 273 del húmero izquierdo, 201 de ulna derecha, 252 de ulna izquierda, 207 de radio derecho, 252 de radio izquierdo, 234 de fémur derecho, 264 de fémur izquierdo, 231 de tibia derecha, 252 de tibia izquierda, 156 de fibula derecha y 204 de fibula izquierda (Chávez-Martínez *et al.* 2016). Los 47 fémures desarticulados fueron medidos directamente con un calibrador plástico digital marca *Mitutoyo*, el mismo día y por dos investigadores distintos. Todas las longitudes se obtuvieron con precisión milimétrica.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Si bien estamos trabajando con un modelo multivariado (debido a la presencia de cinco huesos cuyas longitudes están claramente correlacionadas) existe un parámetro adicional, la LCR, la cual hace que una regresión multivariada resulte compleja. Por ello preferimos elegir modelos de regresión independientes para cada uno de los huesos. Es de hacer notar que los modelos multivariados, como el análisis de componentes principales (ACP), hacen una descomposición en autovectores y sus respectivos autovalores del modelo para representarlo en coordenadas ortogonales (los autovectores) y de ahí hacer una interpretación de componentes principales. En el caso que estamos trabajando, cada modelo de regresión puede ser visto como un componente ortogonal y su relevancia en el orden de los componentes a través del valor del coeficiente de correlación. Lo anterior equivaldría al orden de relevancia en el caso del ACP mediante los

¹ Esta investigación fue realizada de acuerdo con lo establecido en la Legislación Universitaria (info4.juridicas.unam.mx/unijus). Artículo 4º y 5º del Capítulo Tercero del Reglamento de Seguridad y Coordinación en Materia de Investigación para la Salud de la UNAM.

autovalores. Sin embargo, como se verá, todos los coeficientes de correlación r poseen valores $0.95 < r \leq 1$ con $p < 4.1 \times 10^{-50}$ lo que muestra un orden de relevancia prácticamente indistinguible en todos los casos. La primera parte del análisis se enfocó en las pruebas estadísticas para detectar diferencias significativas entre los valores y las características de los individuos. Se realizaron comparaciones entre las distintas medidas para un mismo hueso, las medidas entre huesos de lado derecho y de lado izquierdo y las medidas por sexo del individuo para los seis huesos largos. En el caso del sexo se hicieron estudios de correlación y tablas de contingencia. Los resultados indicaron que no existe diferencia entre ellos, dando una probabilidad de no asociación = 0.000. Para el caso de los fémures desarticulados se compararon las medidas por iteración y por observador. Se aplicaron pruebas t de *Student* para muestras relacionadas y para muestras independientes, así como, ANOVA según fuera el caso, una vez comprobado el supuesto de normalidad. Dado que las longitudes diafisarias analizadas corresponden con aquellas medidas tomadas en 2013 (Chávez-Martínez 2013; 2017; Chávez-Martínez *et al.* 2016), se compararon los valores obtenidos y los calculados en aquel momento para verificar los resultados actuales.

Cuando no se encontraron diferencias significativas entre las longitudes diafisarias de un hueso e individuo, los distintos valores fueron promediados por lado y por hueso para un mismo feto y, en caso de que alguna de las mediciones comparadas no se hubiera registrado, se tomó el valor de su homónimo. Se tuvieron un máximo de seis medidas por individuo, correspondientes a la longitud de húmero, longitud de ulna, longitud de radio, longitud de fémur, longitud de tibia y longitud de fibula. Se calculó la desviación estándar de estas medidas, además, del error relativo porcentual a partir de la relación existente entre la desviación estándar/longitud diafisaria. Una vez observado el comportamiento de los datos se convino considerar atípicos aquellos casos en los que el error porcentual resultara > 4.5 , siendo retirados de la base de datos para evitar que alteraran los modelos de regresión.

AJUSTE DE MODELOS DE REGRESIÓN

La talla (LCR) y la longitud diafisaria son dos medidas de longitud, por lo que, en trabajos previos (Kjar 1974; Bareggi *et al.* 1994), se ha considerado que la mejor estimación de β_0 y β_1 a partir de los datos x y y , es una regresión lineal simple, ajustada a partir de:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + e \quad (1)$$

Donde:

β_0 = Intersección con el eje de las ordenadas

β_1 = Pendiente de la recta

e = Nivel de incertidumbre o error presente

Dado que se quería realizar una comparación entre modelos, se decidió ajustar una regresión cuadrática que representara una parábola más cercana al proceso de crecimiento intrauterino, con lo cual no se supondría una proporción corporal ni una velocidad constante a lo largo de todo el periodo fetal sino un proceso con distintos estadios de aceleración y desaceleración, según el tiempo de gestación. El modelo está dado por:

$$y = \beta_2 x^2 + \beta_1 x + \beta_0 \quad (2)$$

Donde:

β_0, β_1 y β_2 = Parámetros de la parábola

Para la estimación de la talla a partir de un modelo de regresión lineal simple (1) se supone la longitud diafisaria como la variable independiente x y a la talla (LCR) como la variable dependiente. En este trabajo preferimos, sin pérdida de generalidad, usar la talla como la variable independiente y la longitud diafisaria como la dependiente. Haciendo una inversión de variables en el modelo (2) se busca establecer el valor de la talla en función de alguno(s) hueso(s), por lo que consideramos que es mejor hacer este despeje y obtener:

$$x = \frac{-\beta_1}{2\beta_2} + \frac{1}{2\beta_2} \sqrt{\beta_1^2 - 4\beta_2\beta_0 + 4\beta_2 y},$$

donde la ambigüedad del signo \pm en el segundo término de la ecuación queda resuelta por el hecho de estar midiendo distancias que deben ser positivas.

Una vez depurada la base de datos, se calcularon las variables necesarias para ajustar ambos modelos de regresión *i.e.*: para realizar la comparación entre los modelos se utilizó el coeficiente de determinación r^2 , el coeficiente de correlación r y la representación gráfica de los modelos. Después de comparar los modelos de regresión, se continuó con el ajuste de los intervalos de predicción al 95% de aquella fórmula que resultó mejor predictor. Se tomó el promedio

de los distintos valores de los fémures desarticulados para realizar la prueba del modelo propuesto para fémur, evaluando la existencia o ausencia de diferencias significativas entre los valores medidos y los valores predichos por el modelo y se corroboró que la talla medida se encontrará incluida en los intervalos de predicción ajustados.

RESULTADOS

Los análisis estadísticos fueron realizados usando *Excel 2016*, *SPSS 19*, *PAST 2016*, *Gnuplot 5.0* y programas en C elaborados por uno de nosotros.

Una vez comprobado el comportamiento normal de la mayoría de los datos, salvo unos pocos casos atípicos (explicado más abajo), mediante la prueba de Shapiro-Wilks $p=0.34$, se corroboró la ausencia de diferencias significativas entre las tres distintas medidas realizadas para cada hueso (una correspondiente a 2013 y dos en 2016), las medidas entre huesos de lado derecho y de lado izquierdo, las medidas por sexo del individuo, en los seis huesos largos, y las distintas medidas realizadas para los fémures desarticulados, comprobando la reproductibilidad de las valoraciones. Para lo anterior, se promediaron los valores para un mismo hueso por individuo y se construyó una base de datos sin considerar el sexo del feto. Con el error relativo porcentual se identificaron y retiraron los casos atípicos (error $> 4.5\%$): para el húmero se eliminó un caso atípico con error de 4.52% , para la ulna se retiraron tres casos atípicos con error mayor a 5.23% , para radio se excluyeron cuatro casos atípicos mayores a 6.02% , para fémur se retiraron cinco casos atípicos con valores mayores 4.89% , para tibia se descartaron ocho casos atípicos con error mayor a 4.91% , finalmente, para la fibula se eliminaron cinco casos atípicos con error mayor al 5.20% . Todos estos casos atípicos son atribuibles a errores de medición inherentes a todo trabajo experimental.

Se ajustaron las siguientes fórmulas de regresión lineal: seis fórmulas de regresión cuadrática calibradas (tabla 1) con el coeficiente de determinación r^2 , en los modelos lineales se encontró un ajuste favorable de los seis huesos largos con resultados en la tabla 1 se puede ver que la tibia presentó el mejor comportamiento explicando en un 93.59% la variabilidad de la talla, seguida del fémur con 93.32% , la fibula con 92.63% , el húmero con 92.51% , la ulna con 91.31% y, finalmente, el radio con 90.73% . Los valores obtenidos para las ecuaciones cuadráticas superaron el ajuste conseguido con las ecuaciones lineales.

Tabla 1: Modelos de regresión y sus parámetros estadísticos. $p < 0.000$ en todos los casos.

Variable*	Regresión lineal		Regresión cuadrática		r^2		r	
	β_0	β_1	β_0	β_1	Lineal	Cuadrática	Lineal	Cuadrática
Húmero	4.7195	19.6910	-12.1301	0.326128	0.925135	0.944880	0.96184	0.97205
Ulna	4.8974	24.0050	-13.3149	0.322616	0.913129	0.936353	0.95558	0.96765
Radio	5.8421	13.9750	-10.9221	0.284240	0.907294	0.932886	0.95252	0.96586
Fémur	3.9625	36.0550	-14.6652	0.337866	0.933244	0.941854	0.96605	0.97049
Tibia	4.5207	40.2100	-13.3973	0.290206	0.935891	0.942711	0.96741	0.97093
Fíbula	4.5920	42.8650	-16.4292	0.310764	0.926294	0.936747	0.96279	0.96786

*Variable independiente en la regresión lineal y variable dependiente para la regresión cuadrática.

En el caso del coeficiente de correlación r para los modelos lineales, la tibia mostró el mejor desempeño con una predicción de 96.61%, seguida por el fémur con 96.74%, la fibula con 96.28% y el húmero con 96.18%. Con el valor más bajo se encuentran el radio y la ulna, con 95.25% y 95.56%, respectivamente. No obstante, los modelos de regresión cuadráticos superan la fuerza de asociación observada en los otros modelos, encontrando una asociación de 96.59% en el caso del radio, 96.77% en ulna, 96.79% para fibula, 97.05% para fémur, 97.09% en tibia y hasta 97.21% en el húmero.

Con los modelos gráficos se verificaron los resultados del coeficiente de determinación r^2 y el coeficiente de correlación r , al encontrar un mejor ajuste con los modelos de regresión cuadrática para los seis huesos largos. Se obtuvieron los siguientes intervalos de predicción por hueso para los modelos de regresión cuadráticos mostrado en la tabla 2.

En ambos modelos, en la muestra testigo de 47 fémures, no se observan diferencias estadísticamente significativas por modelo lineal ($t= 0.710$, $p = 0.4813 > 0.05$) y por modelo cuadrático ($t= 0.212$, $p = 0.8330 > 0.05$) entre los valores estimados y los medidos. Sin embargo, existe una discrepancia promedio de hasta 5.3 mm entre la talla medida y la talla estimada por el modelo lineal, así como una discrepancia promedio de 1.5 mm entre la talla medida y la talla estimada por el modelo cuadrático. Por lo que se demuestra nuevamente que el modelo cuadrático es un mejor predictor para talla fetal. Respecto a los intervalos de predicción se encontró que 93.6% de los casos analizados se encuentran en el intervalo; por lo tanto, se infiere que los modelos ajustados a partir de la longitud diáfisiaria de los huesos largos predicen adecuadamente la talla fetal. En las figuras S1-S6 del material suplementario se muestran los ajustes lineales, cuadráticos de cada uno de los huesos, además de los intervalos de confianza para los seis huesos estudiados.

DISCUSIÓN

Con regularidad, las fórmulas para estimar la talla y la estatura son de tipo lineal, como en el caso de Balthazard y Dervieux (1921); Mehta y Singh (1972); Olivier (1969); Olivier y Pineau (1958), quienes suponen que la correlación es constante; aplicados en la etapa prenatal, esos modelos presumen la existencia de las mismas proporciones entre los órganos y secciones corporales, así como las mismas velocidades de crecimiento durante toda la vida gestacional, no importando que el incremento obedezca al momento de hiperplasia o de hipertrofia

Tabla 2: Modelo de regresión cuadrática e intervalos de predicción.

<i>Hueso</i>	<i>Calibración del modelo cuadrático</i>	<i>Intervalos de predicción</i>
<i>Húmero</i>	$488.3779 - 1497.5370 * \sqrt{0.0902 - 0.00134 \text{ húmero}}$	$\text{tamaño} \pm 1.99 * \sqrt{13.74 + \frac{(\text{húmero} - 171.07)^2}{478112.45}}$
<i>Ulna</i>	$472.4192 - 1464.3390 * \sqrt{0.0859 - 0.00137 \text{ ulna}}$	$\text{tamaño} \pm 1.99 * \sqrt{14.49 + \frac{(\text{ulna} - 173.77)^2}{472726.92}}$
<i>Radio</i>	$453.4621 - 1595.3492 * \sqrt{0.0671 - 0.00125 \text{ radio}}$	$\text{tamaño} \pm 1.99 * \sqrt{10.74 + \frac{(\text{radio} - 179.99)^2}{447075.62}}$
<i>Fémur</i>	$654.7537 - 1937.9094 * \sqrt{0.0990 - 0.00103}$	$\text{tamaño} \pm 1.99 * \sqrt{21.50 + \frac{(\text{fémur} - 174.98)^2}{504007.56}}$
<i>Tibia</i>	$700.8960 - 2415.1673 * \sqrt{0.0731 - 0.00083 \text{ tibia}}$	$\text{tamaño} \pm 1.99 * \sqrt{16.81 + \frac{(\text{tibia} - 178.78)^2}{475806.76}}$
<i>Fíbula</i>	$597.6346 - 1923.1139 * \sqrt{0.0795 - 0.00104 \text{ fíbula}}$	$\text{tamaño} \pm 1.99 * \sqrt{17.37 + \frac{(\text{fíbula} - 192.26)^2}{448520}}$

de las células, según ocurra un aumento de dimensiones o de madurez de los órganos y tejidos. No obstante, numerosos trabajos indican que el crecimiento durante la vida prenatal es alométrico (Cabana *et al.* 1993; Falkner 1985; Ford 1956; Wells y Stock 2007) y, por lo tanto, puede ser representado por una curva para obtener resultados adecuados. Este problema se ve reflejado en el modelo de regresión lineal planteado en esta investigación, el cual presenta coeficientes r^2 y r menores al modelo cuadrático, hasta en 0.256 para el caso del coeficiente de determinación r^2 y hasta en 0.134 en el coeficiente de correlación r . Lo anterior se interpreta como un mejor ajuste del modelo cuadrático a la línea de regresión a los datos, provocando que los errores residuales sean más pequeños en comparación con el otro modelo y la existencia de una asociación menos significativa entre la talla y los huesos largos en el modelo lineal.

Al considerar la talla como variable independiente y la longitud diafisaria como variable dependiente, es posible un mejor ajuste entre el comportamiento de los datos y la regresión al representar gráficamente una mayor velocidad de crecimiento para las longitudes más pequeñas (que corresponden con las etapas más tempranas del periodo fetal), una velocidad de crecimiento y un incremento constante en las longitudes ubicadas al centro de la distribución y, finalmente, una desaceleración de la velocidad de crecimiento y un menor aumento de tamaño para las longitudes más largas (propio de las últimas semanas gestacionales).

Con la intención de verificar los resultados obtenidos en la evaluación estadística de los modelos para fémur, éstos fueron sometidos a prueba en la muestra testigo de los fémures desarticulados, observando en ambos la ausencia de diferencias significativas entre los valores estimados y los medidos. No obstante, el mejor ajuste del modelo cuadrático derivó en una menor discrepancia promedio de la talla, siendo apenas de 1.5 mm, en comparación con los resultados del modelo lineal donde la diferencia es de 5.3 mm. Si dichos resultados se interpretan en el contexto de la antropología forense fetal y la estimación de la talla, el modelo de regresión lineal implica un mayor rango de error, dado que la talla obtenida se distribuye por fémures cuya longitud diafisaria se diferencia hasta por 1.4 mm, siendo que pequeñas variaciones milimétricas representan amplias variaciones en los resultados. Así pues, resulta más adecuado un modelo de regresión cuadrática en la estimación de la estatura fetal que un modelo de regresión lineal.

En lo referente al valor porcentual de los coeficientes de correlación r de los modelos cuadráticos, el húmero obtuvo el mejor ajuste con 94.49%, seguido de la tibia y el fémur (94.27% y 94.19%), la fibula (93.67%), la ulna (93.64%)

y finalmente el radio con 93.29%. La mayor fuerza de asociación entre la talla y la longitud diafisiaria fue alcanzada por el húmero, seguido de la tibia y el fémur, los cuales superaron el 97%, por encima de la fibula, la ulna y el radio, con asociaciones por encima de 96.5%. En términos estadísticos, la estimación de la talla por la longitud diafisiaria humeral ofrece mejores resultados en comparación con los otros huesos, sin embargo, la diferencia con la tibia y el fémur es de escasas décimas, por lo que no se demerita la eficacia de las estimaciones con estos elementos óseos. Los resultados obtenidos difieren un poco sobre la mayor exactitud del fémur para la estimación de la estatura en restos inmaduros (Feldesman 1992), puesto que, parece ser que en la etapa prenatal el húmero y la tibia también proveen estimaciones precisas para la longitud corporal y, específicamente, para la talla.

CONCLUSIONES

Existe una correlación significativa entre la talla fetal y la longitud de huesos largos, por lo que es factible la construcción de modelos de regresión para predecir la talla a partir de la longitud diafisiaria. Los modelos de regresión cuadrática resultan más eficaces en términos estadísticos que los modelos de regresión lineal para la estimación de la talla fetal, dado que representan de mejor forma el crecimiento prenatal al adecuarse al comportamiento de los datos.

En la estimación del perfil biológico fetal prácticamente cualquier característica puede ser agente de variación; no obstante, si por lo menos el modelo de predicción es apropiado, el error será menor; en el caso de la talla; los modelos cuadráticos propuestos son adecuados y confiables, puesto que no presentan diferencias significativas entre las tallas estimadas y las tallas medidas.

Al incluir elementos para la estimación de la talla fetal además de contribuir al desarrollo de la investigación científica y académica, también se pueden enriquecer las discusiones actuales en torno a las complejidades del feto humano dentro del ámbito jurídico y bioético al dotar a distintos especialistas e instituciones de una herramienta más que puede permitir evaluar procesos de crecimiento valorables tanto en sujetos vivos, cadáveres y restos óseos de manera directa o mediante la toma de radiografías.

La aplicación de este modelo también puede ser utilizado en restos fetales hallados en contextos arqueológicos, con lo que se podría ampliar la información sobre aspectos de salud materna /infantil al comparar la estimación de la muerte fetal y la talla de los mismos, así mismo se podría ahondar en las discusiones

sobre las diferencias entre los tratamientos funerarios entre los individuos de distintas edades y, de ser posible, inferir aspectos del papel de los fetos dentro de las sociedades antiguas.

AGRADECIMIENTOS

Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IN402720 de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Al Dr. Manuel S. Arteaga Martínez por la asesoría y acceso al estudio de la colección.

REFERENCIAS

ALONSO ORTIZ, T., E. MARISCAL-RAMOS, M. ARMADÁ-MARESCA, J. ARIZCUN-PINEDA Y P. ZULUAGA-ARIAS

1998 Ajuste de curvas de crecimiento fetal medio. *Anales Españoles de Pediatría* 49(4):388-392.

ARTEAGA MARTÍNEZ, S. M Y M.I. GARCÍA PELÁEZ

2014 *Embriología Humana y Biología del Desarrollo*. México: Editorial Médica Panamericana.

ARTEAGA MARTÍNEZ M, I. GARCÍA-PELÁEZ, P. HERRERA-SAINT-LEU, T. ERRASTIDIDÍ, S. CHAVIRA-ESTEFAN Y D. SAAVEDRA-ONTIVEROS

1997 Antropometría fetal normal de la 9 a 20 semanas del desarrollo. *Perinatología y Reproducción Humana* 11(1):21-32.

BALTHAZARD V, Y X. DERVIEUX

1921 Etudes anthropologiques sur le foetus humain. *Annales Médecine Légale* 1: 37-42.

BAREGGI, R., V. GRILL, M. ZWEYER, M.A. SANDRUCCI, P. NARDUCCI Y A. FORABOSCO

1994 The growth of long bones in human embryological and fetal upper limbs and its relationship to other developmental patterns. *Anatomy and embryology*, 189(1): 19-24.

BARTOSCH, C., I. VILAR, M. RODRIGUES, L. COSTA, N. BOTELHO Y O. BRANDÃO

2019 Fetal autopsy parameters standards: biometry, organ weights, and long bone lengths. *Virchows Archiv*, 475(4): 499-511.

- BEAUCHESNE, P. Y S.C. AGARWAL (EDS.).
 2018 Children and childhood in bioarchaeology: Bioarchaeological interpretations of the human past: local, regional, and global perspectives. University Press of Florida.
- BOGIN, B. Y B.H. SMITH
 2012 Evolution of the Human Life Cycle, S. Stinson, B. Bogin y D. O'Rourke (eds.) *Human Biology: An Evolutionary and Biocultural Perspective*. (pp.377-424) New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- CABANA, T., P. JOLICOEUR Y J. MICHAUD J.
 1993 Prenatal and postnatal growth and allometry of stature, head circumference, and brain weight in Québec children. *American Journal of Human Biology* (5):93-99.
- CHÁVEZ-MARTÍNEZ P.
 2013 Elaboración de estándares métricos para la estimación de edad fetal al momento de la muerte en una población mexicana. Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Antropología e Historia. Ciudad de México.
- CHÁVEZ-MARTÍNEZ, P.
 2017 Ecuaciones para estimar la talla fetal al momento de la muerte. Distrito Federal, Tesis de maestría en antropología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- CHÁVEZ-MARTÍNEZ, P., A. ORTEGA-PALMA, J. L. CASTREJÓN-CABALLERO, Y S.M. ARTEAGA-MARTÍNEZ
 2016 Equations to estimate fetal age at the moment of death in the Mexican population. *Forensic Science International*, 266 (587):10.
- ENGLAND, M. A.
 1993 *Gran Atlas de la Vida antes de nacer*. Barcelona: Oceano/Centrum.
- FALKNER, F.
 1985 Key Issues in Perinatal Growth. *Acta Paediatr Scand, Suppl* 319: 21-2
- FAZEKAS I, Y K. KÓSA.
 1978 *Forensic fetal osteology*. Budapest: Akademiai Kiado Publishers.

FELDESMAN, M.R.

- 1992 Femur/stature ratio and estimates of stature in children. *American Journal of Physical Anthropology*, (87): 447- 459.

FESCINA, R.H., B. DE MUCIO, G.MARTÍNEZ, A.ALEMÁN, C. SOSA, L. MAINERO Y M. RUBINO

- 2011 Vigilancia del crecimiento fetal. *Centro Latinoamericano de Perinatología. Salud de la Mujer y Reproductiva*. Montevideo.

FORD, E.H.R.

- 1956 The growth of the fetal skull. *Journal of Anatomy*, 90: 63-72.

HAN, S., T.K. BETSINGER Y A.B. SCOTT (EDS.)

- 2018 *The anthropology of the fetus. Biology, culture and society*. New York: Berghahn.

HUXLEY A.K. S.B. JIMENEZ SB.

- 1996 Technical note: error in Olivier and Pineau's regression formulae for calculation of stature and lunar age from radial diaphyseal length in forensic fetal remains. *American Journal of Physical Anthropology*, 100 (3):435-437.

INDRIATI, E.

- 1999 The role of forensic anthropology in fetal death investigation. *Berkala Ilmu Kedokteran*, 31(3)181-187.

KJAR I.

- 1974 Skeletal maturation of the human fetus assessed radiographically on the basis of ossification sequences in the hand and foot. *American journal of physical anthropology*, 40(2):257-276.

LEWIS, M. E.

- 2007 The bioarchaeology of children: perspectives from biological and forensic anthropology (Vol. 50). Cambridge University Press.

MEHTA, L. Y H.M. SINGH

- 1972 Determination of crown- rump length from fetal long bones: Humerus and femur. *American Journal of Physical Anthropology*, 36 (2):165- 168.

MÉNDEZ, H.

- 1985 Introduction to the Study of Pre- and Postnatal Growth in Humans: A Review. *American Journal of Medical Genetics*, (20) :63-85.

MOORE MK Y A.H. ROSS

- 2013 Stature Estimation. E.A. DiGangi EA, y M.K. Moore (eds.), *Research Methods in Human Skeletal Biology*. (pp.151-179) Oxford: Elsevier Inc.

NIEL M, CHAUMOÏTRE K, ADALIAN P.

- 2022 Age-at-Death Estimation of Fetuses and Infants in Forensic Anthropology: A New “Coupling” Method to Detect Biases Due to Altered Growth Trajectories. *Biology*. 11(2):200. <https://doi.org/10.3390/biology11020200>

OLIVIER, G.

- 1969 *Practical Anthropology*. C.C. Thomas, Springfield.

OLIVIER G, Y H. PINEAU

- 1958 Determination of age from a fetus and from an embryo. *Archives d'Anatomie (La Semaine des Hpitaux)* 6: 21-28.

SIMON, D. Y M.M. BAIG

- 2015 Growth Analysis and Age Estimation of Human Fetus from Human Fetal Humerus. *International Journal of Innovative Research & Development*, 4(5):142-147.

WELLS, J.C.K, Y J.T. STOCK

- 2007 The Biology of the Colonizing Ape. *Yearbook of Physical Anthropology*, 50:191-222.