

Comparación de ecuaciones de regresión lineal para estimar estatura en restos óseos humanos en población mexicana

Comparison of linear regression equations for stature estimation in human skeletal remains from Mexican population

Antinea Menéndez¹, Jorge Gómez-Valdés^{1,2} y Gabriela Sánchez-Mejorada¹

¹ Sección de Antropología Física, Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Distrito Federal 04510, México.

² Posgrado en Antropología, Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Distrito Federal 04510, México.

Correspondencia con el autor: Antinea Menéndez Garmendía, Sección de Antropología Física, Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Distrito Federal 04510, México. e-mail: antshaker@gmail.com

Palabras clave: estimación estatura, antropología forense, identificación humana, regresión lineal, población mexicana.

Keywords: stature estimation, forensic anthropology, human identification, linear regression, Mexican population.

Resumen

La estimación de la estatura a partir de los huesos largos de las extremidades, así como la estimación de sexo, edad y afinidad biológica en series esqueléticas, son fundamentales en toda investigación, dentro del ámbito de la osteología antropológica y la antropología física forense. Para estimar la estatura en restos óseos humanos se han creado diversas ecuaciones de regresión lineal alrededor del mundo, sin embargo, para la población mexicana se han desarrollado y probado pocos trabajos.

Con el objetivo de validar la aplicación en población mexicana contemporánea, en este trabajo se compararon las propuestas de Pearson, Trotter y Gleser, Genovés y Del Ángel y Cisneros.

Se midieron las longitudes máximas de los huesos largos (húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula) del lado izquierdo de 164 individuos adultos pertenecientes a la Colección Ósea de la Sección de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Tras la aplicación y comparación de las ecuaciones, los resultados indican que las cuatro ecuaciones utilizadas en este trabajo, subestiman la estatura de los esqueletos analizados, que pertenecen a población mexicana contemporánea.

Abstract

Stature estimation from long bones of the limbs, along with sex, age and ancestry estimation, in skeletal series are critical steps for every osteological and forensic anthropology researches. To estimate the stature of human remains there have developed several regression equations around the world, nevertheless, in Mexican population few works were developed and tested.

With the goal of validate the application of these formulas in contemporary Mexican population, in this work we compared the equations of Pearson, Trotter & Gleser, Genovés and Del Ángel & Cisneros, in the Skeletal Collection hosted at the Physical Anthropology Section, Department of Anatomy, School of Medicine of the National Autonomous University of Mexico.

We measured the maximum lengths of the long bones (humerus, ulna, radius, femur, tibia and fibula) left side of 164 adult skeletons.

After application and comparison of the equations, the results indicate that the four equations used in this investigation, underestimate the stature of the analyzed skeletons, which belong to the contemporary Mexican population.

Introducción

La estimación de la estatura, a partir de la longitud de los huesos largos de las extremidades es de gran interés para llevar a cabo la caracterización de muestras óseas y/o la construcción de un perfil biológico que ayude a la identificación de individuos en contextos bioarqueológicos y forenses.

Con base en la relación directa que existe entre la longitud de los huesos largos y la talla corporal, se han desarrollado diferentes ecuaciones de regresión lineal para la estimación de la estatura.

En el caso específico de México, se cuenta con tres propuestas: Trotter y Gleser (1958), Genovés (1966) y la modificación hecha por Del Ángel y Cisneros (2004) al trabajo de Genovés. No obstante, la propuesta de Pearson desarrollada para población francesa es igualmente utilizada en México. Las fórmulas de Pearson son de las más importantes, ya que corresponden a la primera propuesta hecha con la intención de estimar la estatura de esqueletos.

Genovés (1967) propuso ecuaciones de regresión lineal simple (estimación mediante un solo hueso) y múltiples (combinación de huesos) y, a su vez, de una muestra de aproximadamente 235 individuos tomó en cuenta un criterio de exclusión de individuos cuyo grupo sanguíneo fuera diferente de 0Rh positivo; considerando que de esta manera la muestra quedaría compuesta por ejemplos indígenas. Tras la aplicación del criterio de exclusión, Genovés (1967) realizó sus ecuaciones para los huesos fémur y tibia con un total de 98 individuos.

Posteriormente, basándose en los datos publicados por Genovés en los años sesentas, Del Ángel y Cisneros (2004) presentaron una adenda donde analizaron 200 casos de los analizados originalmente por Genovés y plantearon ecuaciones simples para cada uno de los seis huesos largos de las extremidades (húmero, radio, ulna, fémur, tibia y fibula), no obstante, para el cálculo de los valores de la pendiente y de la ordenada al origen en la ecuación, ellos utilizaron las estaturas “calculadas” por Genovés. De tal manera, los resultados se ajustan a un modelo de regresión lineal determinístico y no probabilístico (Sokal y Rohlf, 2003).

Por su parte, el trabajo desarrollado por Trotter y Gleser (1958) fue llevado a cabo con ejemplos de fallecidos en la guerra de Corea, que se supuso tenían filiación mexicana. Por lo tanto sus ecuaciones sólo comprenden individuos del sexo masculino.

Es importante mencionar, que las fórmulas antes mencionadas han sido comparadas en diferentes trabajos para conocer su aplicabilidad en diferentes poblaciones. Por ejemplo, Duyar y Pelin (2003) utilizaron veinticuatro ecuaciones de regresión lineal, desarrolladas a partir de la tibia, para llevar a cabo su comparación. Auerbach y Ruff (2010) realizaron, de igual manera, una comparación de la aplicabilidad de ecuaciones analizando diversas poblaciones. Auerbach y Ruff (2010), tras comparar los resultados de sus ecuaciones para población indígena de Norteamérica, han mencionado que las ecuaciones de Genovés y las modificaciones realizadas por Del Ángel y

Cisneros (2004) pueden ser aplicables a casos de individuos antiguos de Mesoamérica, al mismo tiempo, que comunican resultados satisfactorios con las demás propuestas.

Los trabajos anteriores han aportado información valiosa respecto a la necesidad de comparar los métodos y verificar su aplicabilidad para la estimación de la estatura.

El objetivo de este trabajo, es la comparación de las ecuaciones de Pearson (1899), Trotter y Gleser (1958), Genovés (1966) y Del Ángel y Cisneros (2004), para conocer si alguna de estas propuestas estima de manera óptima la estatura de la población mexicana contemporánea. Para lo cual, se aplicaron las fórmulas (Pearson, Trotter y Gleser, Genovés y Del Ángel y Cisneros) en esqueletos de la Colección Ósea de la Sección de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Material y métodos

Para la realización de este estudio se midieron las longitudes máximas de seis huesos largos de las extremidades (húmero, ulna, radio, fémur, tibia y fibula) del lado izquierdo en un total de 164 esqueletos (73 femeninos y 91 masculinos) completamente descarnados y limpios que forman parte de la Colección Ósea de la Sección de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. Fueron elegidos esqueletos de individuos maduros (epifisis fusionadas) (McKern y Steward, 1957) y que no presentaran huellas óseas de haber padecido enfermedades, deformidades o fracturas (naturales o artificiales). Las medidas de los huesos largos se hicieron de acuerdo a lo propuesto por Buikstra y Ubelaker, 1994. El criterio de utilizar solamente el lado izquierdo para estas medidas fue tomado del acuerdo realizado en la Convención Internacional de Ginebra de 1912. Las longitudes de los huesos largos fueron realizadas con la tabla osteométrica de *Paleo-tech instruments* y registradas en milímetros.

Después de tomar las medidas se aplicaron las ecuaciones de cada uno de los autores (Pearson, Trotter y Gleser, Genovés y Del Ángel y Cisneros) para obtener las estaturas calculadas y se obtuvieron los estadísticos descriptivos mínimo, máximo, rango, media y desviación estándar.

Para este trabajo la estatura calculada, producto de las diferentes fórmulas, fue tomada en cuenta como variable cuantitativa y el factor de agrupación está dado por las diferentes ecuaciones de regresión lineal. Para lo cual se optó por el supuesto de que cada modelo de regresión lineal (Pearson, 1899; Trotter y Gleser, 1958; Genovés, 1967; Del Ángel y Cisneros, 2004) representa una muestra independiente toda vez que el supuesto de distribución normal fue verificado por medio de la prueba *Shapiro-Wilk*. Las estaturas calculadas fueron compradas por medio de una prueba de análisis de la varianza (ANOVA por sus siglas en inglés). Posteriormente se aplicó la prueba de Tukey, para realizar comparaciones múltiples entre los grupos. Para las pruebas de hipótesis se ha establecido un nivel de significancia para rechazar la hipótesis nula $p < 0.05$.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el paquete PASW Statistics V18.0 © IBM Corporation 2010.

Resultados

En la Tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, rango, media y desviación estándar) y la prueba de *Shapiro-Wilk* de normalidad para las estaturas obtenidas con las medidas de los huesos largos de las extremidades y las cuatro ecuaciones de regresión lineal (Pearson, 1899; Trotter y Gleser, 1958; Genovés, 1966 y Del Ángel y Cisneros, 2004) para el lado izquierdo del sexo masculino y femenino (Trotter y Gleser, 1958 no cuenta con ecuaciones para mujeres).

Los resultados de los cálculos de la estatura mediante las ecuaciones de Pearson revelan valores en el sexo femenino dentro del rango de 148.42cm (húmero) a 151.02cm (radio). Mientras que para el sexo masculino se obtuvieron estaturas promedio de 158.96cm (húmero) a 162.37cm (tibia) (Tabla 1).

Tras el cálculo de las estaturas empleando las ecuaciones de Trotter y Gleser, se puede observar el valor menor en la fibula (162.45cm). Empleando las ecuaciones de las mismas autoras, el promedio más alto se obtuvo en la tibia (163.76cm) (Tabla 1).

Respecto a las estaturas obtenidas con las ecuaciones de Genovés; en general, es posible decir que los resultados son semejantes en ambos sexos en el caso de las fórmulas simples. En contraste la fórmula múltiple arrojó resultados muy diferentes para el sexo femenino; 114.85cm. En cuanto al sexo masculino, el valor promedio obtenido con la ecuación múltiple de Genovés fue extremo con promedio de 279.51cm (Tabla 1).

Por último, las fórmulas de Del Ángel y Cisneros produjeron valores en el rango de 148.58cm (húmero) y 149.59cm (fibula), en lo que respecta al grupo del sexo femenino. En cuanto al sexo masculino, los valores de las estaturas fueron entre 159.60cm (ulna) y 160.88cm (fibula) (Tabla 1). La Figura 1, permite comparar los resultados de las estaturas calculadas mediante cada ecuación.

	n	Min.	Máx.	Femenino				
				Rango	Media	D.S.	S-W	Sig.
Pearson, 1899								
Húmero	66	138.12	159.19	21.07	148.42	4.62	.985	.834
Ulna								
Radio	66	140.23	161.12	20.89	151.02	4.31	.969	.297
Fémur	69	140.34	160.95	20.62	149.27	4.87	.965	.216
Tibia	64	141.10	162.62	21.52	150.57	4.82	.962	.171
Fibula								
Múltiple	53	140.27	160.67	20.39	149.38	5.10	.960	.146
Trotter y Gleser, 1958								
Húmero								
Ulna								
Radio								
Fémur								
Tibia								
Fibula								
Múltiple								
Genovés, 1967								
Húmero								
Ulna								
Radio								
Fémur	69	139.62	167.07	27.45	151.51	6.49	.965	.216
Tibia	64	140.49	165.37	24.89	151.43	5.58	.962	.171
Fibula								
Múltiple	51	107.87	123.89	16.02	114.85	3.24	.976	.519
Del Ángel y Cisneros, 2004								
Húmero	66	133.02	164.85	31.82	148.58	6.97	.985	.834
Ulna	64	133.75	159.69	25.94	148.71	5.16	.972	.382
Radio	66	136.17	160.71	24.54	148.84	5.06	.969	.297
Fémur	69	137.05	164.49	27.43	148.94	6.48	.965	.216
Tibia	64	137.99	162.88	24.89	148.94	5.58	.962	.171
Fibula	58	137.17	165.70	28.54	149.59	6.49	.969	.316
Múltiple								

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las estaturas por autores y sexos. n = número válido; Min.=mínimo; Máx.=máximo, D.S.=desviación estándar, S-W.= Shapiro-Wilk y Sig.=significancia.

Table 1. Descriptive statistics of stature by author and sex. n = valid number; Min. =minimum; Max. =maximum, D.S. = standard deviation, S-W. = Shapiro-Wilk y Sig.= significance.

	n	Min.	Máx.	Masculino				
				Rango	Media	D.S.	S-W	Sig.
Pearson, 1899								
Húmero	83	146.75	175.11	28.36	158.96	5.29	.986	.782
Ulna								
Radio	81	147.58	172.77	25.19	161.76	4.47	.986	.759
Fémur	87	151.15	173.80	22.65	161.55	4.68	.987	.787
Tibia	84	147.92	178.57	30.65	162.37	5.40	.982	.571
Fibula								
Múltiple	70	147.15	176.40	29.25	159.98	5.49	.984	.652
Trotter y Gleser, 1958								
Húmero	83	150.74	179.35	28.62	163.05	5.33	.986	.782
Ulna	76	148.96	176.38	27.41	162.78	4.90	.986	.759
Radio	81	147.63	174.96	27.34	163.02	4.85	.991	.945
Fémur	87	149.32	178.72	29.40	162.82	6.08	.987	.787
Tibia	84	149.41	179.86	30.44	163.76	5.36	.982	.571
Fibula	76	148.44	178.69	30.25	162.45	5.69	.974	.273
Múltiple								
Genovés, 1967								
Húmero								
Ulna								
Radio								
Fémur	87	150.34	177.57	27.23	162.85	5.63	.987	.787
Tibia	84	150.89	176.17	25.28	162.80	4.45	.982	.571
Fibula								
Múltiple	55	250.72	308.44	57.72	279.51	11.47	.982	.574
Del Ángel y Cisneros, 2004								
Húmero	83	149.40	173.95	24.55	159.97	4.58	.986	.782
Ulna	76	149.45	169.59	20.14	159.60	3.60	.991	.945
Radio	81	148.51	169.06	20.54	160.08	3.65	.986	.759
Fémur	87	147.92	175.18	27.26	160.44	5.63	.987	.787
Tibia	84	148.34	173.59	25.26	160.24	4.45	.982	.571
Fibula	76	150.12	173.34	23.22	160.88	4.37	.974	.273
Múltiple								

Tabla 1. Cont.

Table 1. Cont.

La prueba ANOVA ha proporcionado información suficiente para verificar que las diferencias entre ecuaciones están dadas por la variabilidad existente entre grupos, es decir, existe un efecto dado por las diferentes ecuaciones que determina las diferencias y que se puede suponer es independiente a la variabilidad biológica propia de la serie esquelética analizada. Por otra parte, para poder entender cuales de las fórmulas eran diferentes de las otras, fueron comparadas con una prueba *post hoc* de Tukey (Tabla 2).

En el caso del húmero, de la muestra del sexo femenino se utilizaron sólo dos fórmulas Pearson y Del Ángel y Cisneros para estimar la estatura con el húmero; por lo tanto, es posible demostrar que el valor del estadístico F (valor del estadístico de prueba) corresponde a la prueba *t-student* de comparación de muestras independientes (Sokal y Rohlf, 2003). Con la comparación de estas ecuaciones, se pudo observar que no existen diferencias significativas entre los valores promedio calculados mediante las propuestas de los dos autores (Sig.=0.878).

Por su parte, a los húmeros del sexo masculino les fueron aplicadas las fórmulas de Pearson, Del Ángel y Cisneros y Trotter y Gleser. Los resultados de la ANOVA para comparar las medias de las estaturas calculadas expusieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en por lo menos alguna de las fórmulas de cada autor. La prueba de Tukey, en este hueso, mostró que la media de estatura calculada con la fórmula de Trotter y Gleser (163.05cm) difiere de las de Pearson (158.96cm) y de las Del Ángel y Cisneros (159.97cm) de manera significativa ($p < 0.05$) (Tabla 2).

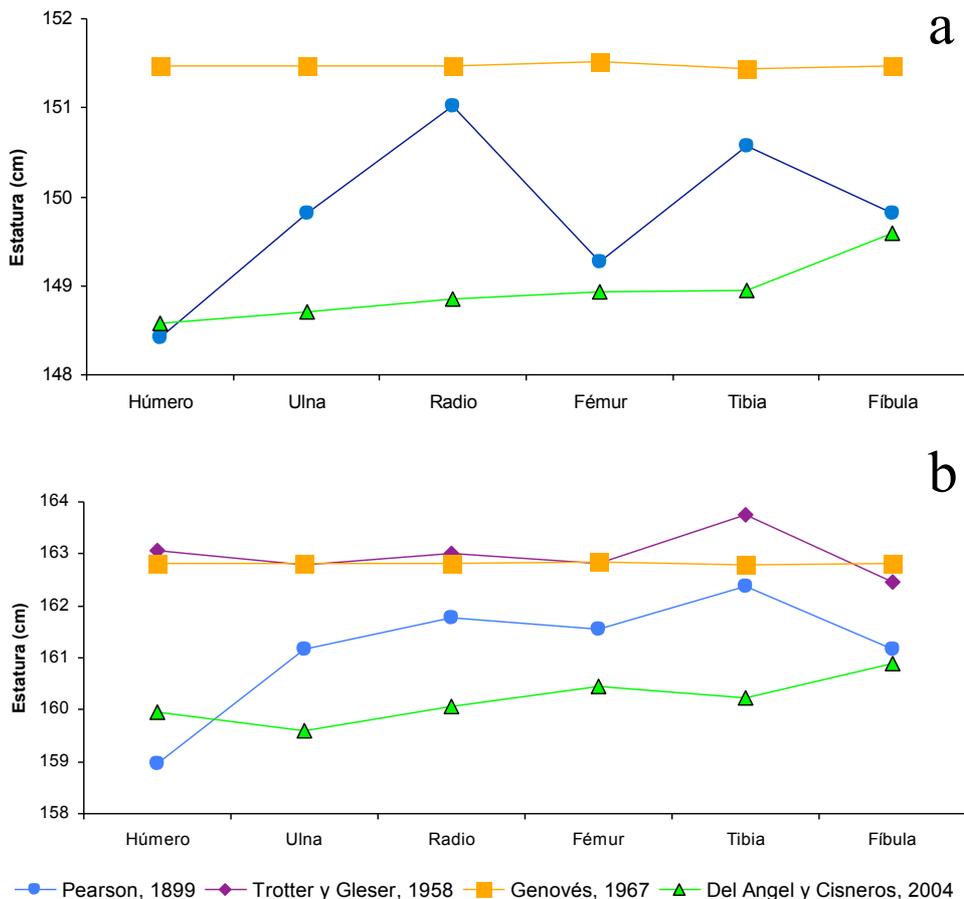


Figura 1. Comparación de estaturas calculadas mediante cuatro diferentes ecuaciones de regresión lineal en población mexicana. a=femenino y b =masculino. Los valores perdidos han sido substituidos con el promedio del grupo con el propósito de facilitar su visualización. Sólo se incluyen los valores estimados con las ecuaciones simples.

Figure 1. Comparison of calculated statures by four different linear regression equations in Mexican population. a= feminine and b= masculine. The missing values have been substituted by mean of the group for visualization purpose. Only the simple equations's estimated values were included.

De igual forma que en el caso del húmero, en el radio del sexo femenino la comparación de medias se realizó exclusivamente para dos fórmulas de estimación de estatura, las de Pearson. Los resultados indicaron que existen diferencias significativas entre las estaturas calculadas con estas ecuaciones ($p < 0.05$). Para el radio de la muestra del sexo masculino se utilizaron las fórmulas de Pearson, Del Ángel y Cisneros y Trotter y Gleser con las cuales se concluyó que existen diferencias significativas en al menos una de las medias. La prueba de Tukey detectó la ecuación de Del Ángel y Cisneros (160.08cm) como la media fuera de grupo significativamente ($p < 0.05$) (Tabla 2).

En la ulna no se pudieron hacer comparaciones para el caso de sexo femenino puesto que sólo se cuenta con la fórmula de Del Ángel y Cisneros.

Por otro lado, en el sexo masculino se utilizaron las fórmulas de Trotter y Gleser y de Del Ángel y Cisneros; las cuales indican que las medias de las estaturas obtenidas con las fórmulas son diferentes entre si de manera significativa ($p < 0.05$). (Tabla 2).

Para el fémur del sexo femenino se utilizaron tres fórmulas Pearson, Genovés, y Del Ángel y Cisneros. Con los resultados de éstas se obtuvieron medias que al ser comparadas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Esto se reflejó en la prueba de Tukey obteniendo dos grupos; el primero que comprende Del Ángel y Cisneros (estatura baja) y Pearson (estatura promedio) y el segundo grupo que reúne a Genovés (estaturas altas) y de igual forma a Pearson. Con lo anterior

es posible afirmar que las diferencias dentro de los subconjuntos homogéneos no son significativas; aunque si lo son entre Genovés y Del Ángel y que se encuentran en subconjuntos diferentes ($p<0.05$).

En cuanto al sexo masculino en el hueso fémur se utilizaron las cuatro fórmulas. Los resultados obtenidos al comparar las medias de las estaturas calculadas fueron diferentes de manera significativa ($p<0.05$). En este caso, al observar la prueba de Tukey, se muestra un subconjunto compuesto por las pruebas de Del Ángel y Cisneros (160.44cm) y Pearson (161.55cm) y otro que comprende a Pearson, Trotter y Gleser (162.82cm) y Genovés (162.85cm); siendo diferentes de manera significativa por pares de medias Del Ángel y Cisneros con relación a Trotter y Gleser y Genovés ($p<0.05$) (Tabla 2).

En la tibia fueron utilizadas las tres ecuaciones del sexo femenino disponibles y las de los cuatro autores en el masculino.

Sexo	Origen variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
Húmero							
Femenino	Inter-grupos	0.82	1	0.82	.023	.878	a;d
	Intra-grupos	4547.11	130	34.98			
	Total	4547.94	131				
Masculino	Inter-grupos	754.73	2	377.36	14.640	.000	** a;b;d
	Intra-grupos	6341.07	246	25.78			
	Total	7095.80	248				
Radio							
Femenino	Inter-grupos	155.76	1	155.76	7.052	.009	** a;d
	Intra-grupos	2871.25	130	22.09			
	Total	3027.01	131				
Masculino	Inter-grupos	352.29	2	176.15	9.304	.000	** a;b;d
	Intra-grupos	4543.96	240	18.93			
	Total	4896.25	242				
Ulna							
Masculino	Inter-grupos	383.48	1	383.48	20.777	.000	** b;d
	Intra-grupos	2768.55	150	18.46			
	Total	3152.03	151				
Fémur							
Femenino	Inter-grupos	270.06	2	135.03	3.758	.025	* a;c;d
	Intra-grupos	7330.65	204	35.93			
	Total	7600.71	206				
Masculino	Inter-grupos	346.78	3	115.59	3.780	.011	* a;b;c;d
	Intra-grupos	10518.45	344	30.58			
	Total	10865.23	347				
Tibia							
Femenino	Inter-grupos	204.72	2	102.36	3.594	.029	* a;c;d
	Intra-grupos	5382.63	189	28.48			
	Total	5587.36	191				
Masculino	Inter-grupos	557.58	3	185.86	7.625	.000	** a;b;c;d
	Intra-grupos	8092.18	332	24.37			
	Total	8649.75	335				
Fíbula							
Masculino	Inter-grupos	93.84	1	93.84	3.652	.058	b;d
	Intra-grupos	3854.74	150	25.70			
	Total	3948.58	151				

Tabla 2. Análisis de la varianza (ANOVA). * Al menos una media diferente de manera significativa ($P<0.05$), ** al menos una media diferente altamente significativa ($P<0.01$). gl=grados de libertad ($n-1;k-1$), F= valor del estadístico de prueba Fisher y Sig.= significancia. a=Pearson, 1899; b=Trotter y Gleser, 1958; c=Genovés, 1967; d=Del Ángel y Cisneros, 2004.

Tabla 2. Analysis of variance (ANOVA). * significant ($P<0.05$); ** highly significant ($P<0.01$); gl=degree of freedom ($n-1;k-1$), F= Fisher value and Sig.=significance. a=Pearson, 1899; b=Trotter and Gleser, 1958; c=Genovés, 1967; d= Del Ángel y Cisneros, 2004.

Los resultados para el sexo masculino y femenino fueron similares a los obtenidos a partir del fémur; obteniendo diferencias significativas ($p < 0.05$) en ambos sexos.

La prueba Tukey permitió construir dos subconjuntos en el sexo femenino; donde la ecuación de Del Ángel y Cisneros con valores promedio de 148.94cm y Genovés con 151.43cm presentan diferencias significativas por pares ($p < 0.05$); por su parte Pearson presenta un valor homogéneo en el intervalo de confianza entre los dos subconjuntos.

En lo que corresponde al sexo masculino, en al menos una de las ecuaciones se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$). La prueba Tukey indica que la fórmula de Del Ángel y Cisneros difiere significativamente ($p < 0.05$) con el resto de los autores (Tabla 2).

En el caso de la fíbula del sexo femenino, al igual que en la ulna, no se realizaron comparaciones debido a que solo se cuenta con la fórmula de Del Ángel y Cisneros.

En el caso del sexo masculino, al utilizar las fórmulas de Del Ángel y Cisneros y Trotter y Gleser la prueba ANOVA señaló que no existen diferencias significativas (Sig.=0.058) (Tabla 2).

Las fórmulas múltiples de Genovés, para ambos sexos, estiman la estatura de manera errónea y producen resultados totalmente fuera de la realidad de las estaturas en México (sexo femenino 114.85cm y sexo masculino 279.51cm). Debido a que su comparación con la fórmula de Pearson llevaría a probar un error sistemático, no se aplicó ninguna prueba estadística fue aplicada.

Discusión

En este trabajo se reporta la comparación de cuatro ecuaciones de regresión lineal para el cálculo de la estatura en una muestra de 164 individuos de ambos sexos de la serie esquelética de la Sección de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la UNAM.

En la población mexicana se han utilizado diversas propuestas para el cálculo de la estatura, Pearson (1899) Genovés (1967), Del Ángel y Cisneros (2004) y con menor frecuencia las de Trotter y Gleser (1958); pero hasta ahora no se ha hecho un examen, con el debido detenimiento, de la funcionalidad de las mismas, así como la valoración de los errores existentes entre las mismas.

Criterios empíricos han indicado que la aplicación de cada ecuación produce estaturas calculadas en extremo diferentes. En este trabajo se ha probado cuáles de estas ecuaciones y en cuál hueso difieren de manera significativa en la población mexicana contemporánea. Lo anterior es importante, debido a que, salvo el trabajo de Pearson (1899), ninguno de los trabajos han reportado con rigurosidad la validación de los supuestos del modelo de regresión lineal (correlación, linealidad, distribución normal de los errores, homosedasticidad de los errores e independencia, entre otros).

Considerando que en un ejemplo real difícilmente las observaciones se hallan situadas estrictamente a lo largo de una línea (colinealidad con correlación perfecta $r=1$), otros supuestos sobre los residuos y las varianzas son necesarios para validar los modelos.

Por poner un ejemplo, respecto al supuesto de independencia, los valores de la variable dependiente (estatura) deben cumplir con el criterio de que son obtenidos para un valor de la variable independiente (longitud del hueso) de manera aleatoria. En la modificación de Del Ángel y Cisneros (2004) se han utilizado las estaturas calculadas a partir del ajuste previamente realizado por Genovés (1966 y 1967) por lo cual el resultado es un modelo determinístico (no probabilístico).

Mendoça (2000) dice que sólo se considera una estatura aproximada a la real, es decir, la estatura calculada a partir de un modelo de regresión lineal corresponde a una estimación probabilística. En términos generales; se entiende que la estatura obtenida luego de aplicar una ecuación de regresión es la de mejor ajuste a la proyección lineal y por lo tanto el mejor estimador de la estatura real de un sujeto (estatura en vida).

Trabajos previamente realizados, han puesto a prueba las mismas ecuaciones comparadas en este trabajo, por ejemplo Formicola (1993) encontró que con las fórmulas para mujeres de Pearson (1899) se obtienen estimaciones parecidas a las conseguidas con el método anatómico.

En ese trabajo, al ser analizadas muestras de esqueletos europeos del Neolítico se concluyó que dichas ecuaciones son funcionales para la estimación de estaturas bajas.

Duyar y Pelin (2003) compararon 24 ecuaciones y opinan que la fórmula de Genovés para la tibia genera resultados óptimos en población turca en un subgrupo denominado “estatura baja”. Sin embargo, las fórmulas de Trotter y Gleser (mexicanos) y la de Pearson no estiman de manera óptima la estatura. De igual forma, Giannecchini y Moggi-Cecchi (2008) al usar las fórmulas de Pearson (1899), obtuvieron los mejores resultados para muestras arqueológicas del centro de Italia. Por último, Auerbach y Ruff (2010) consideran que para una de sus muestras de nativos Americanos de los Estados Unidos, las fórmulas de Genovés (1967) y de Del Ángel y Cisneros (2004) arrojan mejores resultados que los obtenidos con las ecuaciones creadas por ellos mismos.

Los resultados de la presente investigación, aunados a los de los autores antes mencionados, corroboran la funcionalidad de la propuesta de Genovés (1967) (sólo tomando en cuenta las ecuaciones de regresión lineal simples) y la de Pearson (1899). Es importante considerar, que dichos resultados demuestran una mayor exactitud cuando se trata de poblaciones con tendencia a la estatura baja (comesomia).

Es importante prestar atención a Pearson (1899), ya que el recomendaba cautela al utilizar las fórmulas en otros grupos que no corresponden a la población de estudio donde han sido desarrolladas; idea que en general, ha sido apoyada por diversos autores (Raxter y Ruff, 2006). No obstante, podemos considerar que una u otra fórmula, es aplicable sin importar la población de origen a partir de las semejanzas en las proporciones corporales de las poblaciones.

Es de conocimiento general el hecho de que los huesos largos estiman de manera confiable la estatura de los individuos, no obstante, siempre se debe buscar el balance entre precisión y exactitud. De lo anterior, se desprende la cuestión de entender que hueso es mejor para la realización de una reconstrucción de la estatura, lo cual deriva en conocer que los huesos del miembro inferior, poseen una estrecha relación con la estatura de los individuos. Aunado a esto se sabe que los huesos del miembro inferior se conservan mejor en contextos arqueológicos y forenses (Auerbach y Ruff 2010).

Varios autores han comentado sus puntos de vista al respecto de esta situación. Por ejemplo desde las investigaciones de Trotter y Gleser en 1951, se podía observar que estas obtuvieron mejores resultados con el miembro inferior. Posteriormente Allbrook (1961) menciona que la tibia es mejor que la ulna porque se considera un componente directo de la estatura, y por otra parte lo menciona como un hueso más sencillo de medir en población viva. Formicola y Franceschi (1996) obtuvieron resultados con los cuales afirmaron que tanto el fémur como la tibia son los mejores huesos para estimar la estatura en ambos sexos, ya sea juntos o por separado. Por su parte al igual Dupertuis y Hadden (1951) y Vercellotti, et al. (2009) confirman que los huesos del miembro inferior son mejores para estimar la estatura, y también mencionan que son mejores los huesos proximales, de ambos miembros. Concluyendo que el radio es de los peores huesos para esta tarea.

Con relación a lo anterior, los autores han desarrollado diferentes fórmulas, tanto simples como múltiples, para conocer cual de las combinaciones es la que produce mejores resultados. Xiang-Qing (1989) al desarrollar sus ecuaciones para población china, se dio cuenta de que las que estaban construidas con la combinación de huesos del miembro inferior parecían ser las más certeras. Por otra parte, Auerbach y Ruff (2010) obtuvo que su ecuación múltiple de fémur con tibia arrojaba los mejores resultados seguida por la de fémur y luego la de tibia con la menor precisión. Genovés solamente publicó las fórmulas para fémur, tibia y una múltiple. Y justamente publicó solo fémur y tibia porque, de igual forma que los demás autores, este encontró que mostraban la mayor correlación en cuanto a la estatura; y por otro lado, también porque son huesos más fáciles de encontrar en el laboratorio.

En la presente investigación, se utilizaron dos ecuaciones de regresión lineal múltiple, una perteneciente a Pearson y la otra a Genovés. De la de Pearson se concluye que subestimó las estaturas de manera significativa y por su parte con la de Genovés se observó un error sistemático extremo.

Con todo lo anterior, sabemos que no existe una exactitud al 100% en las estimaciones, debido al cambio secular, variación étnica (Jantz, et al., 2008), proporciones corporales (Béguelin, 2009; Genovés, 1967) y otros factores, además de lo mencionado por Hauser y colaboradores

(2005) quienes consideran que los métodos que se utilizan están fuera de moda y por ello pueden ocasionar graves errores al estimar la estatura; no obstante, con los resultados de esta investigación es posible afirmar que empleando los huesos del miembro inferior, utilizando las ecuaciones simples de Genovés (1967) para ambos sexos y las de Trotter y Gleser (1958) para sexo masculino se pueden obtener estaturas un poco más confiables que con otras ecuaciones. Y para el caso de individuos de talla baja se lograrían mejores resultados al utilizar las ecuaciones simples de Genovés. Debe tomarse en cuenta que las ecuaciones múltiples de Genovés deben quedar fuera, por sus errores.

Los resultados de este estudio indican que es necesario continuar el desarrollo y validación de ecuaciones definidas y actuales. En la actualidad, dos grandes perspectivas teóricas y metodológicas se encuentran en boga; una plantea que los estándares deben de ser específicos para cada población, a causa de la tendencia secular y la variación biológica intra e interpoblacional. La otra propuesta, es de no especificidad poblacional. En esta se prueban métodos, técnicas y análisis matemáticos rigurosos. Para con esto dejar de lado los reductos tipologistas.

Por ultimo, es importante mencionar que la comparación de las diferentes fórmulas para estimar la estatura, ha permitido entender que hace falta mayor atención en cuestiones de importancia primordial para la identificación y caracterización de esqueletos.

Conclusiones

Para el sexo masculino y femenino, las ecuaciones modificadas de Genovés, por Del Ángel y Cisneros producen como resultado estaturas muy bajas. Para el sexo masculino las ecuaciones de Trotter y Gleser producen mejores resultados al igual que las ecuaciones de fémur y tibia de Genovés. Las ecuaciones de Pearson tienden a mantenerse en el promedio general, siempre dentro del intervalo de confianza de alguna de las otras fórmulas utilizadas en este estudio. La modificación de del Ángel y Cisneros y las fórmulas de Genovés funcionan mejor para estimar la estatura de individuos o esqueletos con estatura baja; se deben revisar los estimadores de estos autores, pues al parecer el modelo construido por ellos, es un modelo determinístico y no probabilístico. Se recomienda en el caso de tener un contexto arqueológico o forense implementar, si es posible, el método anatómico y si no lo es, utilizar la fórmula de Genovés de tibia o fémur. Las fórmulas múltiples de Genovés han generado un error sistemático de estimación que permite recomendar no sean utilizadas en ningún caso.

Referencias

- Allbrook, D., 1961, The estimation of stature in British and east African males. *Journal of Forensic Medicine*, 8(1): 15-28.
- Auerbach, B.M. y Ruff, C.B., 2010, Stature estimation formulae for indigenous north American populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 141(2):190-207.
- Béguelin, M., 2009, Stature estimation in a central Patagonian prehispanic population: Development of new models considering specific body proportions. *International Journal of Osteoarchaeology*, DOI: 10.1002/oa.1117.
- Buikstra, J. y Ubelaker, D., 1994, Standards for data collections from human skeletal remains (Arkansas: Archeological survey research Series No.44). pp. 206
- Del Ángel, A. y Cisneros B.H., 2004, Technical note: Modification of regression equations used to estimate stature in Mesoamerican skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology*, 125:264-265.
- Dupertuis, C. y Hadden, J., 1951, On the reconstruction of stature from long bones. *American Journal of Physical Anthropology*, 9:15-54.
- Duyar, I y Pelin, C., 2003, Estimating stature from tibia length: A comparison of methods. *Journal of Forensic Science*, 48(4):708-712.
- Formicola, V., 1993, Stature reconstruction from long bones in ancient population samples: An approach to the problems of its reliability. *American Journal of Physical Anthropology*, 90:351-358.

- Formicola, V. y Franceschi M., 1996m, Regression equations for estimating stature from long bones of early Holocene European samples. *American Journal of Physical Anthropology*, 100:83-88.
- Genovés, S., 1966, La proporcionalidad entre los huesos largos y su relación con la estatura en restos mesoamericanos. *Serie Antropológica*, No. 19 (México: Publicaciones del Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México).
- Genovés, S., 1967, Proportionality of the long bones and their relation to stature among Mesoamericans. *American Journal of Physical Anthropology*, 26 (1): 67-78.
- Giannecchini, M. y Moggi-Cecchi, J., 2008, Stature in archeological samples from central Italy: Methodological issues and diachronic changes. *American Journal of Physical Anthropology*, 135:284-292.
- Hauser, R., Smolinski, J. y Gos, T., 2005, The estimation of stature on the basis of measurements of the femur. *Forensic Science International*, 147:185-190.
- Jantz, R., Kimmerle, E. H. y Baraybar, J.P., 2008, Sexing and stature estimation criteria for Balkan populations. *Journal of Forensic Science*, 53(3):601-605.
- McKern, T. W. and Stewart, T. D., 1957, Skeletal age changes in young American males. (Massachusetts: Quatermasters Research and Development Command Technical Report).
- Mendoça, M. C., 2000, Estimation of height from the length of long bones in a portuguese adult population. *American Journal of Physical Anthropology*, 112, 39-48.
- Pearson, K., 1899, IV Mathematical contributions to the theory of evolution. V. On the reconstruction of the stature of prehistoric races. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, 192, 169-244.
- Raxter, M., Ruff, C. y Auerbach B. M., 2006, Revision of the Fully technique for estimating statures. *American Journal of Physical Anthropology*, 130, 374-378.
- Sokal, R. y Rohlf, J., 2003, *Introducción a la Bioestadística* (España: Reverté).
- Trotter, M. y Gleser, G., 1951, Trends in stature of American whites and negroes born between 1840 and 1924. *American Journal of Physical Anthropology*, 9 (4): 427-439.
- Trotter, M. y Gleser, G., 1958, Re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. *American Journal of Physical Anthropology*, 16, 79-124.
- Trotter, M. y Gleser, G., 1977, Corrigenda to "Estimation of stature from long limb bones of American whites and Negroes". *American Journal of Physical Anthropology*, 47(2):355 y 356.
- Vercellotti, G., Agnew, A., Justus, H. y Sciulli, P., 2009, Stature estimation in an early medieval (XI-XII c.) polish population: Testing the accuracy of regression equations in a bioarcheological sample. *American Journal of Physical Anthropology*, 140(1):135-142.
- Xiang-Qing, S., 1989, Estimation of stature from intact long bones of Chinese males in comparison with American whites and negroes. *Journal of the anthropological society of Nippon*, 97(3): 313-326.