



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Sociales

Departamento de Antropología

Estimación de sexo en población chilena a partir del calcáneo

Memoria para optar al título de Antropóloga Física.

Alumna: Daniela Rivera Olave

Profesor guía: Kornelius Kupczik

Profesora tutora: Miriam Pérez de los Ríos

Fecha: 17-03-2022

“Nuestras vidas no son nuestras. De la cuna a la tumba estamos conectados con los demás. Pasado y presente. Con cada crimen y con cada acto de bondad damos nacimiento a nuestro futuro”.

Sonmi-451, 2013.

Agradecimientos

A Miriam Pérez de los Ríos por haberme aceptado como su tesista, a pesar de que ya tenía suficientes y yo me encontraba un poco perdida, y por haber resistido conmigo hasta el final.

A Nicole Barreux, curadora de la Colección Osteológica Subactual de Santiago, por posibilitar que ocupara la Colección pese a lo difícil que fue hacerlo durante la pandemia.

A David Carvallo, Sara Carquin y Esteban Concha por toda la ayuda brindada en estadística, ya que como todos sabemos, la super necesitaba.

A mi familia, especialmente a mi mamá, abuela y hermano, que me apoyaron, animaron e hicieron (bastantes) chistes sobre el tiempo que me tomé en hacer esto. Aprecio mucho ese sentido del humor que es capaz de alivianar hasta los momentos más desagradables.

A mi Catita que esta junto a mi desde que tengo memoria, siempre me apoya en todo lo que hago y me anima a ir por más.

Al Mija por nunca perder la fe en que lo lograría (a pesar de que pasaron infinitos años), por seguir dándome amor incluso en la distancia y por esforzarse hasta el absurdo para hacerme reír.

Al Gabo, que, aunque fue el último en aparecer en mi vida, le tocó hacerme compañía en los últimos meses de escritura de esta memoria, me vio rabiar y quejarme, y se alegró conmigo en cada avance que hice.

A la Lore y la Ceci que fueron capaces de sentarme a trabajar (cuando ni quería ni podía porque mi concentración no existía), respondieron cada pregunta tonta que tuve e hicieron las jornadas frente al pc mucho más agradables.

A mis Tetrikas: A la panchita que, aunque muchas veces estaba lejos, siempre se hacía presente para decirme que podía hacerlo. A mi Yayiti que me conoce desde el primer día, hizo casi todos los trabajos de la u conmigo (y por lo tanto sabe cuánto sufrí con esto), y que además se dio el trabajo de leerlo todo y revisarme la redacción como en los viejos tiempos. Y, por último, pero no menos importante a mi Sarukin (nuevamente) por aguantarme todo este tiempo que estuve dando jugo, ayudarme cada vez que lo necesité y darme animo cuando yo ya no quería más.

Gracias por existir. Sin ustedes, imposible.

Palabras clave

antropología forense, estimación de sexo, dimorfismo sexual, regresión logística, Chile

Resumen

La estimación del sexo es parte elemental del proceso de identificación y construcción del perfil biológico de los restos humanos esqueletizados. Los huesos que se utilizan tradicionalmente para la estimación del sexo, como la pelvis y el cráneo, a menudo se encuentran fragmentados o incompletos en casos forenses y arqueológicos. Debido a esto se hace necesario explorar otras metodologías. En el presente estudio se elaboró una nueva metodología de estimación de sexo en población chilena moderna a partir del calcáneo. Se evaluaron 10 variables métricas en una muestra de 200 individuos (108 masculinos y 92 femeninos) provenientes de la Colección Subactual de Santiago (Universidad de Chile). Para ello se utilizó regresión logística para construir modelos predictivos del sexo de los individuos. Los resultados mostraron que los modelos que incluían medidas de ancho y/o en facetas articulares son los mejores estimadores de sexo, alcanzando un 80%, para el modelo univariable, y 81%, para modelos multivariados, de precisión general y un bajo sesgo por sexo. Se puede afirmar que el calcáneo es sexualmente dimórfico y es útil para la estimación sexual en la población chilena moderna.

Keywords

forensic anthropology, sex estimation, sexual dimorphism, logistic regression, Chile

Abstract

Sex estimation is an elementary part of the process of identification and construction of the biological profile of skeletonized human remains. Bones traditionally used for sex estimation, such as the pelvis and skull, are often found fragmented or incomplete in forensic and archaeological contexts. Because of this, it is necessary to explore other methodologies for human identification. In the present study, a new methodology for estimating sex in the modern Chilean population was developed using the calcaneus. Ten metric variables were evaluated in a sample of 200 individuals (108 male and 92 female) from the Colección Subactual de Santiago (Universidad de Chile) and logistic regression was used to build predictive models of the sex of the individuals. The results showed that the models that included measurements of breadth and/or joint facets are the best sex estimators, reaching 80% for the univariate model, and 81% for multivariate models, with general accuracy and low bias due to sex. It can be stated that the calcaneus is sexually dimorphic and it is useful for sexual estimation in modern Chilean population.

Índice de contenidos

Introducción	6
Antecedentes	7
Problematización	13
Pregunta	14
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
Materiales y métodos	15
Análisis estadístico.	17
Error intra e inter observador:	17
Asimetría bilateral, test de Normalidad y Homocedasticidad	17
Estadística descriptiva y análisis univariable.	17
Modelos estadísticos.	17
Modelos propuestos.	19
Resultados	19
Error intra e inter observador	19
Asimetría bilateral	20
Test de Normalidad y Homocedasticidad	22
Estadística descriptiva	22
Modelos Estadísticos	29
Validación cruzada	36
Modelos propuestos	38
Discusión	39
Limitaciones	46
Conclusiones	47
Bibliografía	49

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema diferenciación sexual en humanos	9
Figura 2: Principales sistemas trabeculares del calcáneo	12
Figura 3: Sistemas trabeculares del complejo articular periastragalino	12
Figura 4: Esquema de variables	16
Figura 5: Ejemplares de calcáneo con características extremadamente femeninas y masculinas respectivamente	40
Figura 6: Ejemplar de calcáneo con características femeninas	43
Figura 7: Ejemplar de calcáneo con características masculinas	44
Figura 8: Ejemplares de calcáneo con alteraciones tafonómicas	46
Figura 9: Ejemplar de calcáneo con alteración tafonómica por lateral	47

Índice de Tablas

Tabla 1: Coeficiente de correlación de concordancia de Lin	20
Tabla 2: Resultados Prueba t de Student pareadas	21
Tabla 3: Resultados Prueba t Shapiro-Wilk y Prueba de Levene	22
Tabla 4: Estadística descriptiva	23
Tabla 5: Regresiones logísticas	30
Tabla 6: Validación modelos predictivos de sexo	37
Tabla 7: Modelos propuestos para la estimación de sexo	39
Tabla 8: Comparación del porcentaje de precisión de estimación de sexo en calcáneo en diversas poblaciones.	41

Índice de Gráficos

Gráficos 1: Distribución de MAXL por sexo	24
Gráficos 2: Distribución de MINB por sexo	25
Gráficos 3: Distribución de BH por sexo	25
Gráficos 4: Distribución de LAL por sexo	26
Gráficos 5: Distribución de LAW por sexo	26
Gráficos 6: Distribución de MAXH por sexo	27
Gráficos 7: Distribución de DAFB por sexo	27
Gráficos 8: Distribución de DAFL por sexo	28
Gráficos 9: Distribución de MAXB por sexo	28
Gráficos 10: Distribución de CFH por sexo	29

Introducción

La antropología forense busca identificar restos humanos esqueletizados o momificados a través de una serie de variables que se conocen como cuarteta básica (edad estimada, sexo biológico, ancestría y estatura) o perfil biológico (Spradley, Jantz, Robinson, & Peccerelli, 2008; Black & Ferguson, 2011), la cual utiliza métodos de la antropología física para aplicarlos a contextos forenses.

La existencia de esta especialidad, tanto en Chile como en muchos países del mundo, tales como Argentina o Guatemala, se encuentra íntimamente ligada a los eventos de muertes masivas y violación de Derechos Humanos ocurridas en las últimas décadas, impulsando el desarrollo de métodos para la optimización de los procedimientos necesarios para establecer un perfil biológico, y posterior identificación (Jiménez & Denis, 2018).

La estimación de sexo corresponde a uno de los aspectos más importantes del perfil biológico ya que permite separar la población en dos grandes grupos: femenino y masculino, y es muy necesaria para la aplicación del resto de las metodologías de estimación (edad, ancestría, estatura) (Dabbs & Moore-Jansen, 2010; Ross & Manneschi, 2010; Spradley & Jantz, 2011; Garrido-Varas, Thompson & Campbell, 2014; Peckman, Logar, Garridos-Varas, Meek & Toledo, 2016). Sin embargo, a raíz de las circunstancias que rodean la muerte de un individuo, muchas veces no se puede contar con los restos completos y/o en un buen estado de conservación, lo que dificulta la observación y ralentiza el proceso de identificación. Debido a esto, se hace necesario seguir explorando metodologías que permitan estimar sexo biológico a pesar de no contar con la pelvis, el cráneo o huesos largos en buenas condiciones. De esta manera el calcáneo se presenta como un buen candidato para la estimación de sexo, ya que por un lado tiene un alto dimorfismo, y por otro, debido a su alta densidad y ubicación protegida, se conserva de mejor manera en el tiempo (Dimichele & Spradley, 2012).

En la presente investigación se busca adaptar una metodología de estimación de sexo biológico en calcáneo para la población chilena actual y sub-actual de contexto forense con el fin de aportar a la identificación de detenidos desaparecidos y ejecutados políticos sin entrega de restos, víctimas de violación a los Derechos Humanos durante de dictadura cívico militar (1973-1990), así como en casos forenses actuales.

Antecedentes

La antropología forense corresponde a una rama de la antropología física, que aplica sus conocimientos, métodos y técnicas para la identificación de cadáveres esqueletizados o en proceso de esqueletización, con fines forenses¹ (Stewart, 1979). Esto quiere decir que además de incluir el proceso de identificación (sexo, edad, ancestría, estatura y rasgos individualizantes), incluye la identificación de causas y circunstancias de muerte, sus enfermedades y hábitos, a fin de poder reconstruir el modo de vida del individuo previo a su muerte.

Se pueden distinguir distintas formas de hacer antropología forense, respondiendo a criterios y necesidades específicas de cada país (Prieto, 2008). En Europa y Estados Unidos, y como consecuencia de la antigüedad de la disciplina, esta suele centrarse principalmente en casos criminales comunes y desastres masivos, entre otros; mientras que en América Latina, como en Chile, la disciplina se enfrenta a las consecuencias sociales y jurídicas de los crímenes de Estado, como lo son los detenidos desaparecidos y ejecutados políticos (Cáceres, 2004). Esto es debido a que el origen de esta disciplina está estrechamente ligada a la participación de especialistas en investigaciones de violación de Derechos Humanos en nuestro país (Jimenez & Denis, 2018). Rodríguez-Cuenca (2004) afirma que, en todos aquellos países con una historia de violencia política, con resultados de muerte, ejecuciones y desapariciones, la antropología forense “*no se puede limitar solamente a su aspecto bioantropológico, sino que el perito forense debe conocer el contexto social en que se producen las muertes violentas con el fin de obtener información más amplia sobre las circunstancias de desaparición de las víctimas*”.

En este contexto la antropología forense, sería la disciplina encargada de la exhumación e identificación de restos óseos de desaparecidos, a través de su enfoque multidisciplinario conjugando los aportes de la antropología biológica, la arqueología y otras disciplinas como derecho, medicina y criminalística, con el fin de aunar esfuerzos en la identificación de los N.N. (Rodríguez-Cuenca, 2004).

Por lo mismo ha jugado un papel importante en la reparación de la memoria histórica tanto en Latinoamérica, como en España, algunos países de Europa del Este y la ex Unión Soviética (Wagner, 2008; Ferrándiz, 2014; Berkhoff, 2017; Bitiutckii, 2017; Dutrénit, 2017; Aranguren & León, 2020), parándose como un campo científico determinante para la búsqueda de la verdad, la justicia, el esclarecimiento de los hechos de violencia y violaciones a los Derechos Humanos, siendo esencial dentro de las investigaciones y procesos de búsqueda, exhumación e identificación de desaparecidos (Casallas & Padilla, 2004).

Para poder hacer una reconstrucción de la biografía individual de los restos, es necesario primero realizar un perfil biológico general, el cual se compone de la estimación

¹ Relativo a los tribunales y a la justicia.

de sexo, edad, ancestría y estatura, para luego centrarse en la identificación particular, asociado con patologías, ocupación, hábitos, etc. (Rodríguez-Cuenca, 2004). Dentro del perfil biológico, la estimación de sexo es quizás el paso más importante, ya que una estimación precisa del sexo es esencial para la estimación del resto del perfil, y es por lo mismo que es la primera evaluación que se realiza luego de identificar si los restos son humanos e identificar el NMI².

La estimación de sexo corresponde a la clasificación de un individuo como masculino o femenino, y entendiéndose como “femeninos” aquellos individuos considerados biológicamente mujer y “masculinos” a los individuos considerados biológicamente hombre. Para lograr esto, el antropólogo o antropóloga usa rasgos discretos del sistema esquelético que varían entre sexos por razones funcionales, y se pueden observar tanto en tejido blando como en restos óseos (Plavcan, 2001). Sin embargo, históricamente, la antropología forense se ha enfocado en sexar restos esqueléticos, con poca o nula asociación al tejido blando. Este análisis está basado en el supuesto de que la función dicta la forma, por lo tanto, el propósito que cumple el hueso determina como se verá y cómo responde al estrés y a la carga biomecánica (Plavcan, 2011).

Para cada sexo, ciertos huesos comprometen distintas funciones, por lo que la forma y tamaño de estos varía (un ejemplo claro de esto es la pelvis). Estas diferencias de tamaño y forma, entre individuos masculinos y femeninos dentro de una misma especie se conocen como dimorfismo sexual, el cual es calculado como el logaritmo natural de la relación entre el valor medio del masculino dividido por el valor medio del femenino (Black & Ferguson, 2011).

La diferenciación sexual es por definición un proceso sexualmente dimórfico que muestra evidencias a nivel cromosómico, gonadal, hormonal, somático y conductual en adultos (Söder, 2007), que se puede describir desde el genotipo, el fenotipo y la cultura. El sexo, según el genotipo, corresponde al carácter sexual primario y se refiere a la variación cromosómica que presentan los individuos en el par 23. Se considera femeninos a aquellos individuos que poseen dos cromosomas X, mientras que aquellos que presentan un X y un Y se consideran masculinos. Esta diferenciación sexual primaria se expresa concretamente en el desarrollo de las gónadas, a través de la expresión de genes específicos durante el desarrollo embrionario y que se grafican en la Fig. 1.

En humanos no se puede observar una diferencia morfológica en las gónadas en desarrollo hasta el día 42 después de la concepción (Söder, 2007). Una vez formados, los ovarios y testículos se convierten en los reguladores primarios de la diferenciación sexual en mamíferos, al secretar hormonas sexo-específicas que regulan procesos de desarrollo posteriores, por lo que estos tejidos reproductores determinan efectos fenotípicos duraderos en todo el cuerpo (Rigby y Kulathinal, 2015). Por su parte, se entiende por fenotipo a la expresión del genotipo en función de un determinado ambiente, pudiendo

² Número mínimo de individuos.

expresarse tanto en rasgos físicos como conductuales (Oliva, 2008). Dentro de la expresión fenotípica se encuentran la aparición de características sexuales secundarias y cambios hormonales propios de la pubertad.

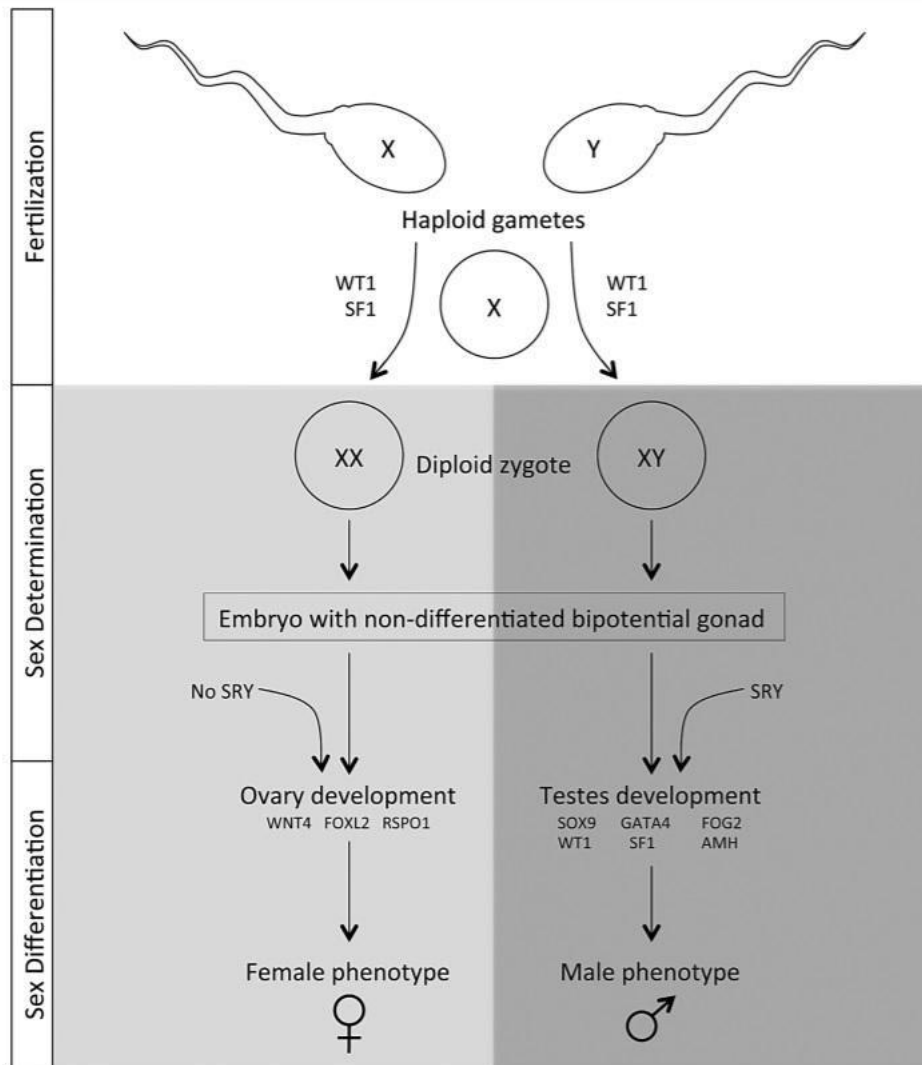


Figura. 1. Diferenciación sexual en humanos. Extraído de Rigby y Kulathinal, 2015.

La diferenciación sexual secundaria corresponde al desarrollo de características como la estatura, la forma del cuerpo, el cambio de voz, la aparición de vello corporal y facial, así como también características psicosociales y conductuales. Todas estas características sexuales secundarias no son directamente necesarias para el éxito reproductivo, así como lo son las características sexuales primarias, pero sí pueden aumentarlo. En los humanos estos caracteres sexuales secundarios se desarrollan, de manera tardía en comparación a otras especies, principalmente durante la pubertad y la adolescencia, impulsado principalmente por el aumento de secreción de hormonas sexuales que ocurre en esta etapa de la vida. Durante este estado crítico la expresión de características sexuales puede verse altamente influenciada por condiciones ambientales

y culturales, además de genéticas, como la dieta, el estrés, privación del sueño, enfermedades, entre otros (Stinson, 1985 y Clark, 1988).

El aumento de hormonas sexuales durante la pubertad está correlacionado con el índice de crecimiento. Los andrógenos promueven el crecimiento, mientras que el aumento de estrógenos es responsable del cierre de las epífisis (Bogin, 1999). Ya que los niveles de andrógenos son significativamente mayores entre los niños durante la pubertad y adolescencia en comparación a sus contrapartes femeninas, las diferencias sexuales en estatura pueden ser explicadas por las diferencias en la secreción de hormonas sexuales. Estas hormonas son responsables por la composición de patrones dismórficos sexuales del cuerpo (Kirchengast, 2014).

El dimorfismo sexual en el tamaño del cuerpo (SSD, sigla en inglés) no es un rasgo solamente humano, se da en muchas especies de animales. En invertebrados, generalmente la hembra es de mayor tamaño, mientras que en aves y mamíferos suele ser el macho más grande, probablemente debido a un efecto indirecto en el éxito reproductivo. Entre los primates, el dimorfismo sexual de tamaño tiene un sesgo masculino (Fairbairn, 2007). El SSD más extremo es encontrado en gorilas, orangutanes, mandriles, babuinos y monos narigudos, con algunos machos que doblan el tamaño de la hembra. La mayoría de los machos cercopitécidos son entre 30% y 80% más grandes que las hembras, mientras que los platirrininos o monos del nuevo mundo se caracterizan por un menor grado de SSD (Plavcan, 2001). Como en muchas otras especies de primates, los humanos hombres superan a las humanas mujeres en tamaño. Aunque hay grandes variaciones en altura entre humanos recientes, en todas las poblaciones, los humanos adultos masculinos son en promedio 7% más altos que las humanas adultas femeninas (Gustafson & Lindenfors, 2004), un SSD comparable a nuestros parientes cercanos, los chimpancés, el cual al ser menos del 10%, se clasifica como moderado (Fairbairn, 2007). Sin embargo, los hombres no siempre son más altos que las mujeres. Aunque el promedio de hombres es más alto que el promedio de mujeres en todas las poblaciones recientes de *Homo sapiens*, en cada población hay mujeres que son más altas que el promedio de los hombres y hay hombres que son más bajos que el promedio de las mujeres (Holden & Mace, 1999). Por lo que podemos decir que el tamaño del cuerpo no varía en función del sexo, pero sí es típico del sexo.

Si bien el dimorfismo sexual en humanos no parece ser tan evidente como en otras especies de primates, sigue siendo una de las principales causas de variación del tamaño de los individuos de la misma población. El índice de dimorfismo sexual (IDS) hace posible un rango de comparación entre especies y poblaciones. De la misma manera, el dimorfismo sexual no es idéntico en todos los grupos poblacionales ni permanece invariable en el tiempo. La variabilidad está determinada por factores biológicos y culturales que operan en distintas medidas en las poblaciones (Garvin, 2014). Esto puede ser un problema para la estimación de sexo, ya que los elementos que se utilizan para establecerlo no se expresan uniformemente entre poblaciones, ni dentro de los grupos masculinos y femeninos, por el contrario, la expresión de rasgos existe como un continuo, el cual va de típicamente masculino a típicamente femenino. Por lo tanto, el

esqueleto de una persona puede incluir rasgos que son considerados masculinos y femeninos al mismo tiempo, y ser categorizados como sexo indeterminado (Ferembach, Schwidetzky & Stoukal, 1980; Krenzer, 2006). Todas las variables son evaluadas a través de análisis morfológicos y/o métricos para estimar sexo basado en una serie de estándares de poblaciones conocidas (Buikstra & Ubelaker, 1994).

Los principales métodos de estimación de sexo utilizan pelvis y cráneo, siendo la pelvis más exacta con un 98% de asertividad, mientras que el cráneo presenta un 90% aproximadamente. Si bien las metodologías más utilizadas corresponden a análisis morfológicos, como lo son Phenice (1969) o Ferembach et al. (1980) en pelvis y Buikstra & Ubelaker, (1994) en cráneo, también existen metodologías de análisis métrico, principalmente en huesos largos, los que en muchos casos presentan un mayor dimorfismo sexual que el cráneo (Spadley & Jantz, 2011) y que son de alta utilidad cuando no hay restos completos y/o no se puede acceder visualmente a las secciones morfológicas requeridas. Además de eso, el desarrollo de análisis métrico busca reducir la subjetividad en la estimación de sexo (Fowler & Hughes, 2017), y permiten que estas metodologías sean utilizadas fuera de un laboratorio y/o por una persona no experta. El análisis métrico implica la medición cuantitativa de los huesos y utiliza estadística a fin de generar modelos y ecuaciones que permitan estimar el sexo de los restos (Lachenbruch & Goldstein, 1979). La efectividad de la estimación depende de qué tan completo y bien conservado está el esqueleto.

Al estimar sexo a partir de análisis métrico, lo más común es hacerlo en dientes o en huesos largos, siendo el húmero y el fémur los dos huesos largos con mayor dimorfismo sexual, con un porcentaje de asertividad de entre 89% a 94% (Carvalho, 2018). En estos dos últimos, los rasgos con mayor probabilidad de acierto son aquellos asociados a una articulación, como lo son el diámetro vertical de la cabeza del húmero (98,1%) o la anchura bicondilar del fémur (98,8%) (Ríos-Frutos, 2002). Por su parte, los dientes han sido ampliamente utilizados para el análisis métrico debido a que su composición química y su ubicación dentro de la boca hace que se vea poco afectado por la descomposición (Williams, Elliott, Orizaga & Díaz, 1990), con un comprobado dimorfismo sexual en incisivos y caninos (Peckmann et al., 2016). Dentro del resto del postcráneo uno de los huesos más confiables para estimar sexo es el calcáneo con un porcentaje de acierto de entre un 80% y un 90% (Spradley & Jantz, 2011).

El calcáneo, o “hueso del talón”, es el más grande de los tarsos y el más grande de los huesos del pie. Está localizado debajo del astrágalo (talo en medicina) y articula por anterior con el cuboides. Corresponde a un hueso robusto y denso, fácil de identificar, que se afecta de manera diferente en hombres y mujeres como resultado de diversos esfuerzos y fuerzas biomecánicas a través de las articulaciones. El calcáneo al ser un hueso con grandes zonas articulares, se ve ampliamente beneficiado de las propiedades físicas del cartílago que lo hacen capaz de perdurar a los efectos degradativos inmediatos de la descomposición. El cartílago es duradero y ofrece protección al hueso del resto de los tejidos blandos en descomposición. De no haber presencia de animales carroñeros (agentes bióticos) que afecten el proceso, los cuales buscan precisamente el tejido

cartilaginosa por ser una de las partes más atractivas nutricionalmente (Martin, 2002), la presencia de cartílago puede ayudar a la conservación de la zona. Además, debido a la biomecánica del calcáneo, en donde la mayor parte de la carga se instala en la unidad articular astragalocalcánea (ver Fig. 2 y Fig. 3), la densidad trabecular en las facetas articulares son de dos a tres veces más grandes que en la apófisis mayor o en la tuberosidad del calcáneo (Llanos & Martín, 2005). Además, posee otra característica que resulta conveniente en casos forenses, y es que, para periodos históricos, y sobre todo para restos actuales y sub-actuales, contamos con la presencia de calzado, el cual protege a los huesos del pie del deterioro tafonómico y la intemperie, ya que la presencia de ropa impide el acceso de carroñeros y retrasa el proceso de descomposición, negando parcialmente los efectos ambientales (Janaway, 2008). Para la estimación de sexo por calcáneo se utilizan medidas lineales o angulares dependiendo del autor, siendo las más utilizadas el largo máximo (MAXL), altura (BH) y brazo de carga largo (LAL).

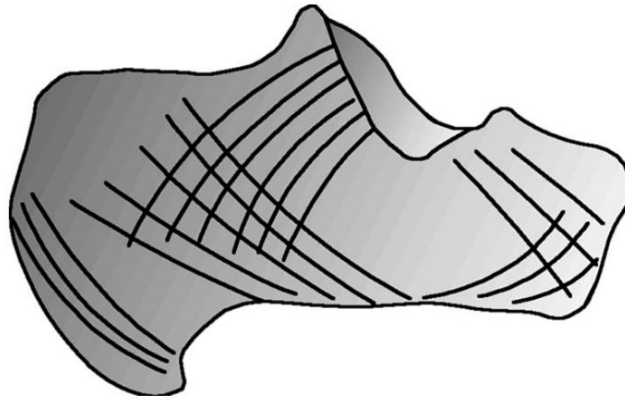


Figura 2. Principales sistemas trabeculares del calcáneo. Extraído de Llanos & Martín (2005).

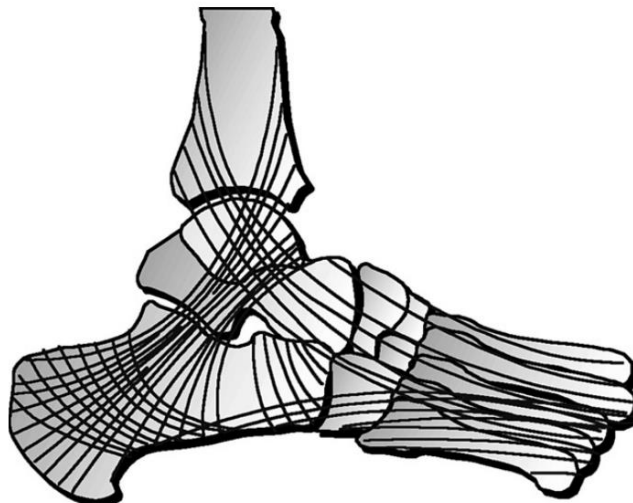


Figura 3. Sistemas trabeculares del complejo articular periastragalino. Extraído de Llanos & Martín (2005)

Si bien los primeros estudios de los huesos del pie son bastante antiguos (Wells, 1931), estos estaban enfocados en diferencias de ancestría, y no consideraban variaciones con respecto al sexo. Recién en la década del 60 se publicó un estudio que demostraba una variación sexual en los huesos del pie (Bunning, 1964), pero se relacionaba con la cantidad de facetas superiores, y no con la forma o el tamaño. El resultado fue que existía una presencia de dos facetas en un 57,7% de los individuos masculinos y en un 80,2% de los femeninos. Esto, aunque interesante, no fue de gran utilidad para los patólogos forenses, ya que hay una alta incidencia de doble faceta en individuos de ambos sexos. Esto llevó a Steele en 1976 a estimar sexo usando cuatro funciones discriminantes basadas en las medidas del calcáneo y el astrágalo, y sexando correctamente entre un 79% y 89% de la muestra. En 1995, Silva probó la fórmula de Steele para sexar, dando como resultado un porcentaje de acierto entre 77% y 89% en una muestra portuguesa. Luego se llevó a cabo un análisis discriminante de las medidas tomadas, del cual salieron 21 funciones que podían predecir el sexo de un individuo en un 82% a 93%. Se seleccionaron cinco funciones las cuales fueron probadas en un grupo de prueba de 50 pares de astrágalo/calcáneo, clasificando correctamente a un 82% a 94% y 80% a 84% respectivamente.

Esta metodología se puso a prueba en varios países, entre los cuales están Nueva Zelanda, Sudáfrica, Italia, Egipto, Norteamérica, Corea y Grecia (Bidmos & Asala, 2003; Bidmos & Asala, 2004; Dimichele & Spradley, 2012; Kim, Kim, Lee & Han, 2013; Murphy, 2002; Peckmann, Orr, Meek & Manolis, 2015), obteniendo como resultado en todos los casos que los parámetros medidos son sexualmente dimórficos, por lo que se podría afirmar que el calcáneo es un hueso que puede ser utilizado para sexar restos usando funciones discriminantes. Se concluyó además que es una metodología población-específica (Antona et al., 2001; Gualdi-Russo, 2007), por lo que es necesario adaptarla a cada población. En Zakaria, Mohammed, Habib, Hanna & Fahiem (2010) se concluye también que las medidas lineales son más dimórficas que las angulares, siendo la más dimórfica de todas, el largo máximo, alcanzando un porcentaje de acierto de un 90,2% por sí sola y la combinación de este con la altura mínima, un porcentaje de 92,6%.

Problematización

En Chile durante la dictadura cívico militar (1973-1990) hubo al menos 3.227 víctimas según el informe Rettig, la comisión Valech y la Comisión Nacional de Reparación y Reconciliación (Informe CNRR), de los cuales 2.125 son casos de víctimas muertas y 1.102 casos de víctimas desaparecidas. De los fallecidos (y con restos recuperados), el Servicio Médico Legal (SML), a través de la Unidad de Derechos Humanos, ha logrado identificar 176 individuos (SML, 2022).

Por lo mismo, dentro del contexto forense nacional, muchas veces no se puede estimar sexo con las técnicas más tradicionales debido a que los restos presentan severos traumatismos, no se encuentran completos o la descomposición comprometió esas zonas, impidiendo su correcta observación. Bajo estas circunstancias, el antropólogo o la antropóloga se ve en la necesidad de usar caracteres métricos para poder sexar los restos y continuar con el proceso de identificación. Es por esta razón que se propone utilizar el calcáneo, ya que, por un lado, corresponde a uno de los huesos más densos del cuerpo y por otro, en la actualidad y gran parte de los periodos históricos, suele estar protegido con tejidos y/o calzado, lo que obtiene como resultado un hueso con alto grado de conservación, que se ve menos afectado por la tafonomía. Además de esto, es de vital importancia adaptar todas las metodologías posibles a nuestra población, para facilitar y agilizar la identificación de restos, y poder devolverlos a sus seres queridos.

Pregunta

¿Cómo se relaciona el tamaño del calcáneo con el sexo de los individuos de la colección cementerio general?

Objetivos

Objetivo General

Conocer la relación existente entre la expresión del tamaño del calcáneo y el sexo biológico documentado de los individuos de la colección cementerio general para la estimación del sexo dentro de contextos forenses.

Objetivos Específicos

- a) Caracterizar la colección de Cementerio General a través de la evaluación de los calcáneos.
- b) Analizar la relación entre la expresión del tamaño del calcáneo en la muestra estudiada y el sexo documentado de los individuos.
- c) Construir modelos predictivos del sexo documentado de los individuos a partir de las variables analizadas del calcáneo.
- d) Validar los modelos construidos, evaluando su certeza y precisión.

Materiales y métodos

Se seleccionaron los calcáneos de 200 individuos (108 masculinos y 92 femeninos) pertenecientes a la colección Cementerio General que se encuentra almacenada en la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile a cargo del Departamento de Antropología. Esta colección es clasificada como sub-actual, y está conformada por más de 1.500 individuos fallecidos entre 1950 y 1973, con algunos individuos de 1984 (Abarca, 2011, págs. 108-123), adquiridos entre los años 1960 y 1993 producto de sistemáticas resacas por parte del profesor Juan Munizaga desde el Cementerio General de Santiago (Abarca, 2011, págs. 108-109).

Se excluyeron de la muestra aquellos calcáneos que evidenciaron alteraciones tafonómicas importantes o que tenían condiciones patológicas, como por ejemplo osteoartritis severa o lipping, que pudieran obstaculizar la correcta toma de medidas. Pero se incluyeron aquellos calcáneos que, a pesar de presentar algunas alteraciones tafonómicas, permitieron tomar al menos ocho de las diez mediciones requeridas, y que en esas ocho estuvieran incluidas largo máximo (MAXL) y ancho (MAXB). Además, si bien se tomaron las medidas de ambos pies cuando fue posible, para el análisis estadístico, se utilizó el calcáneo izquierdo.

Se utilizaron diez mediciones, extraídas de Bidmos & Asala (2003, 2004), DiMichele & Spradley (2012), Kim et al. (2013) y Peckmann et al. (2015), por ser las más utilizadas en diversas investigaciones en todo el mundo y porque han demostrado tener relación en mayor o menor medida con el sexo biológico, teniendo porcentajes de asertividad tan altos como 93,3% para la medida CFH o alto de la faceta cuboidal para la estimación masculina (Peckmann et al. 2015) o 91% en la medida LAW, brazo de carga ancho, para la estimación femenina (DiMichele & Spradley , 2012) (ver Fig.4). Todas las medidas utilizadas son lineales y fueron tomadas con un pie de metro, las cuales son descritas a continuación:

- Largo máximo (MAXL): Distancia lineal entre el punto más anterior del calcáneo y el punto más posterior de la tuberosidad calcánea (Peckmann et al., 2015).
- Ancho mínimo (MINB): Distancia entre las superficies medial y lateral del cuerpo del calcáneo (Peckmann et al., 2015).
- Altura del cuerpo (BH): Distancia lineal entre las superficies superior e inferior del cuerpo del calcáneo tomada en el plano coronal, en el punto medio entre el punto más posterior de la faceta articular posterior y el punto más anterior de la tuberosidad calcánea (Peckmann et al., 2015).
- Brazo de carga largo (LAL): Distancia lineal entre el punto más anterior en el calcáneo y el más posterior en la faceta articular posterior (Peckmann et al., 2015).

- Brazo de carga ancho (LAW): Línea proyectada perpendicular al eje largo desde el punto más lateral en la faceta articular dorsal hasta el punto más medial del sustentaculum tali (DiMichele & Spradley, 2012).
- Altura máxima (MAXH): Distancia entre los puntos más superiores e inferiores en la tuberosidad calcánea (Peckmann et al., 2015).
- Ancho de la faceta dorsal anterior (DAFB): Distancia desde los puntos más medial a los más laterales en la faceta articular posterior (Peckmann et al., 2015).
- Largo de la faceta dorsal anterior (DAFL): Distancia lineal entre los puntos más posteriores y más anteriores en la faceta articular posterior del calcáneo (Peckmann et al., 2015).
- Ancho (MAXB): Distancia lineal entre el punto más lateral en la faceta articular posterior y el punto más medial en el sustentaculum tali (Peckmann et al., 2015).
- CFH (alto de la faceta cuboidal): Distancia lineal entre los puntos más superiores e inferiores en la faceta articular cuboidal (Peckmann et al., 2015).

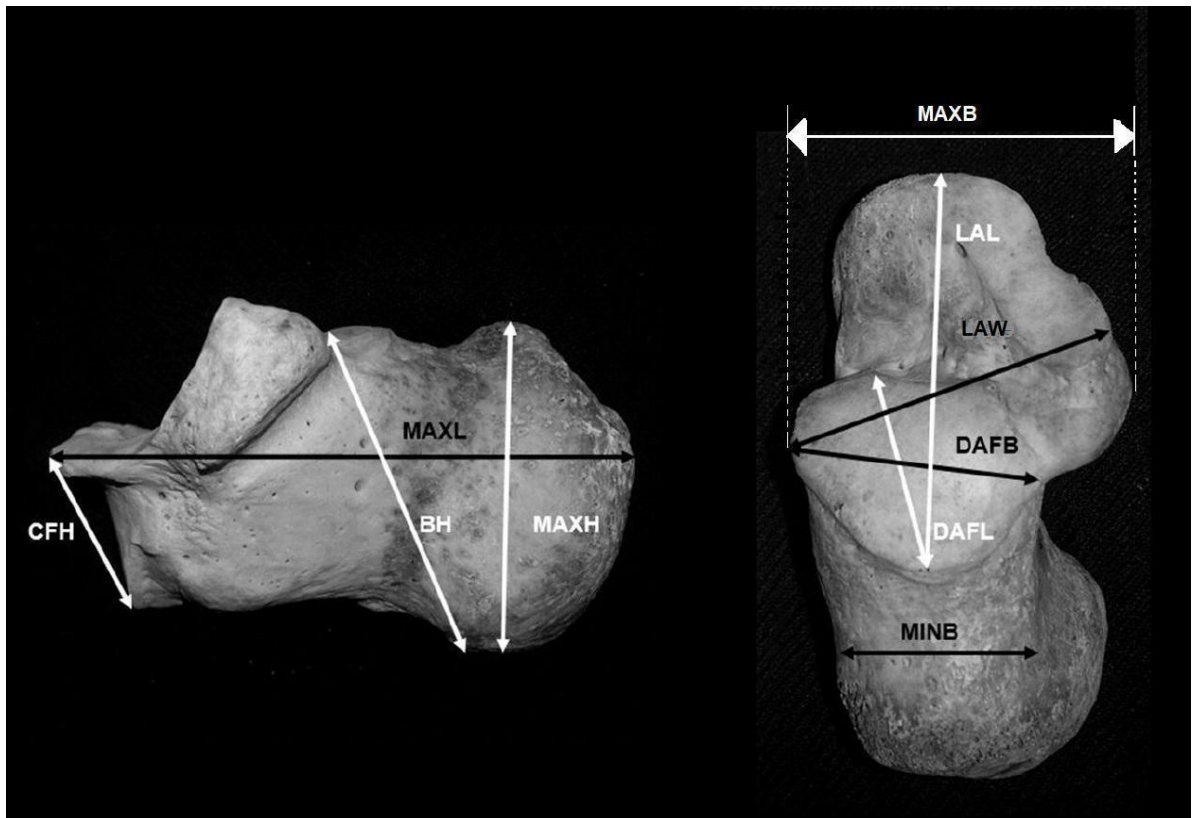


Figura 4. Modificado de Peckmann et al. (2015).

Análisis estadístico.

Error intra e inter observador:

Se seleccionaron de manera aleatoria una submuestra de 20 calcáneos (10 individuos masculinos y 10 individuos femeninos) de la muestra principal, y se midieron nuevamente para probar la consistencia entre la primera vez que se tomaron las medidas y la segunda. Por otro lado, se le solicitó a otra investigadora que paralelamente también midiera la submuestra para probar el grado de concordancia entre investigadores. Para esto se utilizó el Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin (1989).

Asimetría bilateral, test de Normalidad y Homocedasticidad

Se realizó pruebas t de Student pareadas al total de la muestra, analizándose en total 200 calcáneos izquierdos y 190 calcáneos derechos, bajo la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre ambos lados. Se consideró que existía asimetría bilateral significativa con $p < 0.05$. Además, se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk, para saber si las medidas presentaban normalidad, y Test de Levene para establecer si las medidas presentaban homocedasticidad.

Estadística descriptiva y análisis univariable.

Se llevaron a cabo estadísticos descriptivos a fin de conocer la composición de la muestra y poder describirla. Se calculó promedio, desviación estándar, intervalo de confianza (al 95%), asimetría y curtosis. Posteriormente se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes y prueba de Welch (en el caso de la variable CFH, que no cumplía con el requisito de igual varianza) para estimar si existía diferencia significativa entre individuos femeninos y masculinos en la muestra.

Modelos estadísticos.

Se realizaron una serie de regresiones logísticas para crear modelos predictivos de sexo en base a las variables analizadas. La regresión logística es un tipo de regresión que permite describir y analizar la relación entre una variable dependiente dicotómica y una o más variables independientes, y busca estimar la probabilidad de que ocurra el evento que representa la variable dependiente dicotómica. En el caso específico de la estimación de sexo, si el evento ocurre es masculino, codificado con un 1, y si no ocurre el evento es femenino, codificado con un 0.

El modelo expresa la ocurrencia del evento en una función lineal:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

Como parte de los resultados que se obtienen de la regresión logística, se extraen valores para Pseudo R, el cual es un estimador del tamaño del efecto, y entrega un

aproximado de la proporción de la variabilidad para la variable dependiente explicada por el modelo. Aunque no hay una convención sobre cuáles son los niveles aceptables para el tamaño del efecto, se entiende que, a mayor tamaño del efecto, mejor el ajuste del modelo.

Se optó por utilizar regresión logística por sobre análisis de función discriminante a pesar de que esta última suele usarse más en la literatura. Esto, debido a que, la regresión logística permite calcular modelos robustos exigiendo pocos requisitos. No requiere normalidad ni homocedasticidad, ni asume linealidad en la relación entre las variables dependientes e independientes (du Jardin et al., 2009; Kleinbaum & Klein, 2010; Hosmer et al., 2013; Hyeoun-Ae, 2013; Clavero et al., 2015). Esto es relevante en el contexto de la antropología pues no siempre se pueden cumplir esos requisitos y la evidencia sugiere que la relación entre las variables osteométricas y el sexo de un individuo no es lineal (du Jardin et al., 2009). Además de esto, la regresión logística suele obtener mejores resultados que la función discriminante con menos porcentaje de clasificación errónea y bajo sesgo por sexo (Albanese et al., 2008; Clavero et al., 2015).

Se pueden construir modelos univariados y modelos multivariados que incluyen más de una variable en el modelo. La ventaja de los modelos univariados es que pueden ser aplicados en contextos de preservación parcial, frente a material incompleto o altamente fragmentado, cuando una preservación deficiente de los restos impide evaluar otras variables sexualmente dimórficas. La desventaja es que tienden a un menor acierto y un mayor sesgo por sexo que un modelo multivariado. Mientras que en el caso de los modelos multivariados es al revés. Al contar con más variables se puede observar un mayor dimorfismo sexual, pero requiere una mayor preservación de los restos, lo que a su vez reduce la posibilidad de aplicación de la fórmula. Además, a medida que se acumulan variables, los modelos alcanzan un punto de saturación en donde la inclusión de más variables no aporta a la estimación. Por estas razones, en el presente estudio se construyeron modelos tanto uni como multivariados.

Se realizaron una serie de regresiones logísticas, de tipo forward, con el fin de determinar cuán bien funcionan las medidas del calcáneo para estimar sexo y así establecer el modelo que mejor pueda explicar la asociación de estas con el sexo documentado de los individuos. Para validar el ajuste del modelo multivariado se utilizó el método de clasificación de validación cruzada a través del programa STATA. En la validación cruzada un modelo, tanto uni como bi o multivariado, es recalculado a través de repeticiones para luego reevaluarlo sobre una submuestra aleatoria de la muestra total. El beneficio de esta metodología es que permite evaluar un modelo usando la misma muestra con la cual se creó. La desventaja es la exageración del acierto real del modelo, lo cual disminuye el sesgo de estimación (Curate et al., 2016). Si bien hubiese sido ideal contar con una muestra diferente de prueba para validar los modelos, debido al contexto de pandemia, esto no fue posible.

A cada modelo se le calculó sensibilidad, especificidad y precisión general, siendo la primera, la capacidad que tiene un modelo para clasificar de manera positiva un

registro, mientras que la especificidad corresponde a la capacidad de clasificarlo negativamente; por lo que, en este caso, la sensibilidad corresponde a la proporción de individuos masculinos (1) y la especificidad corresponde a la proporción de individuos femeninos (0) estimados correctamente. Por su parte, la precisión general se refiere a la proporción de individuos en total correctamente estimados, y mide el grado de acierto entre sexo real y estimado.

Modelos propuestos.

Para poder definir los modelos propuestos para la estimación de sexo a través del calcáneo, se llevó a cabo un ejercicio de descarte en que se evaluó el cumplimiento de una serie de parámetros para cada uno de los modelos. Se usaron cuatro parámetros básicos: 1) La significancia estadística de todos los coeficientes de cada modelo (con un p-valor $<0,05$). Se descartó todo aquel modelo que tuviera alguna variable no significativa, tanto univariable como multivariable, ya que corresponden a valores poco confiables. 2) Una diferencia entre sensibilidad y especificidad menor al 10%. Se estableció este porcentaje para poder asegurar cierto nivel de confiabilidad, ya que de existir una diferencia muy grande entre estos valores significaría que existe un sesgo por sexo, independiente si la precisión general es alta (Carvallo, 2018). 3) Una precisión general igual o superior al 80%. Se utiliza este porcentaje por convención (du Jardin et al., 2009; Christensen et al., 2014), ya que la probabilidad de acertar por azar es de un 50% se hace necesario que el acierto mínimo aceptable sea mucho mayor. 4) La eficiencia de los modelos construidos. De obtenerse modelos que reporten los mismos porcentajes de acierto, es necesario evaluar si se conservan ambos modelos, solo uno, o ninguno dependiendo de que tan eficientes sean. Si un modelo multivariable reporta un rendimiento idéntico al de un modelo univariable, no se justifica su utilización, ya que generalmente menos variables implican una mayor aplicabilidad. Si el modelo no es eficiente, se elimina.

El manejo de los datos y los cálculos estadísticos se hicieron con los softwares Microsoft Excel y STATA.

Resultados

Error intra e inter observador

Para que una metodología sea válida es esencial que los parámetros de las medidas estén bien definidos, para que así los investigadores que vayan a aplicar los métodos propuestos sean capaces de comprender la definición y reproducirlo correctamente. Para esto es necesario poner a prueba el error en la toma de medidas, tanto inter observador como intra observador.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para el coeficiente de correlación de concordancia de Lin tanto para el error interobservador como para el error intraobservador:

Tabla 1. Rho-c y p-valor para el coeficiente de correlación de concordancia de Lin (n=20)

INTER			INTRA		
Variable	Rho-c	p-valor	Variable	Rho-c	p-valor
MAXL	0.990	0.000	MAXL	0.996	0.000
MINB	0.910	0.000	MINB	0.887	0.000
BH	0.448	0.000	BH	0.595	0.000
LAL	0.980	0.000	LAL	0.991	0.000
LAW	0.973	0.000	LAW	0.979	0.000
MAXH	0.735	0.000	MAXH	0.977	0.000
DAFB	0.935	0.000	DAFB	0.971	0.000
DAFL	0.957	0.000	DAFL	0.975	0.000
MAXB	0.977	0.000	MAXB	0.995	0.000
CFH	0.922	0.000	CFH	0.937	0.000

Para ambos errores se obtuvo un coeficiente superior a 0.9 en 8 de 10 medidas, todas con significancia estadística ($p < 0.05$). Las medidas que no alcanzaron un coeficiente de concordancia suficiente fueron BH y MAXH para el error interobservador y MINB y BH para el error intraobservador, repitiéndose en ambas la medida BH. Por lo tanto, se puede afirmar que 7 de las 10 medidas realizadas están definidas de manera clara y son fáciles de evaluar. Por otro lado, la medida con mejor concordancia corresponde a MAXL en ambos casos.

Asimetría bilateral

Es importante para la aplicación de la metodología saber si existe asimetría en la lateralidad, es decir, entre el calcáneo derecho y el izquierdo. Si bien es recomendable usar el lado izquierdo para la aplicación de las metodologías de estimación, ya que de esta manera hay menores probabilidades de que el hueso haya sido afectado por marcadores de uso, en muchos casos no existe la posibilidad de escoger la lateralidad, por lo que se hace necesario saber si la metodología puede ser utilizada indistintamente

de la lateralidad del hueso disponible. La Tabla 2 resume la estadística descriptiva de cada lado junto con los resultados obtenidos para la prueba t de Student pareada. Esta prueba arrojó un p-valor mayor a 0.05 en todos los casos, por lo que ninguna de las medidas presentaría asimetría bilateral.

Tabla 2. Resultados Prueba t de Student pareadas.

Variable	Lado	Promedio	D.E	P-valor (t-test)
MAXL	Izquierdo	75,57875	5,518539	0,6872
	Derecho	75,358663	5,253765	
MINB	Izquierdo	23,02359	2,860996	0,9521
	Derecho	23,00608	2,785382	
BH	Izquierdo	38,96005	3,49883	0,7156
	Derecho	39,09068	3,575748	
LAL	Izquierdo	47,795	3,665391	0,9188
	Derecho	47,83304	3,704371	
LAW	Izquierdo	39,50675	3,079664	0,2882
	Derecho	39,84047	3,123795	
MAXH	Izquierdo	40,05222	3,674114	0,4919
	Derecho	40,30601	3,477372	
DAFB	Izquierdo	28,403	2,757537	0,5291
	Derecho	28,22283	2,898184	
DAFL	Izquierdo	28,49305	2,591875	0,0546
	Derecho	29,00377	2,645253	
MAXB	Izquierdo	39,46315	3,135794	0,7658
	Derecho	39,36853	3,139878	
CFH	Izquierdo	23,5167	2,092541	0,0787
	Derecho	23,88702	2,058731	

D.E.: desviación estándar; ttest: prueba t de Student pareada.

Test de Normalidad y Homocedasticidad

Se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk y Test de Levene para establecer si las medidas presentan normalidad y homocedasticidad respectivamente. Se observa que para la prueba Shapiro-Wilk todas las variables poseen un p-valor mayor a 0.05 por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir, que la muestra está distribuida normalmente. Para la prueba de Levene se observa que todas las variables, a excepción de la medida CFH presentan un p-valor mayor a 0.05. Por lo tanto, 9 de 10 medidas se rechaza la hipótesis nula, es decir, presentan igual varianza. En la Tabla 3 se sintetizan los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resultados Prueba t Shapiro-Wilk y Prueba de Levene.

Variable	N	S-W	Levene
MAXL	200	0,1447	0,09331591
MINB	195	0,3071	0,07254139
BH	200	0,73451	0,07733951
LAL	200	0,58435	0,15075555
LAW	200	0,31041	0,6206167
MAXH	194	0,91339	0,19474276
DAFB	200	0,17919	0,1808387
DAFL	200	0,67473	0,3698931
MAXB	200	0,50032	0,92876254
CFH	200	0,4169	0,03180886

Estadística descriptiva

La siguiente tabla recopila la estadística descriptiva de la muestra y los resultados obtenidos para las pruebas estadísticas de Shapiro-Wilk, t de Student y Test de Welch.

Tabla 4. Estadística descriptiva de la muestra y p-valor para pruebas de Shapiro-Wilk, t de Student y Welch.

Variable	Sexo	Media	D.E	I.C (95%)	Asimetría	Curtosis	S-W	St/W
MAXL	F	72,07989	3,995296	71,25249-72,90729	-0,2209139	2,369254	0,2992	0,0
	M	78,55926	4,855045	77,63314-79,48538	-0,2725676	2,530923	0,16389	
MINB	F	21,46433	2,145999	21,01486-21,9138	0,0069092	2,568378	0,90309	0,0
	M	24,3601	2,724009	23,83293-24,88726	0,0881531	2,63894	0,61899	
BH	F	37,13739	2,822388	36,55289-37,72189	-0,2375974	2,726408	0,78733	0,0
	M	40,51269	3,271573	39,88862-41,13675	0,2681786	2,517369	0,25213	
LAL	F	45,59076	2,715988	45,0283-46,15323	0,1413082	2,686125	0,84618	0,0
	M	49,67269	3,313157	49,04068-50,30469	-0,0810405	3,087175	0,33312	
LAW	F	37,55163	2,477048	37,03865-38,06461	0,1840844	3,040949	0,74854	0,0
	M	41,17222	2,516837	40,69212-41,65232	-0,1348567	2,597684	0,45607	
MAXH	F	38,23857	2,997291	37,61436-38,86279	0,2148517	2,922811	0,82251	0,0
	M	41,65456	3,476828	40,97505-42,33407	-0,2211314	3,222081	0,97827	
DAFB	F	26,74326	2,14154	26,29976-27,18676	0,3083794	3,305319	0,32138	0,0
	M	29,81685	2,419797	29,35526-30,27844	0,1580345	2,863166	0,72582	
DAFL	F	26,9312	1,996175	26,5178-27,34459	0,1358105	2,823357	0,67829	0,0
	M	29,82352	2,28493	29,38766-30,25938	0,1026292	3,488906	0,54521	
MAXB	F	37,45196	2,523404	36,92937-37,97454	0,156955	3,050345	0,80755	0,0
	M	41,17639	2,536147	40,69261-41,66017	-0,2431303	3,025084	0,76901	
CFH	F	22,25315	1,616112	21,91846-22,58784	-0,3464512	3,565459	0,33926	0,0
	M	24,59306	1,838544	24,24234-24,94377	-0,1141208	2,404375	0,53409	

D.E.: desviación estándar; I.C. (95%): intervalo de confianza del 95%; S-W: prueba de Shapiro-Wilk; St/W: prueba t de Student y prueba de Welch.

Podemos observar que los promedios de todas las medidas son distintos entre sexos, siendo la media, en todos los casos, mayor en los individuos masculinos que en los femeninos. Además, los intervalos de confianza entre sexos no se superponen. Con

respecto a la asimetría se puede observar que, si bien todas las variables son medianamente simétricas, la mitad (BH, LAL, LAW, MAXH, y MAXB) presentan inclinaciones de la curva opuestas entre sexos. Por otro lado, los resultados de la curtosis nos indican que todas las variables describen curvas mesocúrticas, con valores cercanos a 3, siendo el valor menor de 2.36 y el mayor de 3.56. Los resultados de la prueba Shapiro-Wilk muestran que todas las variables se distribuyen de forma normal en ambos sexos. Para evaluar si existe diferencia significativa entre ambos sexos se utilizó t de Student y la prueba de Welch, ya que la variable CFH no cumplía con el requisito de igual varianza necesaria para realizar t de Student. Los resultados obtenidos para ambas pruebas fueron menores a 0.05 en todas las variables, por lo que se puede señalar que existen diferencias significativas entre sexos para todas las medidas analizadas.

Los gráficos mostrados a continuación muestran la distribución de cada variable por sexo (Gráficos 1-10).

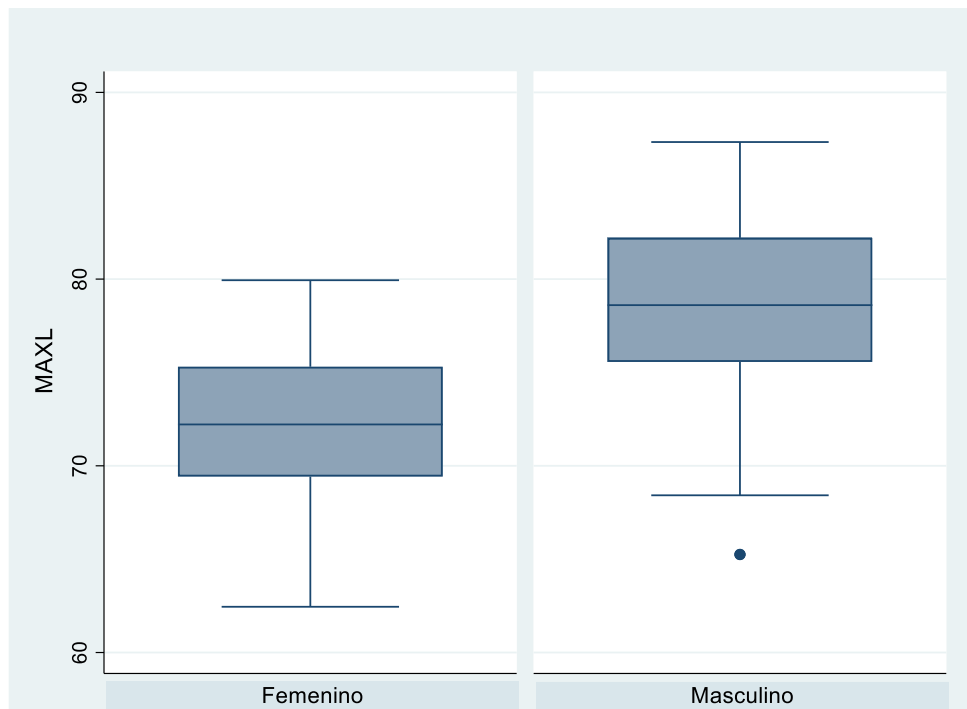


Gráfico 1. Distribución de MAXL por sexo

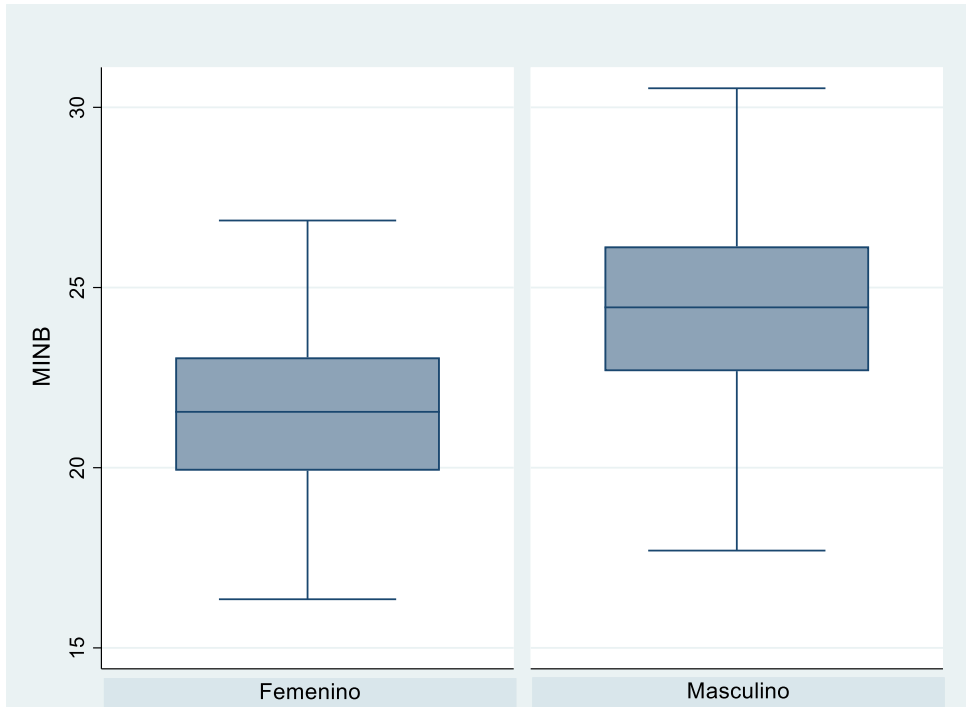


Gráfico 2. Distribución de MINB por sexo

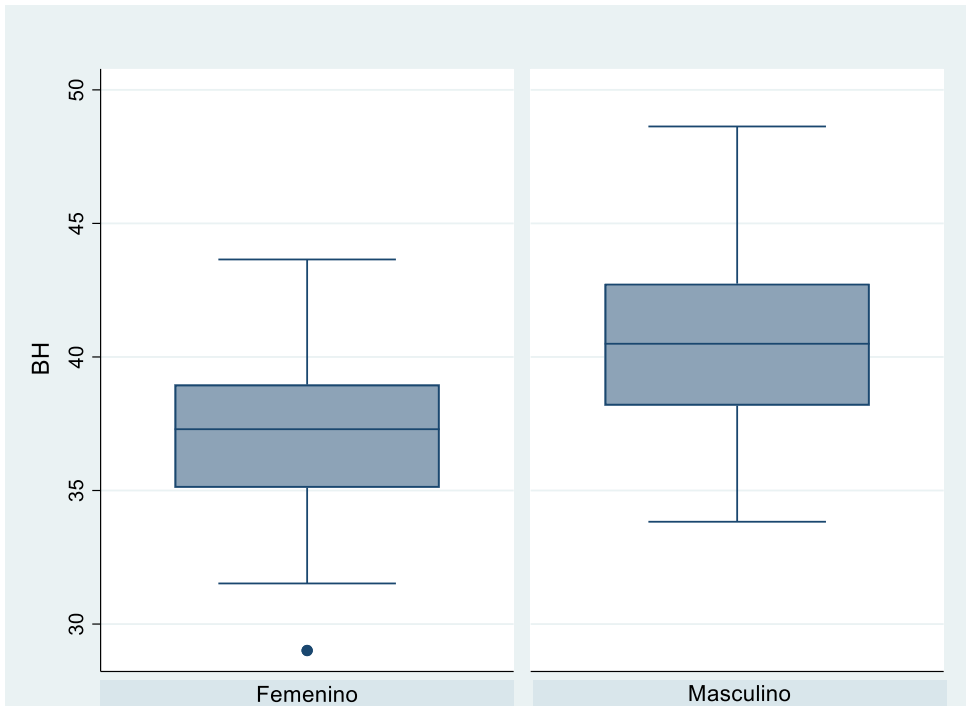


Gráfico 3. Distribución de BH por sexo

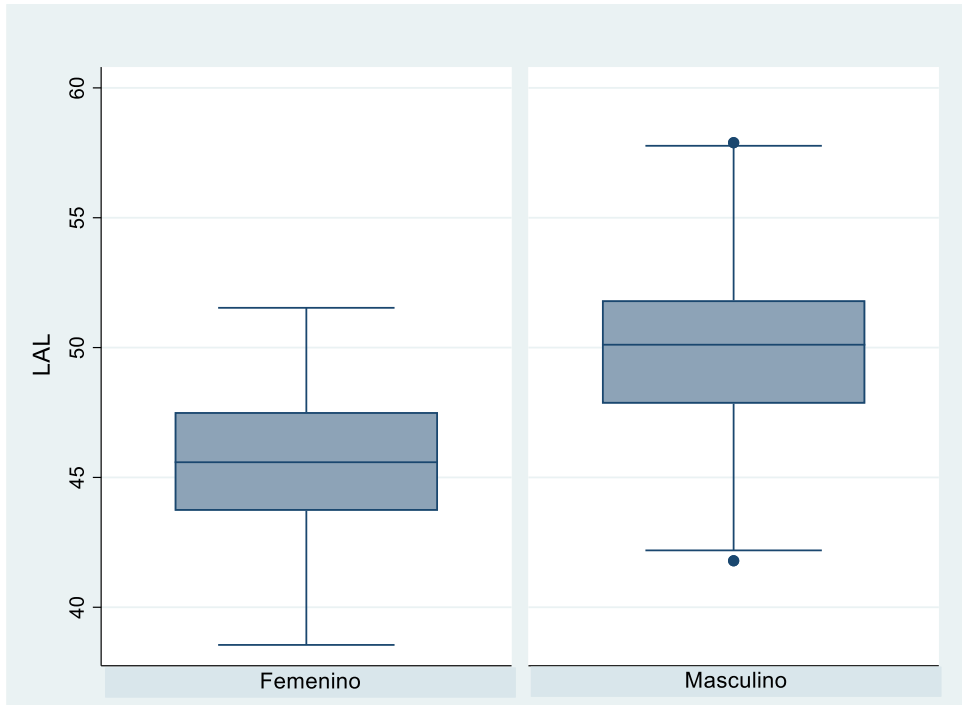


Gráfico 4. Distribución de LAL por sexo

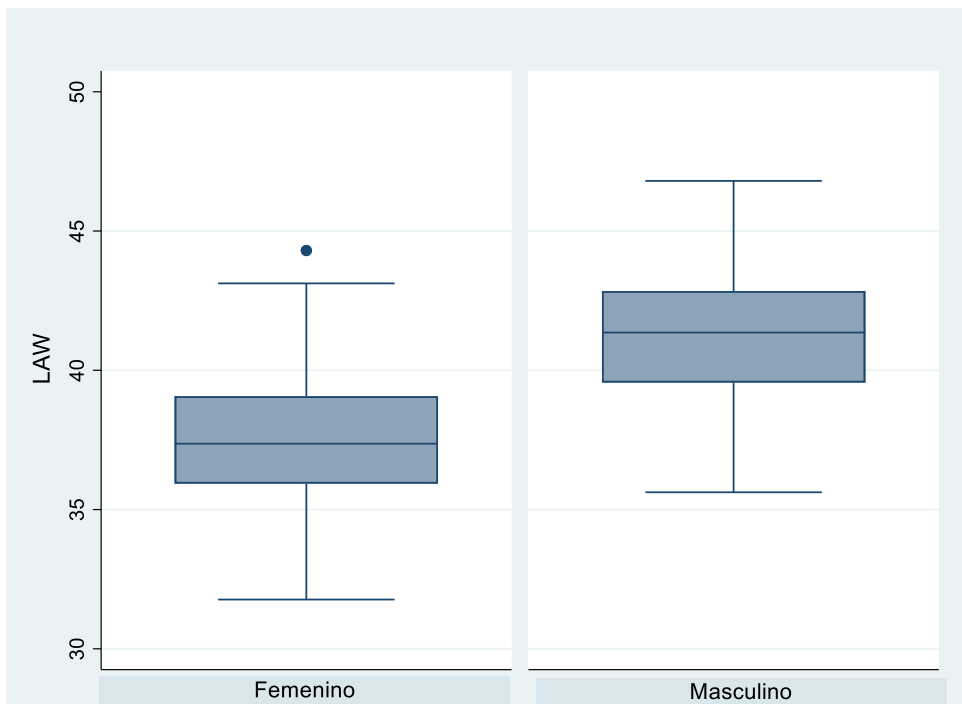


Gráfico 5. Distribución de LAW por sexo

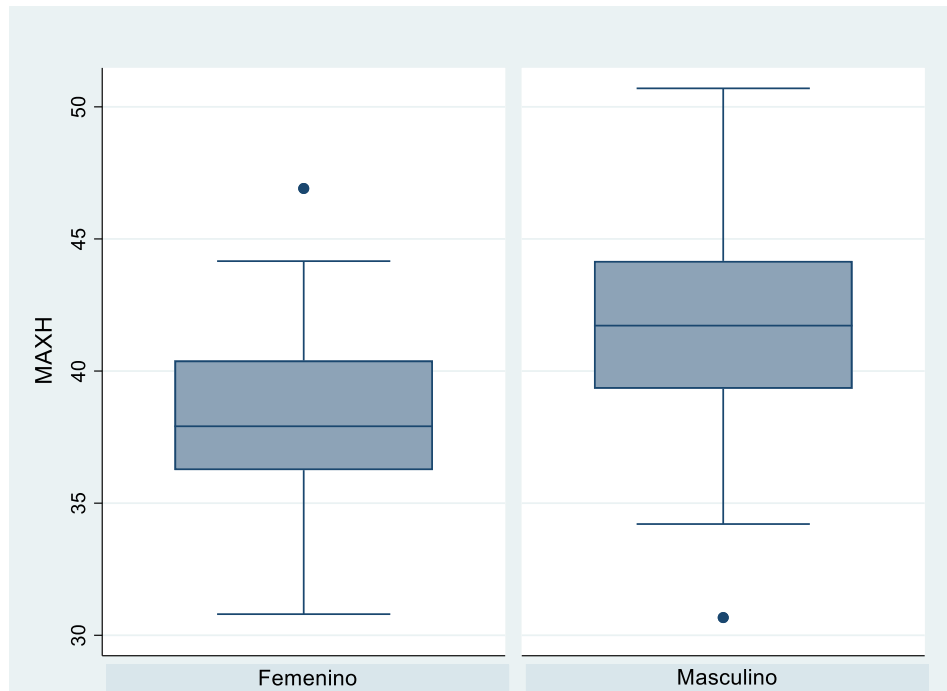


Gráfico 6. Distribución de MAXH por sexo

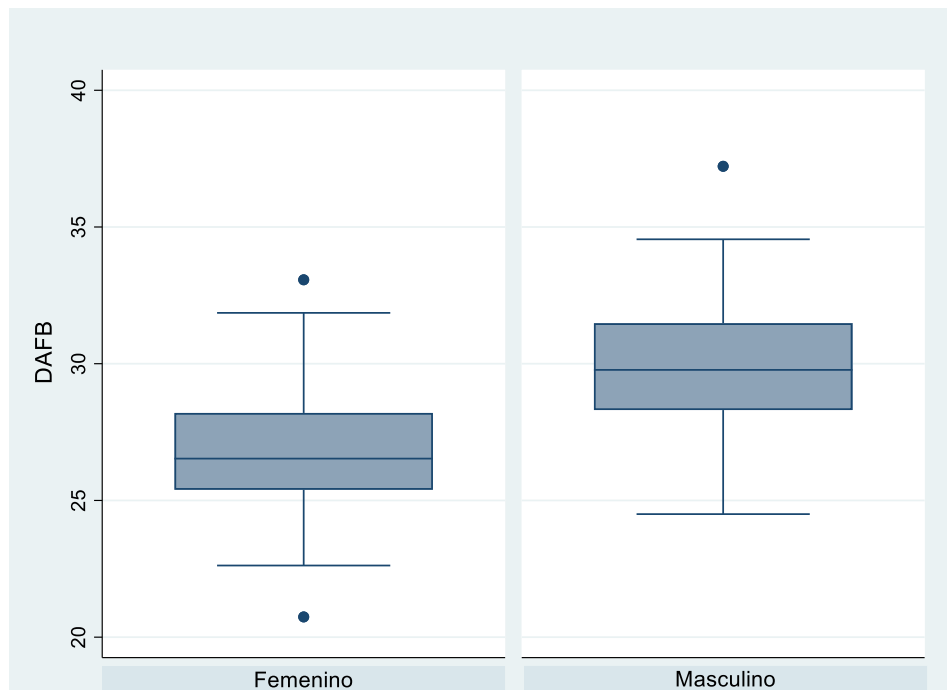


Gráfico 7. Distribución de DAFB por sexo

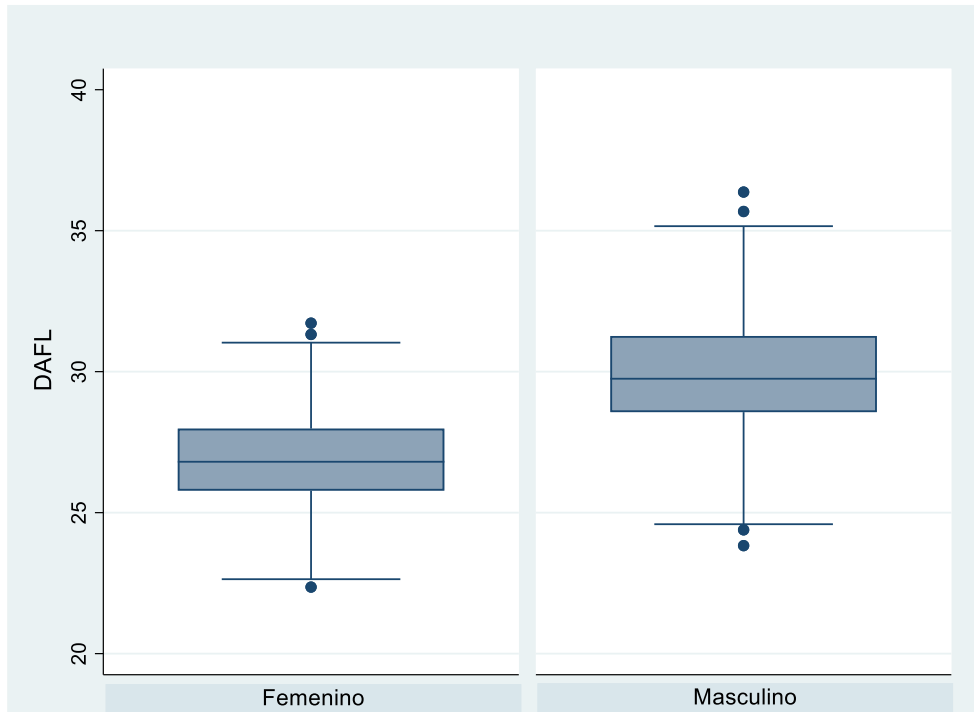


Gráfico 8. Distribución de DAFL por sexo

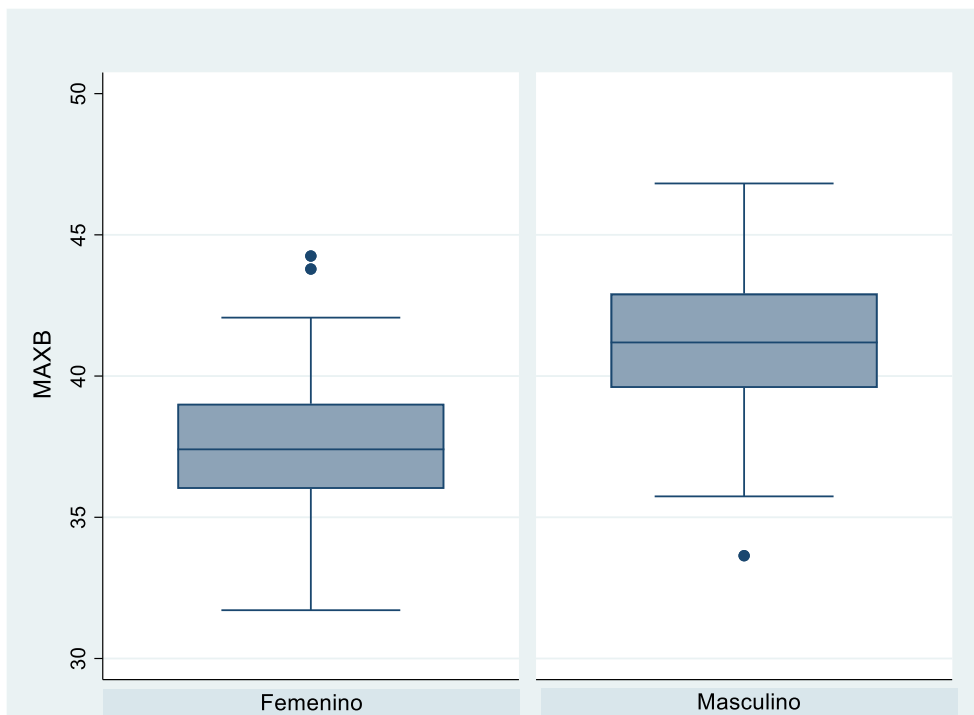


Gráfico 9. Distribución de MAXB por sexo

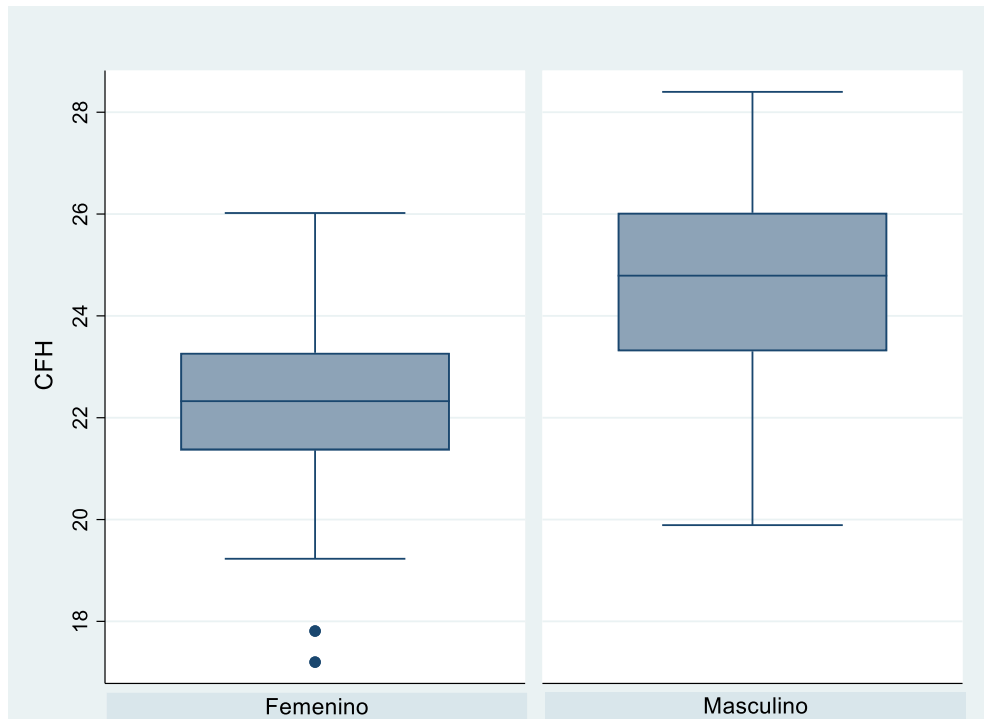


Gráfico 10. Distribución de CFH por sexo

Modelos Estadísticos

Para la elección de variables a usar en la regresión logística, se probaron todas las variables individuales y luego se agruparon pares de variables. Se hizo solo un modelo multivariable de más de dos variables, ya que se probó, a través de una regresión logística de tipo forward, cómo estas se iban comportando al ir agregándolas una a una hasta completar las diez variables. Luego se descartaron aquellas variables que no alcanzaban el p-valor necesario y proporcionando un modelo multivariado de tres variables: MAXL, LAW, CFH, siendo de las medidas más confiables y con mejores resultados en la regresión logística tanto individuales como de a pares. Se descartó tener más modelos con más de dos variables.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las regresiones logísticas de cada modelo univariable y multivariable con la variable dependiente sexo. Casi todos los coeficientes resultaron ser significativos ($p < 0.05$), con excepción de los coeficientes MAXH del modelo MAXL+MAXH, MAXH del modelo LAL+MAXH, y ambos coeficientes de las variables del modelo LAW+MAXH. En general, los valores de pseudo- R^2 se encuentran entre 0,2 y 0,4 con dos excepciones que caen bajo el 0,2 y que corresponden a los modelos univariados de BH y MAXH, por lo que se considera que, si bien no es excelente, hay un buen ajuste del modelo.

Tabla 5. Regresiones logísticas.

Modelo	Variabes	Coficiente	Error estándar	P-valor	Pseudo R2
MAXL	MAXL	0,3175619	0,0461075	0,0000	0,2989
	Constante	-23,7355900	3,4641840		
MINB	MINB	0,4707992	0,0752335	0,0000	0,2123
	Constante	-10,6094200	1,7189510		
BH	BH	0,3693173	0,0611253	0,0000	0,1935
	Constante	-14,1549400	2,3646990		
LAL	LAL	0,4409364	0,0651512	0,0000	0,2674
	Constante	-20,8240500	3,0975870		
LAW	LAW	0,5592319	0,0795421	0,0000	0,2981
	Constante	-21,8390300	3,1239750		
MAXH	MAXH	0,3208604	0,0548362	0,0000	0,1752
	Constante	-12,6826400	2,1881090		
DAFB	DAFB	0,5869459	0,0866645	0,0000	0,2681
	Constante	-16,3928900	2,4368970		
DAFL	DAFL	0,6426428	0,0957930	0,0000	0,2719
	Constante	-18,0500000	2,7111740		
MAXB	MAXB	0,5663218	0,0806929	0,0000	0,3066
	Constante	-22,1062000	3,1708320		
CFH	CFH	0,7891497	0,1182444	0,0000	0,2708
	Constante	-18,2964000	2,7570620		
MAXL+MINB	MAXL	0,2646641	0,0500689	0,0000	0,3554
	MINB	0,2708248	0,0828728	0,0010	
	Constante	-25,9598700	3,7659310		

MAXL+BH	MAXL	0,2528779	0,0510071	0,0000	0,3184
	BH	0,1637147	0,0727825	0,0240	
	Constante	-25,2198700	3,5658930		
MAXL+LAL	MAXL	0,2189456	0,0628667	0,0000	0,3163
	LAL	0,1961200	0,0910207	0,0310	
	Constante	-25,6602400	3,7235380		
MAXL+LAW	MAXL	0,2078733	0,0524014	0,0000	0,3659
	LAW	0,3665283	0,0913424	0,0000	
	Constante	-29,9084300	4,2232880		
MAXL+MAXH	MAXL	0,2873833	0,0551466	0,0000	0,3211
	MAXH	0,0927905	0,0690734	0,1790	
	Constante	-25,2515800	3,6538150		
MAXL+DAFB	MAXL	0,2290818	0,0504108	0,0000	0,3615
	DAFB	0,3663559	0,0954298	0,0000	
	Constante	-27,4094800	3,8810340		
MAXL+DAFL	MAXL	0,2258197	0,0513136	0,0000	0,3584
	DAFL	0,3956493	0,1056139	0,0000	
	Constante	-28,0559500	4,0114170		
MAXL+MAXB	MAXL	0,1961200	0,0534076	0,0000	0,3635
	MAXB	0,3654243	0,0935088	0,0000	
	Constante	-28,9700200	4,0810610		
MAXL+CFH	MAXL	0,2271073	0,0493206	0,0000	0,3661
	CFH	0,5084138	0,1283907	0,0000	
	Constante	-28,8068400	4,0484040		
MINB+BH	MINB	0,4402311	0,0801197	0,0000	0,3463

	BH	0,3549636	0,0704479	0,0000	
	Constante	-23,6443600	3,4607800		
MINB+LAL	MINB	0,2867664	0,0831167	0,0010	0,3191
	LAL	0,3380331	0,0704212	0,0000	
	Constante	-22,4482100	3,2991960		
MINB+LAW	MINB	0,1898340	0,0921675	0,0390	0,3287
	LAW	0,4675818	0,0956816	0,0000	
	Constante	-22,5502400	3,2620680		
MINB+MAXH	MINB	0,3529514	0,0793810	0,0000	0,2646
	MAXH	0,2253043	0,0601155	0,0000	
	Constante	-16,9010700	2,6431190		
MINB+DAFB	MINB	0,2480343	0,0875814	0,0050	0,3113
	DAFB	0,4615429	0,1006036	0,0000	
	Constante	-18,5065700	2,6765810		
MINB+DAFL	MINB	0,3188025	0,0828633	0,0000	0,3391
	DAFL	0,5320800	0,1058379	0,0000	
	Constante	-22,1329900	3,2467400		
MINB+MAXB	MINB	0,2179600	0,0901174	0,0160	0,3447
	MAXB	0,4700651	0,0930676	0,0010	
	Constante	-23,2881500	3,3367790		
MINB+CFH	MINB	0,3587863	0,0846581	0,0000	0,3628
	CFH	0,6873869	0,1269214	0,0000	
	Constante	-24,0871600	3,4815670		
BH+LAL	BH	0,1951165	0,0688637	0,0050	0,2994
	LAL	0,3411973	0,0712107	0,0000	

	Constante	-23,6546600	3,4139690		
BH+LAW	BH	0,2273713	0,0683250	0,0010	0,3443
	LAW	0,4669965	0,0837235	0,0000	
	Constante	-27,0351000	3,8115140		
BH+MAXH	BH	0,2545660	0,7331790	0,0010	0,2259
	MAXH	0,1700201	0,0650161	0,0090	
	Constante	-16,5540700	2,6126370		
BH+DAFB	BH	0,2523783	0,0675318	0,0000	0,3275
	DAFB	0,4924814	0,0921553	0,0000	
	Constante	-23,5316000	3,4446430		
BH+DAFL	BH	0,2458026	0,0675212	0,0000	0,3284
	DAFL	0,5218002	0,0994414	0,0000	
	Constante	-24,1909700	3,4975320		
BH+MAXB	BH	0,1932308	0,0704059	0,0060	0,3365
	MAXB	0,4660677	0,0859387	0,0000	
	Constante	-25,6530900	3,6468460		
BH+CFH	BH	0,2516231	0,0673628	0,0000	0,3300000
	CFH	0,6368641	0,1217086	0,0000	
	Constante	-24,5186000	3,5312470		
LAL+LAW	LAL	0,2441237	0,0774668	0,0020	0,3371
	LAW	0,3870677	0,0940156	0,0000	
	Constante	-26,6992000	3,7922510		
LAL+MAXH	LAL	0,3444989	0,0779058	0,0000	0,2669
	MAXH	0,1156783	0,0685923	0,0920	
	Constante	-20,8827500	3,1331780		

LAL+DAFB	LAL	0,2720946	0,0762464	0,0000	0,3199
	DAFB	0,3661359	0,1014463	0,0000	
	Constante	-23,1134300	3,3350350		
LAL+DAFL	LAL	0,2517511	0,0846287	0,0030	0,3067
	DAFL	0,3828363	0,1227390	0,0020	
	Constante	-22,6674800	3,3117320		
LAL+MAXB	LAL	0,2305363	0,0792419	0,0040	0,3397
	MAXB	0,3925170	0,0960550	0,0000	
	Constante	-26,2653800	3,7155210		
LAL+CFH	LAL	0,2981856	0,0712440	0,0000	0,3469
	CFH	0,5317983	0,1257558	0,0000	
	Constante	-26,4728300	3,7362450		
LAW+MAXH	LAW	0,4548839	0,0839199	0,0000	0,3202
	MAXH	0,1732518	0,0620265	0,0050	
	Constante	-24,7054800	3,5526470		
LAW+DAFB	LAW	0,3700223	0,0986537	0,0000	0,3272
	DAFB	0,2994059	0,1092852	0,0060	
	Constante	-22,8435400	3,2045310		
LAW+DAFL	LAW	0,3892466	0,0889833	0,0000	0,3549
	DAFL	0,4013271	0,1086357	0,0000	
	Constante	-26,5230200	3,7427470		
LAW+MAXB	LAW	0,2054862	0,2466717	0,4050	0,3089
	MAXB	0,3684907	0,2460094	0,1340	
	Constante	-22,4151100	3,1949320		
LAW+CFH	LAW	0,3956677	0,0878620	0,0000	0,3605

	CFH	0,5023408	0,1313990	0,0000	
	Constante	-27,1429000	3,8210070		
MAXH+DAFB	MAXH	0,1580079	0,0623692	0,0110	0,2857
	DAFB	0,4532474	0,0937074	0,0000	
	Constante	-18,9809700	2,8309750		
MAXH+DAFL	MAXH	0,1584934	0,0621214	0,0110	0,2867
	DAFL	0,4945835	0,1032034	0,0000	
	Constante	-20,2208200	2,9954400		
MAXH+MAXB	MAXH	0,1432823	0,0635457	0,0240	0,3193
	MAXB	0,4636407	0,0865149	0,0000	
	Constante	-23,8414400	3,4410820		
MAXH+CFH	MAXH	0,1749190	0,0624421	0,0050	0,3058
	CFH	0,6379248	0,1250944	0,0000	
	Constante	-21,8275200	3,2037660		
DAFB+DAFL	DAFB	0,3676862	0,0989218	0,0000	0,3292
	DAFL	0,4003553	0,1068903	0,0000	
	Constante	-21,5630000	3,0029650		
DAFB+MAXB	DAFB	0,2975327	0,1106454	0,0070	0,3340
	MAXB	0,3811406	0,0989540	0,0000	
	Constante	-23,2228300	3,2694100		
DAFB+CFH	DAFB	0,3996038	0,0942142	0,0000	0,3494
	CFH	0,5401089	0,1262497	0,0000	
	Constante	-23,7717800	3,3272140		
DAFL+MAXB	DAFL	0,3744963	0,1105097	0,0010	0,3537
	MAXB	0,3910540	0,0911946	0,0000	

	Constante	-25,8313500	3,6373280		
DAFL+CFH	DAFL	0,4294723	0,1034674	0,0000	0,3466
	CFH	0,5161899	0,1264345	0,0000	
	Constante	-24,0922300	3,3275130		
MAXB+CFH	MAXB	0,4004691	0,0887370	0,0000	0,3633
	CFH	0,4906274	0,1331741	0,0000	
	Constante	-27,0579100	3,8240960		
MAXL+LAW+CFH	MAXL	0,1669087	0,0549317	0,002	0,3963
	LAW	0,2766080	0,0983461	0,005	
	CFH	0,3807643	0,1374129	0,006	
	Constante	-32,1854900	4,5570680		

Validación cruzada

En la Tabla 6 se observan los resultados de la validación cruzada de 27 de los 56 modelos previamente construidos, ya que se decidió excluir a aquellos modelos que, (1) incluían las variables MINB, BH o MAXH, ya que estas no alcanzaron un coeficiente de concordancia suficiente en la prueba de error y, por lo tanto, se considera que sus valores son poco confiables, y (2) tenían un p-valor superior 0.001 y un pseudo R^2 menor a 0.2, coincidiendo con los modelos que incluían las variables previamente indicadas.

De los 27 modelos restantes se destacan MAXB, MAXL+LAW, MAXL+MAXB, LAW+DAFL, DAFB+MAXB, DAFB+CFH y DAFL+MAXB, los cuales poseen entre un 80% y un 81% de precisión general. El resto de los modelos presentan un porcentaje de precisión general mayor al 75%, el cual, si bien es relativamente alto, no es ideal. También es importante señalar que en todos los modelos la sensibilidad obtuvo mayores valores que la especificidad.

Tabla 6. Validación modelos predictivos de sexo.

Modelo	Sensibilidad	Especificidad	Precisión General
MAXL	0,7963	0,7065	0,7550
LAL	0,7870	0,7283	0,7600
LAW	0,7778	0,7500	0,7650
DAFB	0,7963	0,7263	0,7650
DAFL	0,8056	0,7826	0,7950
MAXB	0,8333	0,7609	0,8000
CFH	0,7685	0,7391	0,7550
MAXL+LAW	0,8333	0,7717	0,8050
MAXL+DAFB	0,7963	0,7609	0,7800
MAXL+DAFL	0,8426	0,7283	0,7900
MAXL+MAXB	0,8333	0,7717	0,8050
MAXL+CFH	0,8056	0,7391	0,7750
LAL+LAW	0,8333	0,7283	0,7850
LAL+DAFB	0,8056	0,7391	0,7750
LAL+DAFL	0,7778	0,7609	0,7700
LAL+MAXB	0,8426	0,7283	0,7900
LAL+CFH	0,7963	0,7500	0,7750
LAW+DAFB	0,7870	0,7609	0,7750
LAW+DAFL	0,8241	0,7717	0,8000
LAW+CFH	0,7870	0,7500	0,7700
DAFB+DAFL	0,8056	0,7826	0,7950
DAFB+MAXB	0,8426	0,7717	0,8100
DAFB+CFH	0,8148	0,7826	0,8000

DAFL+MAXB	0,8333	0,7717	0,8050
DAFL+CFH	0,8148	0,7391	0,7800
MAXB+CFH	0,8148	0,7717	0,7950
MAXL+LAW+CFH	0,8333	0,7500	0,7900

Modelos propuestos

Como se señaló anteriormente, se descartaron algunos modelos por no cumplir con los parámetros establecidos como admisibles, quedando 27 en total. Otro parámetro importante es la diferencia entre el porcentaje de individuos femeninos y masculinos, el cual no debe superar el 10% establecido, que se observa en la diferencia entre sensibilidad y especificidad. Este parámetro se cumple en 24 de los modelos, siendo la excepción los modelos MAXL+DAFL, LAL+LAW, LAL+MAXB, por lo cual se descartaron. De los 24 modelos restantes, se descartaron algunos otros por no cumplir con un porcentaje de precisión general igual o mayor al 80% establecido como aceptable. Por otro lado, se observó que en los modelos de dos variables se alcanzó el porcentaje de acierto más alto, por lo que se descartó también el modelo de tres variables que había sido propuesto en este proyecto.

Además, se decidió eliminar los modelos MAXL+LAW y LAW+DAFL que, si bien cumplían con todos los parámetros recién mencionados, en la práctica, eran el duplicado de MAXL+MAXB y DAFL+MAXB. Esto último quedó en evidencia al momento de la toma muestra, pero se decidió no eliminarla inmediatamente para poner a prueba la variable desde la toma de medida, ya que las descripciones eran levemente distintas (y estaban propuestas por autoras diferentes), hasta el porcentaje de acierto que obtendrían. Con el desarrollo del trabajo se demostró que las diferencias eran mínimas en los estadísticos descriptivos e incluso en las regresiones logísticas, lo cual tuvo como consecuencia que en la validación cruzada se obtuvieran los mismos porcentajes de acierto, tanto de la sensibilidad y especificidad como de la precisión general. Ante esta evidencia se decidió someter a estas dos variables a la prueba de correlación de concordancia de Lin, asumiéndolas como la misma y obteniendo un valor de coeficiente de 0,96, el cual se considera un grado de concordancia importante.

Se decidió conservar MAXB por sobre LAW porque su definición al ser más sencilla disminuye la posibilidad de error, lo cual se puede comprobar al ver los resultados del error intra e inter observador (ver Tabla 1). En consecuencia, de los 27 modelos validados, se decidió conservar los cinco modelos que cumplían con el criterio de ser significativos, tener un porcentaje de diferencia entre sensibilidad y especificidad menor al 10%, y tener un porcentaje de acierto igual o mayor al 80%. En la tabla 7 se resumen los modelos propuestos para estimar sexo en calcáneo luego del proceso de descarte.

Tabla 7. Modelos propuestos para la estimación de sexo en población chilena a partir del calcáneo.

Modelo	Fórmula	Sensibilidad	Especificidad	Precisión General
MAXB	$-22,1062+0,5663218*MAXB$	83.33%	76.09%	80.00%
MAXL+MAXB	$-28,97002+0,19612*MAXL+0,3654243*MAXB$	83.33%	77.17%	80.50%
DAFB+MAXB	$-23,22283+0,2975327*DAFB+0,3811406*MAXB$	84.26%	77.17%	81.00%
DAFB+CFH	$-23,77178+0,3996038*DAFB+0,5401089*CFH$	81.48%	78.26%	80.00%
DAFL+MAXB	$-25,83135+0,3744963*DAFL+0,391054*MAXB$	83.33%	77.17%	80.50%

Discusión

Para el presente trabajo se elaboraron modelos estadísticos para la estimación de sexo en población chilena subactual a partir de regresiones logísticas utilizando variables osteométricas en calcáneo.

Al examinar detalladamente la relación entre la expresión del tamaño del calcáneo y el sexo documentado de los individuos de la población estudiada, podemos afirmar que existe una correspondencia entre los huesos de mayor tamaño y el sexo biológico masculino documentado. Si bien el calcáneo se caracteriza por ser un hueso muy variado tanto en morfología como en tamaño, es posible apreciar la existencia de dimorfismo sexual significativo (ver Fig. 5) y con altos porcentajes de precisión, tanto en población chilena como en diversas poblaciones en el mundo (Cekdemir et al., 2021; Peckmann et al., 2015; Kim et al., 2013; DiMichele, 2013; Zakaria et al., 2010; Bidmos & Asala, 2003; Bidmos & Asala, 2004; Gualdi-Russo, 2007; Riepert et al., 1996; Introna et al., 1997; Steele, 1976). Además, en todos los casos, se obtienen valores de la media mayores en el sexo masculino respecto al femenino, lo cual es consistente con la bibliografía anteriormente señalada. Como se señala en el Compendio de métodos antropológicos forenses: "casi todos los huesos y dientes demuestran diferencias del tamaño con valores más pequeños para las mujeres y mediciones más grandes para los hombres" (Krenzer, 2006, p. 16). Esto es consecuencia, como fue señalado anteriormente, del aumento de estrógenos en la pubertad de las mujeres, lo que determina la fusión precoz de las epífisis y por ende la detención del crecimiento de los huesos, en promedio uno o dos años antes que en los hombres (Bogin, 1999). Esta diferencia de tamaño, resultado de los distintos ritmos de crecimiento, se puede observar tanto en huesos largos como en huesos planos y vértebras (Ríos, 2002; Krenzer, 2006), permitiéndole a la disciplina generar metodologías antropométricas en la mayoría de los huesos, con precisiones especialmente alta en zonas articulares de los huesos largos como el fémur o el húmero,

con un 98% de precisión, o con más de un 80% para algunas vértebras, como el atlas con un 83,5% de precisión en población guatemalteca (Ríos, 2002).



Figura 5. Ejemplares de calcáneo con características extremadamente femeninas y masculinas respectivamente.

Esta investigación cumplió con los objetivos propuestos de caracterizar la colección y analizar la relación de tamaño y sexo en la muestra, para luego construir modelos predictivos de sexo que fueron validados posteriormente. Esto, nos permite plantear que el calcáneo podría, efectivamente, ser utilizado para la estimación de sexo en población chilena actual.

Al comparar la precisión general obtenida en el presente estudio con otros trabajos realizados alrededor del mundo podemos apreciar que, aunque no posee los porcentajes más altos de precisión, como el 96% en población turca (Cekdemir et al., 2021), el 92,6% en población egipcia (Zakaria et al., 2010) o el 92,1% en sudafricanos caucásicos (Bidmos & Asala, 2003), sí son similares a los de poblaciones como la alemana (Riepert et al., 1996) e italiana del norte (Gualdi-Russo, 2007) (ver Tabla 8).

Tabla 8. Comparación del porcentaje de precisión de estimación de sexo en calcáneo en diversas poblaciones.

Población	Método estadístico	Material	Precisión general
Turca (Cekdemir et al., 2021)	Regresión logística	Tomografía computarizada	96%
Egipcia (Zakaria et al., 2010)	Función discriminante	Rayos X	92,6%
Sudafricanos caucásicos (Bidmos y Asala, 2003)	Función discriminante	Hueso	92,1%
Estadounidenses (DiMichele et al., 2012)	Función discriminante	Hueso	86,69%
China (Zhang et al., 2008)	Función discriminante	Rayos X	86,4%
Sudafricanos afrodescendientes (Bidmos y Asala, 2004)	Función discriminante	Hueso	86,2%
Griega (Peckmann et al., 2015)	Función discriminante	Hueso	86%
Italianos del sur (Introna, 1997)	Función discriminante	Hueso	85%
Coreana (Kim et al., 2013)	Función discriminante	Hueso	84,6%
Italianos del norte (Gualdi-Russo, 2007)	Función discriminante	Hueso	82,6%
Chilena (presente estudio)	Regresión logística	Hueso	81%
Alemana (Riepert et al., 1996)	Función discriminante	Rayos X	80%

Con respecto a las metodologías utilizadas, podemos observar que se usan dos tipos de materiales principalmente: rayos X y análisis en hueso directamente, distintos tipos de variables, siendo la más común el largo máximo (MAXL); y dos tipos de análisis estadístico, siendo la función discriminante la más utilizada. Llama la atención que tanto la segunda investigación con mejor precisión (Zakaria et al., 2010) como la con peor

precisión (Riepert et al., 1996) hayan usado el mismo tipo de material, las mismas variables y la misma metodología estadística. Al revisar en detalle estas investigaciones, podemos observar que la diferencia se halla principalmente en la magnitud del dimorfismo sexual identificado, ya que la muestra egipcia (Zakaria et al., 2010) posee una diferencia de 11mm aproximadamente entre las medias de los individuos femeninos y masculinos para la variable MAXL, mientras que en la muestra alemana esta diferencia es solo de 7mm aproximadamente. De esta misma forma, se da una situación similar si comparamos las investigaciones en población sudafricana caucásica (Bidmos y Asala, 2003) y la coreana (Kim et al., 2013), que poseen tamaños muestrales similares, mismo tipo de material, variables similares y mismo método estadístico. La muestra sudafricana caucásica (Bidmos y Asala, 2003) que presenta un 92,2% de precisión general, posee una diferencia en las medias de los individuos femeninos y masculinos de 9mm aproximadamente para la variable MAXL, mientras que la muestra coreana, con un 84,6%, posee una diferencia de 7mm aproximadamente. Así mismo, al comparar los tipos de materiales, nos podemos percatar que, si bien los rayos X son muy útiles ya que permiten tener tamaños muestrales grandes y recientes, tiene la desventaja de no poder tomar medidas de ancho ni en la faceta articular, las cuales han demostrado tener alta precisión, tanto individualmente como en combinación con otras variables (DiMichele et al., 2012; Peckmann et al., 2015). Esto último fue resuelto en el trabajo de Cekdemir et al. (2021) en población turca, el cual presenta un 96% de precisión general y se caracteriza por, en primer lugar, haber usado una muestra más grande que el resto de las investigaciones con 489 individuos. En segundo lugar, por realizar las mediciones en imágenes de tomografía computarizada (TC), lo cual permite medir las mismas variables que en hueso, incluyendo aquellas variables de ancho y aquellas asociadas a las facetas. Y, en tercer lugar, por analizar los datos a través de regresiones logísticas, lo cual en su conjunto podría explicar los excelentes resultados obtenidos en comparación al resto de las investigaciones.

Por su parte, la muestra usada para este trabajo, aunque es dimórfica sexualmente, muestra una diferencia entre las medias por sexos para la variable MAXL de solo 6mm, siendo menor que en el resto de las muestras observadas. Aun así, en el presente trabajo se obtuvieron buenos resultados, siendo levemente mejores que los obtenidos en población alemana. Esto probablemente se debió a la utilización de variables que median el ancho del calcáneo y a que se optó por utilizar regresión logística, en vez de función discriminante. Esto es relevante ya que, como se mencionó anteriormente, la regresión logística permite calcular modelos robustos exigiéndole pocos requisitos a los datos y sin asumir una relación lineal entre las variables independientes y la variable dependiente. Se ha observado en estudios que al comparan los resultados obtenidos con regresiones logísticas y funciones discriminantes lineales, las primeras demuestran un mejor ajuste y un mayor poder de predicción de los modelos, bajo las mismas circunstancias (Maldonado, 2020). Y, si bien, podemos afirmar que la regresión logística presenta un incremento en la proporción de acierto en comparación a las funciones discriminantes lineales, este no es de gran magnitud (Maldonado, 2020).

Por otro lado, al comparar la precisión de este estudio con otros similares dentro de la misma población, pero en diferentes piezas óseas, podemos observar que, si bien no alcanza porcentajes tan altos como los obtenidos en los trabajos de Marambio Vásquez (2017) en clavícula, con un 93,1%, y Carvallo (2018) en fémur, con un 95,7%, logra obtener una mejor precisión que aquellos estudios de estimación de sexo en primeros molares maxilares a través del análisis odontométrico de modelos 3D (Carquin, 2021) y en segundos molares maxilares y caninos utilizando morfometría geométrica en modelos 3D (Millán, 2020; Rodríguez, 2017), los cuales obtuvieron una precisión de entre un 60,6% y un 77,4%.

Como se expuso anteriormente, en este trabajo se propusieron modelos tanto univariados como multivariados, de los cuales fueron significativos solo un univariado y cuatro multivariados (o bivariados). Si bien, los modelos multivariados permiten recolectar más caracteres de dimorfismo sexual y, por lo tanto, reportan un mejor acierto, los modelos univariados pueden ser útiles en contextos donde el hueso está fragmentado o alterado tafonómicamente y no se pueda tomar más de una medida (Scott, 2017; Peckmann et al., 2015). Sin embargo, la investigación hecha por Steele (1976) concluyó que las medidas individuales tienen poco valor práctico para la estimación de sexo debido a la gran superposición de rangos entre sexos.

Todos los modelos propuestos en este trabajo alcanzaron mayores porcentajes de acierto en individuos masculinos que en los femeninos, lo cual se puede observar también en los modelos descartados. La causa más probable de esto es la expresión misma del dimorfismo sexual evaluado. En general, suele haber más individuos femeninos de apariencia masculina que individuos masculinos de apariencia femenina (du Jardin et al., 2009) (Ver Fig. 6 y 7).



Figura 6. Ejemplar de calcáneo con características femeninas.



Figura 7. Ejemplar de calcáneo con características masculinas.

Por otro lado, que en la validación cruzada se haya obtenido una sensibilidad y especificidad con valores similares (ver Tabla 6) es indicativo de un modelo poco sesgado en favor de uno u otro sexo. Todos los modelos propuestos poseen un bajo sesgo por sexo, que no supera el 7,24% de diferencia de acierto entre ambos sexos.

Con respecto a la precisión general, todos los modelos obtuvieron un porcentaje similar de entre el 80% y 81%. Si bien este es un buen resultado, y demuestra que el calcáneo puede ser usado como un estimador de sexo confiable, debe usarse con precaución y siempre en conjunto con otros estimadores para aumentar el porcentaje de acierto.

En este trabajo se pudo observar que, en términos generales, la medida del largo y ancho del calcáneo contribuye más a la estimación de sexo que la altura, obteniendo solo un modelo que contiene una variable de altura (CFH). Esto concuerda con lo reportado en la literatura (Peckmann et al., 2015; Bidmos & Asala, 2003; Bidmos & Asala, 2004; Gualdi-Russo, 2007). Por otro lado, Bidmos & Asala (2003) y Wilbur (1998) sugieren que las medidas más precisas en el calcáneo son aquellas que incluyen facetas articulares. Esto coincide con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que tres de los cinco modelos incluyen una medida, ya sea del ancho o largo, de la faceta posterior con el astrágalo. Cabe destacar que la medida CFH si bien es una variable de altura, es también la faceta articular con el cuboides.

Una de las razones que llevaron al porqué de la realización de esta investigación es que existen diferencias poblacionales reportadas en la bibliografía para la estimación de sexo (Peckmann, et al. 2015; Kim et al., 2013), por lo que es necesario que los métodos propuestos se usen en su contexto y que, a la vez, se pueda adaptar la metodología a otras poblaciones.

El dimorfismo sexual, como se señaló anteriormente, es específico de cada población debido a que está determinado tanto por la composición genética como por las condiciones ambientales de cada grupo humano (Christensen et al., 2014; Clark, 1988; Dirkmaat, 2012; Garvin et al., 2014; Iscan & Stein, 2013; Pickering & Bachman, 2009; Stinson, 1985). Esto ha sido demostrado por diversos autores utilizando variados huesos para evaluar dichas diferencias (Clavero et al., 2015; Curate et al., 2016; Frutos, 2003; Guyomarc'h et al., 2016; Longe, 2015). En el caso específico del calcáneo, esto queda muy bien graficado en los trabajos de Introna (1997) y Gualdi-Russo (2007) quienes estudiaron poblaciones del mismo país (italianos del sur y del norte respectivamente). En el trabajo de Gualdi-Russo (2007) se extrajo una función para estimación de sexo de la aplicación de análisis de función discriminante, la cual obtuvo porcentajes de acierto por sobre 87,9% para población italiana del norte. Posterior a esto, el autor aplicó esta función a la población de italianos del sur estudiados por Introna (1997) con el fin de poner a prueba la metodología en una población geográficamente cercana, obteniendo como resultado un 64,7% de precisión general y 31,2% de precisión para estimar sexo masculino, considerándose inadecuado y altamente sesgado hacia un sexo. En la investigación, el autor señala que esto se debe a que la composición poblacional entre ambas zonas geográficas es distinta, siendo los italianos del sur más pequeños que los del norte debido a su ascendencia mediterránea (Gualdi-Russo, 2007).

De la misma manera y para ejemplificar con casos más extremos, si comparamos la media de la muestra del estudio de Zhang (2008), compuesta por población china, con la media de la muestra del estudio de Riepert (1996), compuesta por población alemana, y utilizando ambas investigaciones rayos X y poblaciones actuales, podemos observar que las diferencias son significativas. Para la población china la media del largo máximo (MAXL) fue de 71,94mm para los hombres y 65,28mm para las mujeres, mientras que en la población alemana fue de 89,8mm para los hombres y 75,5mm para las mujeres. Como podemos observar, en este caso, la media de las mujeres alemanas supera la media de los hombres chinos, por lo que se hace evidente que no es posible utilizar la misma función en ambas poblaciones para estimar sexo. Esta especificidad geográfica que se da en la expresión del dimorfismo sexual resulta relevante para los países latinoamericanos, ya que a pesar de que se suelen categorizar tradicionalmente como un grupo homogéneo, las diferencias poblacionales dentro de la región pueden llegar a ser extensas (O'Bright, Peckmann & Meek, 2018).

Limitaciones

Considerando lo anterior, es importante destacar que la muestra que se utilizó corresponde a individuos fallecidos entre 1950 y 1973 en Chile. Debido a que los modelos fueron construidos en base a una muestra subactual en población chilena (Colección Cementerio General), su aplicabilidad se podría ver reducida a casos forenses en población chilena moderna. Aun así, estos modelos pueden ser de utilidad tanto para restos arqueológicos como para restos forenses más recientes en ausencia de metodologías más específicas temporalmente, ya que si bien existen estudios que sugieren un aumento significativo en la estatura de los hombres en las últimas décadas y por consiguiente en el dimorfismo sexual (Burrows et al., 2010), aun es necesario evaluar si estas diferencias se dan en todo el país y si afectan la precisión de las metodologías utilizadas en nuestra disciplina.

Por otro lado, una limitante de este estudio con restos óseos fueron las alteraciones tafonómicas. Si bien al momento de plantear esta investigación y escoger la pieza ósea a utilizar se le dio gran importancia a la densidad del propio hueso con el fin de aminorar dicha problemática, se pudo observar durante la toma de medidas que hay partes del hueso que son más frágiles que otras. Esto es debido a que el hueso cortical es muy delgado y rápidamente se puede ver expuesta la trabécula luego del proceso de alteración tafonómica. Se pudo observar que el cuerpo y la tuberosidad del calcáneo se mostraban alterados, sobre todo hacia lateral (Fig. 8 y 9), lo cual dificultó la toma de medidas, especialmente de BH, MINB y MAXH. Otra zona en la que se observó altos índices de alteración fue la faceta articular del cuboides, pero esta no fue ni tan extensa ni tan grave, por lo que no afectó tanto la toma de muestras.



Figura 8. Ejemplares de calcáneo con alteraciones tafonómicas hacia posterior y principalmente por lateral.



Figura 9. Ejemplar de calcáneo con alteración tafonómica por lateral.

Conclusiones

Los resultados de esta memoria demostraron que existe dimorfismo sexual significativo y que es posible estimar sexo a partir de calcáneo con tasas de precisión aceptables (por sobre el 80%). También se evidenció que usar combinaciones de variables es más preciso que usar variables individuales, pero, de la misma forma, más de dos variables disminuyen la precisión. De los modelos propuestos, las ecuaciones univariadas alcanzaron un 80% de acierto, mientras que las ecuaciones multivariadas lograron un 81%, reportando un bajo sesgo por sexo en ambos casos. Se considera que las variables que mejor pueden estimar sexo son aquellas medidas de ancho y aquellas que se encuentran en zonas articulares.

Una limitante corresponde a la incidencia de las alteraciones tafonómicas en el calcáneo, ya que se observó que algunas partes del hueso se conservan mejor que otras, lo que tuvo como consecuencia que no todas las medidas hayan podido ser evaluadas correctamente.

Este estudio corresponde a la primera metodología en calcáneo para población chilena y tiene el potencial de ser aplicada en contextos temporalmente diversos con la validación adecuada, e idealmente con metodologías complementarias. Esto, debido a que otra de las limitantes presentes, que también puede ser considerada una de sus motivaciones, tiene que ver con lo específica que es la metodología, tanto temporalmente

como geográficamente, ya que se ha demostrado que corresponde a una metodología población-específica. Por lo mismo, es importante promover futuras investigaciones que busquen adaptar metodologías de estimación de perfil biológico que sean aplicables a población chilena actual, tanto para este como para otros elementos esqueléticos. Además, hay que considerar la posibilidad de trabajar con poblaciones vivas a través de tomografías o rayos X, y adaptar metodologías para poblaciones arqueológicas.

El presente estudio podría proporcionar datos útiles para el trabajo antropológico forense chileno asociado a casos de violaciones de DDHH y eventos de muertes masivas, cometidas durante la dictadura cívico-militar (1973-1989), debido a las características contextuales de la muestra estudiada y a que aportan una nueva metodología de estimación de sexo para población chilena subactual basada en calcáneo.

Bibliografía

- Abarca, V., (2011). *Efectos de la nutrición sobre el Dimorfismo Sexual expresado en la Estatura (SSD) de una muestra de población chilena Subactual*. Memoria para optar al Título Profesional de Antropóloga Física. Universidad de Chile, Santiago.
- Albanese, J. (2003). A Metric Method for Sex Determination Using the Hipbone and the Femur. *Journal of Forensic Sciences*, 48 (2), 263-273
- Albanese, J., Eklics, G., & Tuck, A. (2008). A Metric Method for Sex Determination Using the Proximal Femur and Fragmentary Hipbone. *Journal of Forensic Sciences*, 53 (6), 1283-1288
- Antona, A., Pérez, S., González, A., Rodríguez, A., Peréz, J. & Robles, F. (2001). Limitaciones en la aplicación de las fórmulas discriminantes del astrágalo y del calcáneo para la determinación del sexo. *VI Congreso Nacional de Paleopatología*. Madrid.
- Aranguren, J. & León, J. (2020). De la pasión por el hueso al dolor de los demás: la experiencia de profesionales en antropología forense ante la desaparición forzada de personas en Colombia. *Sociología y Tecnología*, 10(1) 72-93.
- Berkhoff, K. (2017). Bykivnia: cómo ladrones de tumbas, activistas y extranjeros terminaron con el silencio oficial sobre las fosas comunes de Stalin cerca de Kiev. En S. Garibian, É. Anstett, y J-M. Dreyfus (Eds.), *Restos humanos e identificación: Violencia de masa, genocidio y el "giro forense"*, 59- 82. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Bidmos, M. & Asala, S., (2003). Discriminant function sexing of the calcaneus of the South African whites. *Journal of Forensic Sciences*. 48(6), 1213–1218.
- Bidmos, M., & Asala, S., (2004). Sexual dimorphism of the calcaneus of South African blacks. *Journal of Forensic Sciences*. 49(3), 446–450.
- Bitiutckii, V. (2017). Secretos de Estado y ocultamiento de cuerpos: exhumaciones de víctimas de la era soviética en la Rusia contemporánea. En S. Garibian, É. Anstett, y J-M. Dreyfus (Eds.), *Restos humanos e identificación: Violencia de masa, genocidio y el "giro forense"*, 97- 115. Buenos Aires: Miño y Dávila
- Black, S., & Ferguson, E. (2011). *Forensic Anthropology 2000 to 2010*. Boca Ratón: CRC Press.
- Bogin, B. (1999): *Pattern of human growth*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Buikstra, J., & Ubelaker, D. (1994). *Standards for data collection from human skeletal remains*. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey Research Series No. 44.
- Bunning, P. S. C. (1964). Some observations on the West African calcaneus and the associated talo-calcaneal interosseous ligamentous apparatus. *American Journal of Physical Anthropology*, 22(4), 467–472.
- Burrows, R., Ceballos, X., Burgueño, M., & Muzzo, S. (2010). Tendencia del desarrollo puberal en escolares de la Región Metropolitana de Chile: Menor edad de presentación, mayor duración y dimorfismo sexual en la estatura. *Revista Médica de Chile*, 138, 61-67.
- Cáceres I. (2004). Antropología Forense en Chile. *V Congreso Chileno de Antropología*. Colegio de Antropólogos de Chile A. G, San Felipe.
- Carquin, G. (2021). *Estimación de sexo en población chilena a través de mediciones del primer molar del maxilar*. Memoria para optar al título de Antropóloga Física.
- Carvallo, D. (2018). *Estimación de sexo en población chilena moderna a partir del fémur proximal*. Memoria para obtener el Título de Antropólogo con especialidad en Antropología Física. Santiago. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173947>
- Casallas, D. & Padilla, J. (2004). Antropología Forense en el conflicto armado en el contexto latinoamericano. Estudio comparativo Argentina, Guatemala, Perú y Colombia. *Maguaré* 18, 293-31.
- Cekdemir, Y., Mutlu, U., Karaman, G., Balci, A. (2021). Evaluation of computed tomography images of calcaneus for estimation of sex. *La radiología médica*. 126(8):1064-1073. doi: 10.1007/s11547-021-01363-7. Epub 2021 May 10. PMID: 33970398.
- Christensen, A. M., Passalacqua, N. V., & Bartelink, E. J. (2014). *Forensic Anthropology. Current Methods and Practice*. Oxford: Elsevier.
- Clavero, A., Salicrú, M. & Turbón, D. (2015). Sex prediction from the femur and hip bone using a sample of CT images from a Spanish population. *International Journal of Legal Medicine*, 129, 373-383.
- Clark, G. A. (1988). New Method for Assessing Changes in Growth and Sexual Dimorphism in Paleoepidemiology. *American Journal of Physical Anthropology* 77, 105-116.

- Curate, F., Coelho, J., Gonçalves, D., Coelho, C., Ferreira, M., Navega, D., & Cunha, E. (2016). A Method for Sex Estimation Using the Proximal Femur. *Forensic Science International*, 266, 579.e1–579.e7
- Dabbs, G., & Moore-Jansen, P. (2010). A Method for Estimating Sex Using Metric Analysis of the Scapula. *Journal of Forensic Sciences*, 55(1), 149-152.
- DiMichele D. & Spradley M. (2012). Sex estimation in a modern American osteological sample using a discriminant function analysis from the calcaneus. *Forensic Science International*, 221 (1-3), 152.e1-152.e5.
- Dirkmaat, D. C. (2012). *A Companion to Forensic Anthropology*. Chichester: Wiley Blackwell.
- du Jardin, P., Ponsaille, J., Alunni-Perret, V., & Quatrehomme, G. (2009). A comparison between neural network and other metric methods to determine sex from the upper femur in a modern French population. *Forensic Science International*, 192, 127.e1–127.e6.
- Dutrénit, S. (2017). Arribo a destino, anclaje...y después. En Dutrénit, S., *Perforando la impunidad. Historia reciente de los equipos de antropología forense en América Latina*, 364 – 382. México: Instituto Mora.
- Fairbairn, D. (2007): Introduction: the enigma of sexual size dimorphism. En Fairbairn, D.J., Blanckenhorn, W.U. & Szekely, T. (eds): *Sex, size and gender roles: evolutionary studies on size dimorphism*. Oxford University Press, Oxford, 1–10.
- Ferembach D., Schwidetzky I., & Stoukal M. (1980) Recommendations for age and sex diagnosis of skeletons. *Journal of Human Evolution* 9, 517-549.
- Ferrándiz, F. (2014). El pasado bajo tierra. *Exhumaciones contemporáneas de la Guerra Civil*. Barcelona: Anthropos Editorial.
- Fowler, G., & Hughes, C. (2017). Development and Assessment of Postcranial Sex Estimation Methods for a Guatemalan Population. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 490–496
- Frutos, L. (2003). Brief Communication: Sex Determination Accuracy of the Minimum Supero-Inferior Femoral Neck Diameter in a Contemporary Rural Guatemalan Population. *American Journal of Physical Anthropology*, 122, 123-126.
- Garrido-Varas, C., Thompson, T., & Campbell, A. (2014). Parámetros Métricos para la Determinación de Sexo en Restos Esqueletales Chilenos Modernos. *Chungará*, 46(2), 285-293.

- Garvin, H. M., Sholts, S.B, & Mosca, L. A. (2014). Sexual Dimorphism in Human Cranial Trait Scores: Effects of Population, Age, and Body Size. *American Journal of Physical Anthropology*. 00, 00-00
- Gualdi-Russo, E. (2007). Sex determination from the talus and calcaneus measurements, *Forensic Science International*, 171, 151–156.
- Gustafson, A. & Lindenfors, P. (2004). Human size evolution: no evolutionary allometric relationship between male and female. *Journal of Human Evolution*, 47, 253–266
- Guyomarc'h, P., Velemínská, J., Sedlak, P., Dobisíková, M., Švenkrťová, I. y Brůžek, J. (2016). Impact of secular trends on sex assessment evaluated through femoral dimensions of the Czech population. *Forensic Science International*, 262, 284.e1-284.e6.
- Holden, C. & Mace, R. (1999). Sexual dimorphism in stature and women's work: a phylogenetic cross-cultural analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 110, 27–45.
- Hosmer, D., Lemeshow, S. & Sturdivant, R. (2013). *Applied Logistic Regression*. Hoboken: Wiley.
- Hyeoun-Ae, P. (2013). An Introduction to Logistic Regression: From Basic Concepts to Interpretation with Particular Attention to Nursing Domain. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 43 (2), 154-164.
- Introna, F., Di Vella, G., Campobasso, C.P., & Dragone, M. (1997). Sex estimation by discriminant analysis of calcanei measurements, *Journal of Forensic Sciences* 42, 725–728.
- Işcan, M. Y., & Steyn, M. (2013). *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Springfield: Charles C Thomas Publisher Ltd.
- Janaway, R. (2008) The decomposition of materials associated with buried cadavers. En Tibbet, M. & Carter, D.O. (eds.), *Soil Analysis in forensic taphonomy: Chemical and biological effects of buried human remains*, 149-198. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Jimenez, C. & Denis E. (2018). La antropología forense estadounidense y su influencia en Latinoamérica. *Revista Mexicana de Medicina Forense*, 3(1), 55-67.
- Kim, D., Kim,Y, Lee, U., & Han, S. (2013). Sex determination from calcaneus in Korean using discriminant analysis, *Forensic Science International*, 228, 177 (e1-e7).
- Kirchengast, S., (2014). Human sexual dimorphism – a sex and gender perspective. *Anthropologischer Anzeiger*, 71/ (1–2), 123–133.

- Kleinbaum, D. & Klein, M. (2010). *Logistic Regression. A Self-Learning Text*. New York: Springer.
- Krenzer, U. (2006). Métodos para la determinación del sexo. En Krenzer, U., *Compendio de Métodos Antropológico Forenses para la Reconstrucción del Perfil Osteobiológico*. Ciudad de Guatemala: CAFCA.
- Lachenbruch, P., & Goldstein, M. (1979). Discriminant Analysis: Perspectives in Biometry. *International Biometric Society*, 35(1), 69-85.
- Llanos, L.F., & Martín, C. (2005). Biomecánica del calcáneo. *Revista de Ortopedia y Traumatología*, 49(1), 61-68.
- Lin, L. I-K (1989). A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics*, 45, 255-268.
- Longe, S. (2015). *Sex Estimation in Forensic Anthropology Using the Radius, Femur, And Scapula*. Honors Thesis. Texas State University.
- Maldonado, E. (2020). *Evaluación del dimorfismo sexual a partir de variables métricas de cráneo y postcráneo mediante un análisis de regresión logística binaria y análisis de funciones discriminantes en una población subactual de Santiago, Chile*. Memoria para optar al Título de Antropóloga Física. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175431>
- Marambio Vásquez, P. (2017). *Determinación del Sexo a través de Variables Métricas de Clavícula en Osamentas Humanas: Aplicación de técnicas de regresión Logit y MARS*. Tesis para optar al Grado Académico de Magíster en Bioestadística. Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180997>
- Martin, F.M. (2002). *Carnívoros y huesos humanos de Fuego-Patagonia: Aportes desde la Tafonomía Forense*. Tesis para la obtención del título Licenciatura de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Antropológicas.
- Millán, D. (2020). *Estimación de sexo a partir de la forma del segundo molar superior en una muestra de individuos adultos de colecciones osteológicas del Cementerio General de Santiago, utilizando morfometría geométrica*. Memoria para optar al título de Antropóloga Física. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179573>
- Murphy, A. (2002). The calcaneus: sex assessment of prehistoric New Zealand Polynesian skeletal remains, *Forensic Science International*, 129, 205-208.

- O'Bright, L., Peckmann, T. & Meek, S. (2018). Is "Latin American" population-specific? Testing sex discriminant functions from the Mexican tibia on a Chilean sample. *Forensic Science International*, 287, 223.e1-e7.
- Oliva R. (2008). *Genética Médica*. 6a Edición. Barcelona: Editorial Médica Panamericana, 162-188.
- Peckmann, T., Orr, K., Meek, S. & Manolis, S. (2015). Sex determination from the calcaneus in a 20th century Greek population using discriminant function analysis. *Science and Justice*, 55(6), 377-82.
- Peckmann, T., Logar, C., Garridos-Varas, C., Meek, S., & Toledo, X. (2016). Sex determination using the mesio-distal dimension of permanent maxillary incisors and canines in a modern Chilean population. *Science and Justice*, 56(2), 84-89.
- Phenice, T. (1969). A newly developed visual method of sexing the Os Pubis. *American Journal of Physical Anthropology*, 30(2), 297-302.
- Pickering, R. & Bachman, D. (2009). *The Use of Forensic Anthropology*. Boca Raton: CRC Press.
- Plavcan, J. (2001). Sexual Dimorphism in Primate Evolution. *American journal of physical anthropology*, 33, 25-53. Doi: 10.1002/ajpa.10011.
- Prieto J. (2008). La Antropología Forense en España desde la perspectiva de la medicina forense. *Cuadernos de Medicina Forense* 14(53-54):189-200.
- Riepert, T., Drechsler, T., Schild, H., Nafe, B., & Mattern, R. (1996). Estimation of sex on the basis of radiographs of the calcaneus. *Forensic Science International*, 77, 133–140.
- Rigby, N., & Kulathinal, R. (2015). Genetic Architecture of Sexual Dimorphism in Humans. *Journal of Cellular Physiology* 230, 2304-2310.
- Ríos Frutos, L. (2002). Determination of sex from the clavicle and scapula in a Guatemalan contemporary rural indigenous population. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 23(3), 284-288
- Rodríguez, F. (2017). *Dimorfismo Sexual del Diente Canino en Población Santiaguina Actual aplicando Morfometría Geométrica*. Memoria para optar al título de Antropólogo Físico. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152568>
- Rodríguez-Cuenca, J., (2004). *Introducción a la antropología forense, análisis e interpretación de restos óseos humanos*. Editorial Anaconda. Bogotá.
- Ross, A. & Manneschi, M. (2010). New identification criteria for the Chilean population: Estimation of sex and stature. *Forensic Science International*, 204(1-3), 206.e1-3.

- Scott, S., Ruengdit, S., Peckmann, T., Mahakkanukrauh, P. (2017). Sex estimation from measurements of the calcaneus: Applications for personal identification in Thailand. *Forensic Science International*, 278, 405.e1-405.e8.
- Söder, O. (2007). Sexual dimorphism of gonadal development. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*, 21(3), 381–391.
- Spradley, K., Jantz, R., Robinson, A., & Peccerelli, F. (2008). Demographic Change and Forensic Identification: Problems in Metric Identification of Hispanic Skeletons. *Journal of Forensic Sciences*, 53(1), 21-28.
- Spradley, M., & Jantz, R. (2011). Sex estimation in forensic anthropology: skull versus postcranial elements. *Journal of Forensic Sciences*, 56(2), 289–296.
- Steele, D.G. (1976). The estimation of sex on the basis of the talus and calcaneus. *American Journal of Physical Anthropology*, 45(3), 581–588.
- Stewart, T. D. (1979). *Essentials of Forensic Anthropology*. Chales C. Thomas ed, Springfield, IL.
- Stinson, S. (1985), Sex differences in environmental sensitivity during growth and development. *Yearbook of Physical Anthropology*, 28, 123–147.
- Wagner, S. (2008). *To know where he lies: DNA technology and the search for Sreberenica's missing*. Los Angeles: University of California Press.
- Wells, L. H. (1931). The foot of the South African native. *American Journal of Physical Anthropology*, 15(2), 185–289.
- Wilbur, A.K. (1998). The utility of hand and foot bones for the estimation of sex and the estimation of stature in a prehistoric population from West-Central Illinois. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8, 180–191.
- Williams, R., Elliott, J., Orizaga Samperio, J., & Díaz Zagoya, J. (1990). *Bioquímica dental básica y aplicada*. México: El Manual Moderno.
- Zakaria M., Mohammed A., Habib S., Hanna M., & Fahiem A. (2010). Calcaneus radiograph as a diagnostic tool for sexual dimorphism in Egyptians. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 17(7), 378-382.
- Zhang, Z.H., Chen, X.G., Li, W.K., Yang, S.Q., Deng, Z.H., Yu, J.Q., Yang, Z.G., Huang, L. (2008). Sex determination by discriminant analysis of calcaneal measurements on the lateral digital radiography, *Fa Yi Xue Za Zhi*, 24, 122–125.