



UNIVERSIDAD DE CHILE

Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Sociales



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 Profesional de Antropóloga Física

DANIELA MILLÁN FLORES

Resumen: Si bien la variación morfológica entre sexos en los dientes ha fomentado su estudio como método de estimación de sexo no existe consenso en la significancia de su dimorfismo sexual. Múltiples estudios han evaluado distintas muestras poblacionales para la estimación de sexo utilizando la variación del tamaño como principal indicador, siendo escasos aquellos en torno a la variación métrica de la forma. En esta investigación se caracterizaron las diferencias de forma entre sexos del segundo molar superior en 56 individuos de Colecciones del Cementerio General de Santiago. El PCA señaló que las principales diferencias en la variación de la forma fueron que el grupo femenino presentó una mayor variación de la altura de las cúspides, en tanto que el grupo masculino se caracterizó por una variación en la compresión mesiodistal generalizada. El análisis discriminante señaló primeramente que, para la diferencia entre medias $p > \alpha$, y en cuanto a la discriminación entre sexos solo 76 a un 77,4% de la muestra fueron clasificados correctamente, cifras que disminuyen al realizar la validación cruzada. Finalmente, se concluye que la matriz de vectores que describe la forma del segundo molar superior de las colecciones estudiadas no muestra una distinción significativa entre los sexos.

Palabras clave: antropología dental, antropología forense, dimorfismo sexual, perfil biológico, Chile.

Profesora guía:

Miriam Pérez de los Ríos

Profesora tutora:

Sandra López Lázaro

Santiago de Chile, 2020

*A mi abuelo Héctor y a mi abuela Teresa,
Quiénes me enseñaron el valor de la memoria.
Por siempre agradecida de la oportunidad de esta aventura.*

Agradecimientos

Al equipo de profesoras que han estado apoyando y trabajando junto con esta investigación, Miriam y Sandra, soy muy afortunada de haber tenido la oportunidad de trabajar junto con ustedes. Siento una enorme gratitud por todos los buenos momentos compartidos cuando fui estudiante, ayudante y tesista de ustedes. Muchísimas gracias por todo el tiempo, la dedicación y todo lo enseñado.

A Stefano De Luca, por presentarme a Sandra y su investigación, y por la buena disposición a ser de ayuda para materias académicas que tiene siempre.

A las curadoras de la Colección Osteológica Subactual de Santiago, por permitirme ocupar la Colección para este trabajo.

A la Unidad de Derechos Humanos del Servicio Médico Legal, con quiénes tuve la suerte de realizar mi práctica profesional y más tarde, me dieron la oportunidad de trabajar con la Colección Osteológica de Docencia de la Unidad.

Al profesor Germán Manríquez por haber facilitado el equipo de escáner para la realización de esta tesis.

A mi familia querida, quiénes han sido un apoyo basal todo este tiempo, gracias por creer en mí y darme motivación para seguir hasta el final.

A mis amigos de la infancia, Magdalena, Paola e Iván gracias por estar ahí incondicionalmente.

Y finalmente, a la familia de amigos que me dio la U, Maxi, Lisette, Casandra, Sofía, Cata y todas las niñas... Gracias por todo el cariño. Ustedes hicieron de estos seis años una experiencia hermosa.

Índice

I.	Introducción	5
II.	Antecedentes	6
	i. Identificación humana	6
	ii. Utilidad de los dientes en antropología forense	7
	iii. Estimación de sexo a través de los dientes: odontometría y morfometría geométrica.....	8
III.	Marco Teórico	12
	i. Antropología forense.....	12
	ii. Estimación de sexo y dimorfismo sexual.....	13
	iii. Antropología dental	13
IV.	Planteamiento del problema de investigación	14
V.	Pregunta de investigación	14
VI.	Objetivos	15
	i. Objetivo General	15
	ii. Objetivos Específicos	15
VII.	Hipótesis	15
VIII.	Materiales y métodos	15
	i. Materiales.....	15
	a. Colecciones Osteológicas del Cementerio General de Santiago.....	15
	b. Selección de la muestra dental	16
	c. Muestreo.....	17
	d. Registro de individuos.....	17
	ii. Metodología: Morfometría Geométrica.....	17
	a. Obtención de datos.....	18
	b. Evaluación de error.....	19
	c. Obtención de la información que describe la forma	20
	d. Análisis estadístico	21
IX.	Resultados	21
	i. Evaluación del error intra e inter observador	22
	ii. Caracterización de la variabilidad intra-sexual de la forma del segundo molar superior.....	22
	iii. Discriminación de sexo en la muestra.....	28
X.	Discusión	33
XI.	Conclusiones	36
XIII.	Bibliografía	37

I. Introducción

La antropología forense es una disciplina que busca aproximarse a la reconstrucción de parámetros biológicos y cronológicos de un individuo asociado a temas de jurisprudencia medicolegal o violaciones a los DDHH, así como a las circunstancias y alteraciones físicas que rodean su muerte (Dirkmaat et al., 2008).

En este ámbito, existe una constante necesidad de actualizar las metodologías utilizadas (Steyn e Işcan, 2008), procurando que estas representen mejoras a las ya existentes en cuanto a su confiabilidad, validez, y baja tasa de error (Ousley y Hollinger, 2012), para cumplir con las exigencias establecidas con los criterios de *Daubert*¹ para la investigación forense (Fradella et al., 2004).

En las últimas décadas, se ha comenzado a integrar la utilización de los métodos de la morfometría geométrica en el área forense, específicamente en el estudio del dimorfismo sexual de estructuras óseas como el cráneo y la mandíbula (Kimmerle et al., 2008; Buck y Vidarsdottir, 2004) la escotadura ciática mayor y el complejo isquiopúbico (González et al., 2009), el húmero (Kranioti et al., 2009), y más recientemente en los dientes (López-Lázaro, 2015; López-Lázaro et al., 2018; Rodríguez, 2017; Polychronis et al., 2013; Yong et al., 2018).

El empleo de la dentición humana en los métodos de estimación de sexo en el área forense es una rama en desarrollo, sostenida por la presencia de dimorfismo sexual en la base molecular de la formación dental (Alvesalo, 1997). El estudio de estas estructuras en antropología forense se beneficia de su buena preservación en los distintos contextos depositacionales (Hillson, 1996), propiciada por las características particulares de los dientes: alta dureza, densidad y calcificación, otorgadas por su alta proporción de materia inorgánica tanto en el esmalte como la dentina (Kelley y Larsen, 1991).

Las investigaciones que indagan en el dimorfismo sexual de la dentición comenzaron estudiando la variación del tamaño entre sexos a través de la odontometría (Angadi et al., 2013; Garn et al., 1967; Peckmann et al., 2016; Suazo et al., 2008; Viciano et al., 2013; Zadzíńska et al., 2008), pero poco se conoce sobre el potencial valor de la forma dental para discriminar entre sexos (López-Lázaro, 2015; López-Lázaro et al., 2018; Rodríguez, 2017; Polychronis et al., 2013; Yong et al., 2018). El presente proyecto de investigación se enmarca en el FONDECYT 11160487 de Iniciación en investigación: “Estimación del sexo en dentición humana mediante técnicas odontométricas y morfogeométricas. Análisis de modelos 3D de poblaciones chilena y española y su aplicabilidad en el contexto forense” (CONICYT, 2016) dentro del cual, se busca indagar en las diferencias entre sexos de la forma de los segundos molares superiores, en una muestra de individuos adultos de la Colecciones Osteológicas del Cementerio General de Santiago usando técnicas morfogeométricas, considerando su potencial utilidad para la antropología forense.

¹ United States Supreme Court in *Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals Inc.*, 509 U.S. 579 (1993)

II. Antecedentes

i. Identificación humana

La antropología forense tiene como uno de sus principales fines la identificación de restos humanos (Stewart, 1979). Los procedimientos básicos para aproximarse a la identidad de un individuo parten del estudio de lo que se ha llamado en antropología biológica “el perfil biológico”: estimación de ancestría, edad, estatura y sexo (Christensen et al., 2014). Posteriormente, se detallan las características individualizantes que permitan realizar comparaciones entre posibles identidades (Steyn e Işcan, 2013).

La estimación de ancestría en antropología física suele referirse a la asociación de los ancestros biológicos de un individuo a una región geográfica (Bolnick, 2008). Este concepto fue acuñado en la disciplina luego del debate del uso del concepto “raza” en población humana (ibíd.) principalmente por sus implicancias socioculturales, dado que el origen del concepto se enraíza en el imperialismo y colonialismo europeo del siglo XV, y su trayectoria en la historia estuvo fuertemente asociada al racismo (Goodman et al., 2019). Sin embargo, si bien esta disciplina ha buscado diferenciar el concepto de ancestría del de raza, en la práctica la distribución geográfica asociada a continentes suele relacionarse a categorías similares sino las mismas que se ocupaban al hablar de raza (Bolnick, 2008). Finalmente, otro cuestionamiento importante ha nacido desde la perspectiva biológica donde se planteó desde distintas investigaciones que la variación genética humana estaría definida solamente en un 5 a 10% por las clasificaciones tradicionales de raza (Brown y Armelagos, 2001). Esta discusión se menciona brevemente en esta investigación para introducir las estimaciones del perfil biológico, sin embargo, este debate puede conducir a una amplia revisión bibliográfica desde el área de la antropología física y social.

La estimación de edad se adquiere diferencialmente dependiendo del grado de crecimiento y desarrollo evaluado primariamente. Es así como para los individuos juveniles en una primera etapa cobran importancia los centros de osificación primarios y secundarios (Cunningham et al., 2016; Degani, 2001). Luego, la erupción y desarrollo dental se postula como uno de los métodos más confiables, junto con la osificación de las vértebras y el cierre epifisiario de los huesos largos (Black y Ferguson, 2011). Aún más amplios son los métodos que han permitido estimar la edad en individuos adultos, los cuales están basados en el desgaste de las estructuras óseas. Entre ellos destacan: los métodos relacionados a la morfología de estructuras pélvicas como la sínfisis púbica (Todd, 1920; Brooks y Suchey, 1990) y la morfología de la superficie auricular del ilion (Lovejoy et al., 1985; Osborne et al., 2004) así también, el de Işcan y Loth (1989) en base a la morfología del extremo esternal de la cuarta costilla. En cuanto a la dentición, se ha formulado un método de estimación de edad, específicamente a través de la medición de la transparencia de la raíz en dientes uniradiculares (Lamendin et al., 1992; Prince y Ubelaker, 2002). Los avances metodológicos forenses en torno a la estimación de edad con dientes han destacado la utilidad de las radiografías para analizar la estructura

relacionando el área de pulpa y el área total dental en caninos y premolares (Cameriere et al., 2012; De Luca et al., 2010).

La estatura se entiende como la distancia que existe entre el vertex de la cabeza hasta el suelo (Krenzer, 2006). La estimación de estatura en antropología física es posible gracias a que la longitud de los restos óseos guarda relación con la estatura que se tenía en vida (Christensen et al., 2014). En las primeras aproximaciones a este estimado se utilizaba todo el esqueleto articulado, aunque en la actualidad es más común usar los huesos largos (ibíd.). Las fórmulas con las que se trabajan corresponden en su mayoría a ecuaciones de regresión asociadas a muestras poblacionales particulares; en el caso de la población chilena se recomienda la utilización del método de Ross y Manneschi (2012), formulado a partir de una muestra de la Colección Osteológica Subactual de Santiago de la Universidad de Chile.

La estimación de sexo es posible dada la presencia de diferencias fenotípicas asociadas a la existencia de dimorfismo sexual (Christensen et al., 2014). En comparación con otros animales y también, con los homínidos antiguos, los humanos demuestran relativamente poco dimorfismo sexual, mostrando diferencias morfológicas en magnitudes pequeñas (ibíd.). Esta sección del perfil biológico condiciona la estimación de la edad y la estatura, ya que los procesos de crecimiento y el desarrollo que configuran estas variables se ve influenciados por el dimorfismo sexual (Badyaev, 2002). Los métodos utilizados para esta estimación se centran clásicamente en la observación macroscópica de los restos esqueléticos. La fuente de información más confiable en este sentido es la pelvis, en la cual se analiza la morfología de hitos como el foramen obturador, la escotadura ciática, el ángulo subpúbico y el acetábulo (Dirkmaat et al., 2008). Luego el cráneo, en el cual también se observan diferencias de tamaño y robustez de hitos anatómicos como el proceso mastoideo, el margen supraorbital, el borde supraorbital, la glabella y la cresta nuchal (Walrath et al., 2004). Algunos de los avances recientes en el área forense han permitido enriquecer el conocimiento del dimorfismo sexual mediante la aplicación de la morfometría geométrica para el estudio del cráneo y la mandíbula (Kimmerle et al., 2008; Buck y Vidarsdottir, 2004) la escotadura ciática mayor y el complejo isquiopúbico (González et al., 2009), el húmero (Kranjoti et al., 2009), como también en los dientes (López-Lázaro, 2015; López-Lázaro et al., 2018; Rodríguez, 2017; Polychronis et al., 2013; Yong et al., 2018).

ii. Utilidad de los dientes en antropología forense

Los métodos anteriormente mencionados para individuos esqueléticos, van a tener un requerimiento básico: la presencia y óptima conservación de las estructuras óseas en cuestión, lo que limita su utilización en ciertos casos donde el registro adquirido del sitio de suceso puede ser escaso o poco informativo para este aspecto. Más allá de los restos óseos propiamente tales, el registro de los individuos esqueléticos incluye otras estructuras que representan una fuente de información bastante completa y son altamente

resistentes a los contextos ambientales en los que se puede encontrar un cuerpo: la dentición (Hillson, 1996). Estas pequeñas estructuras corresponden a los tejidos humanos más resistentes (Steyn e Işcan, 2013), caracterizándose por su alto grado de dureza, densidad y calcificación (Kelly y Larsen, 1991). Es por estas particularidades que representan una veta investigativa a aprovechar.

En el ámbito forense los dientes son utilizados en áreas diversas: para la identificación (reconstructiva o comparativa), estimación de edad, estimación de sexo, análisis de ADN, y análisis de mordidas en casos de abuso (Pretty y Sweet, 2001; Rai y Kaur, 2012), entre otras.

iii. Estimación de sexo a través de los dientes: odontometría y morfometría geométrica

Existe un creciente interés científico en la evaluación del dimorfismo sexual en los dientes humanos como modo de ampliar las metodologías existentes para la estimación de sexo, aprovechando su óptima resistencia a los efectos destructivos de largos periodos de entierro (Hillson, 1996) y en algunos casos, la disponibilidad de modelos odontológicos. La metodología utilizada para la obtención de los datos, se ha centrado en las diferencias de tamaño establecidas a través de mediciones estándar desde puntos reconocibles en la corona: los diámetros mesiodistal y bucolingual (Işcan y Steyn, 2013), y la metodología de análisis ha variado desde un enfoque univariado en las medias de cada subgrupo a través de la *magnitud del dimorfismo* (Garn et al. 1967) en combinación con pruebas T-Student, a incluir métodos de análisis multivariado como el análisis de regresión logística y el análisis de función discriminante.

Garn et al. (1967) evaluaron el dimorfismo sexual en una muestra de dientes permanentes compuesta por 243 inds. del suroeste de Ohio, comparado con datos preexistentes de otras ocho poblaciones, donde se propuso como metodología de análisis la *magnitud del dimorfismo*, calculada como la proporción entre la media de los individuos de sexo femenino dividido por la media del sexo masculino, menos 1. Los resultados de esta investigación señalaron que los dientes con mayor porcentaje de dimorfismo sexual en base al diámetro mesiodistal eran los caninos inferiores, seguidos por los caninos superiores y ambos segundos molares. Así también se observó que este grado de diferenciación entre los sexos es variable entre poblaciones, de modo independiente al tamaño dental.

Zadzińska et al. (2008) estudiaron la dentición decidua en una muestra de Polonia medieval (n=88) a través de odontometría, aplicando una fórmula similar a la *magnitud del dimorfismo* (Garn et al., 1967), análisis de función discriminante y regresión múltiple a partir de las mediciones más dimórficas. Los resultados señalaron que el segundo molar superior deciduo de los individuos masculinos presentó mayor tamaño porcentual en diámetro mesiodistal en tanto que, para los molares inferiores, el primero molar demostró mayor porcentaje de dimorfismo sexual a partir de los diámetros MD y BL y el segundo molar inferior a partir de su diámetro BL. Los resultados de la regresión señalaron que 69% de los individuos masculinos y 84% de los individuos

femeninos fueron estimados correctamente de acuerdo con el sexo evaluado genéticamente a partir de tres secuencias de ADN asociadas al sexo.

En población contemporánea también se han realizado estudios sobre el dimorfismo sexual en dientes. Angadi et al. (2013) trabajaron con una muestra de población de India (n= 600) para la dentición permanente completa (excluyendo terceros molares) donde se realizaron pruebas de T-Student y análisis de regresión logística para evaluar el dimorfismo sexual en la muestra. Los resultados de este estudio demostraron diferencias significativas en las pruebas univariadas (T-Student) en un ~91% de la muestra, siendo los caninos, los segundos molares y los primeros molares los dientes con mayor dimorfismo sexual según este análisis. Sin embargo, al evaluar la discriminación de sexo con análisis de regresión logística solo el 68.8-74.8% fue clasificado correctamente, por lo que se considera que los resultados tuvieron una precisión moderada.

En el estudio de una población arqueológica de la Colección Osteológica de Granada, España (Viciano et al., 2013) se evaluó la estimación de sexo de la dentición decidua y permanente (n=269) añadiendo las mediciones del diámetro diagonal de la corona y los diámetros cervicales, y un ajuste de la significancia según el número de variables analizadas por dentición (ajuste de Bonferroni). La metodología de análisis en este caso fue de pruebas univariadas de T-Student y regresión logística. Los resultados arrojaron favorablemente que los dientes con mayor dimorfismo sexual fueron el primer y segundo molar para la dentición decidua (con 78,1 – 93,11% de clasificación correcta) y los caninos en la dentición permanente (con 79.4-92,6%).

En el caso de Chile, destacan dos estudios realizados en las últimas décadas (Suazo et al., 2008, Peckmann et al., 2016). Suazo et al. (2008) caracterizaron la presencia de dimorfismo sexual en una muestra clínica de población chilena adulta (n=150) a partir de la diferencia entre medias con T-Student. Los resultados demostraron diferencias significativas entre los sexos en el diámetro BL para el primer premolar inferior derecho y el segundo molar inferior derecho. Una significancia relativamente menor se observó en incisivos superiores derechos, canino superior derecho, primer y segundo molar superior derecho, primer molar superior izquierdo, canino inferior izquierdo, incisivos inferiores derechos y segundo premolar inferior derecho. En cuanto al diámetro MD, sólo el incisivo lateral derecho superior mostró diferencias significativas entre los sexos.

Distintos resultados obtuvieron Peckmann et al. (2016) en una muestra de 303 modelos dentales de población chilena, donde el objeto de estudio fueron los incisivos superiores y caninos de la dentición permanente. En este estudio se estimó sexo a partir del diámetro MD, utilizando la diferencia entre medias (T-Student) y el análisis de función discriminante, con un ajuste a la significancia de $p < 0,008$. Los resultados en este caso señalaron la presencia de dimorfismo sexual significativo en los incisivos centrales superiores y caninos. Sin embargo, en las evaluaciones posteriores mediante ecuaciones

de función discriminante a partir de los resultados obtenidos, señalaron que solo 59.7 - 65.0% de los individuos habrían sido clasificados correctamente en base al análisis univariado, y 60.1 - 66.7% para el análisis multivariado; por estos bajos porcentajes de precisión se desestimó en esta muestra la utilidad del diámetro MD en incisivos y caninos en contextos forenses según los criterios de *Daubert*.

Una primera aproximación a la integración del estudio de la forma realizó Ferrario et al. (1999) mediante del análisis de Fourier, en un estudio del primer molar permanente a través de moldes de 131 individuos caucásicos italianos donde se realizó un análisis del contorno de la superficie oclusal y la circunferencia máxima del diente obtenidas a través de fotografías 2D. En este trabajo no se observaron diferencias significativas en la forma de los sexos, pero si diferencias en tamaño de la circunferencia máxima. La desventaja de esta metodología frente a la morfometría geométrica es que la forma solo puede estudiarse como contornos, sin poder analizar la superficie oclusal en su complejidad considerando cúspides y fosas.

La morfometría geométrica estudia la forma a través de imágenes 2D y 3D, entendiendo la forma como toda aquella información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de una estructura (Kendall, 1977). Esta metodología, permite evaluar la covarianza de la forma con otros factores de interés a través del uso de la estadística multivariada (Toro et al., 2010). Los aportes de la morfometría geométrica a la antropología biológica incluyen el estudio de las formas biológicas en distintos ámbitos: alometría, variación morfológica, ontogenia, entre otros (López-Lázaro, 2015).

Los trabajos que han evaluado el dimorfismo sexual en dientes humanos con esta metodología son relativamente más recientes que el enfoque puramente odontométrico. En estos trabajos el análisis estadístico siempre incluye en un primer momento el análisis de componente principales (PCA) como también la visualización de la deformación de las mallas, ya sea en 2D o 3D. En cuanto a las muestras utilizadas fue común la focalización en un solo diente maxilar y mandibular, exceptuando López-Lázaro (2015) donde se estudiaron ambas denticiones completas. Se encontraron diferencias significativas entre sexos principalmente en la dentición decidua (López-Lázaro, 2015; López-Lázaro et al., 2018) y en canino permanente (Rodríguez, 2017). A continuación, se hace una breve aproximación a los trabajos de morfometría geométrica para este tema.

Rodríguez (2017) evaluó el dimorfismo sexual presente en la forma y tamaño de los caninos en una muestra de modelos dentales (n=165) pertenecientes a la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile, los cuales fueron digitalizados en 3D. Los análisis realizados en esta investigación incluyeron PCA, ANOVA y análisis de función discriminante. Los principales resultados de este trabajo indicaron diferencias significativas entre los sexos en cuanto a forma y tamaño, siendo el canino femenino de menor tamaño y con

una forma cuadrangular, mientras que el masculino es de mayor tamaño y una forma romboidal. Asimismo, observó que el dimorfismo sexual en el canino en esa muestra funciona como un módulo, concentrándose en la cara vestibular de la corona, siendo este no significativo en la cara palatal. Otro aporte destacable de este trabajo se encuentra en su crítica al uso de la diferencia entre medias (Garn et al., 1967, Zadzińska et al. 2008, Angadi et al. 2013, Viciano et al., 2013 Suazo et al., 2008 y Peckmann et al., 2016) ya que el tipo de muestreo y los tamaños muestrales podrían producir sesgos en las medias como también en la desviación estándar. De este modo, propone el uso del estadístico *magnitud del efecto*, que permite evaluar la relación entre dispersiones distintas, teniendo en cuenta las medias y la desviación estándar en su ecuación, permitiendo cuantificar el efecto de una variable nominal de interés en distribuciones de grupos. Por otro lado, se demuestra la complejidad de trabajar en morfometría geométrica con dientes de superficie oclusal reducida como el canino, ya que no permite posicionar hitos tipo 1, que son los que idealmente deberían verse mejor representados para un análisis óptimo ya que permiten observar de mejor manera los procesos biológicos en las estructuras (Toro et al., 2010).

Polychronis et al. (2013) evaluaron la variación de la forma y tamaño de los primeros molares permanentes en una muestra de moldes dentales de 160 individuos griegos digitalizados en 3D. La metodología utilizada para abordar la diferencia entre sexos consideró las distancias de Procrusto entre las medias grupales para la forma y la prueba T-Student para el tamaño del centroide. Las diferencias de tamaño fueron dadas por la comparación del tamaño del centroide que fue entre 2,8 y 3,2% más grande en el sexo masculino. Por otra parte, la evaluación de distancias de Procrusto entre las medias grupales no alcanzó resultados significativos. Si bien la inclusión de más análisis estadísticos podría haber complementado los resultados, los primeros resultados del PCA no fueron favorables ya que PC1 y PC2 no superaban el 30% de la varianza acumulada para los molares superiores e inferiores.

La investigación de López-Lázaro (2015) en una muestra de 207 individuos (68 infantiles y 139 adultos) de cinco cementerios históricos de España utilizó un enfoque morfogeométrico en 2D (con modelos obtenidos a través de fotografía) para la estimación de sexo. Los análisis utilizados en este estudio fueron PCA, CVA, diferencia entre medias con T-Student, análisis de función discriminante. Los resultados demostraron el poder discriminante en forma y tamaño de dos dientes deciduos: el primer premolar superior (en un rango de 73,7 a 92,15%) y el segundo incisivo inferior (71,9 a 78,1%), sin resultados favorables para la dentición permanente.

A partir de una ampliación de la muestra anterior de individuos infantiles (N=68) del Cementerio Municipal de Granada, España, López-Lázaro et al. (2018) evaluaron el poder discriminatorio de la forma y tamaño de los primeros molares deciduos para la estimación de sexo, utilizando PCA, CVA y análisis de función discriminante para un análisis morfogeométrico en 2D. Los resultados arrojaron que solo el primer molar superior presentó dimorfismo

sexual significativo, con un rango de clasificación correcta de 93,23 a 100% para el sexo masculino y un 83,17 a 87,5% para el sexo femenino, en base a la forma y la forma y el tamaño.

Por último, Yong et al. (2018) evaluaron el uso de modelos 3D para la estimación de sexo a partir de premolares permanentes en una muestra de moldes dentales de indígenas australianos y australianos provenientes de Europa (n=70) a través de una metodología que incluyó ANOVA, PCA, y función discriminante con validación cruzada. Los resultados de esta investigación no fueron favorables ya que las diferencias entre sexos tanto de forma como de tamaño no fueron significativas, si bien los premolares superiores tuvieron una mejor clasificación a partir del análisis de función discriminante, y el grupo de indígenas australianos tuvo mejores resultados que el resto de la muestra.

Los avances resumidos previamente, indican que los estudios de dimorfismo sexual en distintas poblaciones humanas utilizando morfometría geométrica han recientemente comenzado a desarrollarse durante la última década, por lo tanto, considerando las ventajas metodológicas que presenta frente a los métodos morfoscópicos clásicos, se presenta una veta investigativa a aprovechar, integrando distintas poblaciones (contemporáneas y arqueológicas) tanto en 2 como 3 dimensiones.

III. Marco Teórico

i. Antropología forense

La antropología forense puede entenderse como una disciplina que integra y aplica teoría, métodos y técnicas de la antropología biológica, antropología social y arqueología en la identificación humana, búsqueda y recuperación de restos de cadáveres (Passalacqua et al., 2018) en vinculación con temas de jurisprudencia médico legal y casos de violaciones a los derechos humanos (Dirkmaat et al., 2008).

En la actualidad, con los avances de la disciplina se han expandido las áreas de experticia de los antropólogos forenses, permitiendo el desempeño investigativo en análisis del sitio de suceso (fuera del laboratorio); el estudio de los procesos tafonómicos involucrados, reconstruyendo las circunstancias relativas a la depositación (anterior y posterior a la muerte de los individuos) y distinguiendo los tipos de agentes involucrados en las posibles perturbaciones; el establecimiento del intervalo postmortem, la identificación personal a través de caracteres individualizantes, y metodologías actuales como rayos X, ADN y antecedentes dentales; análisis del trauma como forma de aproximación a la causa y manera de muerte; investigación en contextos de desastres masivos, violaciones a los Derechos Humanos (Steyn e Işcan, 2013), y en el estudio de población viva, tanto en la identificación personal, la estimación de edad por razones de imputabilidad y la estimación de edad en subadultos en casos de pornografía infantil (Cattaneo, 2007).

ii. Estimación de sexo y dimorfismo sexual

Parte de los procedimientos básicos en la aproximación a los restos esqueletizados en el contexto forense, es la estimación de sexo. Éste se entiende como la totalidad de las características de estructura reproductiva, funciones, genotipo y fenotipo, que permiten clasificar en femenino (XX) o masculino (XY) (Christensen et al., 2014). El estudio de la diferenciación sexual desde la disciplina puede ser abordado a partir de análisis genético o morfológico (ibíd.). Los análisis de los distintos caracteres morfológicos son los que presentan mayor utilidad en los contextos forenses (Ibíd.) y han dado origen a los amplios métodos disponibles para esta estimación.

El proceso de la diferenciación sexual es explicado por factores genéticos tanto como epigenéticos, ya que el transcriptoma humano puede variar los niveles de expresión de genes a partir de cambios en el ambiente (Rigby y Kulathinal, 2015). Para contextualizar el origen de este proceso, este comienza durante la embriogénesis desde la formación de un cigoto diploide a partir de la fusión de los gametos haploides en la fertilización. Luego, formado el cigoto diploide, este se transforma en un embrión indiferenciado con gónadas bipotenciales gracias a la expresión de los genes WT1 y SF1 (ibíd.). Posteriormente, ocurre la diferenciación de los desarrollos de las gónadas, proceso que depende de la presencia (o ausencia) del cromosoma Y y la expresión del gen SRY (o la ausencia de esta). En el sexo femenino la ausencia del cromosoma Y y, por consiguiente, la ausencia de expresión de SRY conduce a la formación de ovarios gracias a la expresión de WNT4, RSPO1 y FOXL2. En el sexo masculino, en contraste, la formación de testículos se produce gracias a la expresión de SRY, que indica este patrón de desarrollo a través de la expresión de GATA4, SOX9, FOG2, WT1, SF1 y AMH (ibíd.). Posteriormente, con el avance del desarrollo de las gónadas, la secreción de estrógenos y otras hormonas permiten características sexuales mayormente diferenciadas (ibíd.).

Cobra relevancia para la disciplina, que los tejidos somáticos (que cumplen las mismas funciones en los distintos sexos) generalmente no presentan morfologías dimórficas, sin embargo, se ha presentado diversa evidencia de que existe dimorfismo sexual en la expresión genética de algunos (ibíd.). En el caso del dimorfismo sexual en dientes, este se sustenta en el efecto diferencial de la presencia del cromosoma X o Y para el crecimiento en la proliferación y secreción de elementos celulares vinculados a la dentinogénesis y amelogénesis, lo que en específico produce un estímulo de la producción de dentina y crecimiento del esmalte asociado al cromosoma Y, en tanto que con el cromosoma X la acción se restringe a la estimulación del desarrollo de esmalte, lo que se expresaría finalmente en dientes con mayor porcentaje de dentina en los individuos de sexo masculino (Alvesalo, 1997).

iii. Antropología dental

La Antropología Dental es una subdisciplina de la Antropología Física que estudia los dientes desde una perspectiva biológica, ecológica y cultural que

permite aproximarse al ser humano en cuanto a su comportamiento, individualidad, condiciones de vida y contexto (Alt et al., 2012).

La característica estructural de los dientes de un alto porcentaje de materia inorgánica - compuesta de cristales de hidroxiapatita - en el esmalte (95%) y la dentina (70%) explican su alta dureza, densidad y calcificación (Kelley y Larsen, 1991), resistencia a los factores tafonómicos y la putrefacción natural del cuerpo (Gómez de Ferraris y Campos-Muñoz en López-Lázaro, 2015). Esto permite una óptima conservación en el registro esquelético tanto arqueológico como forense, lo que ha fomentado su aprovechamiento como fuente de investigación desde diversos enfoques, como la variación morfológica; el crecimiento y desarrollo de los dientes en el proceso de erupción dentaria y cambio de denticiones (de decidua a permanente); el estudio del envejecimiento a través de la observación a nivel microscópico; la alimentación y patologías orales en un contexto poblacional (Hillson, 1996). En el contexto forense los dientes presentan utilidad para la identificación personal a través del reconocimiento de rasgos individuales de los que se tenga antecedentes, además de la estimación de edad tanto para individuos juveniles como adultos y la estimación de sexo, entre otras aplicaciones (Steyn e Işcan, 2013).

IV. Planteamiento del problema de investigación

La estimación de sexo representa una fase basal en la identificación de restos esqueléticos, para la cual se cuenta con una serie de métodos morfoscópicos que observan el dimorfismo sexual principalmente en estructuras óseas, las cuales lamentablemente no siempre se encuentran presentes en el registro osteológico. Los dientes constituyen estructuras altamente conservadas en el registro esquelético, lo cual presenta una veta investigativa a aprovechar en contextos forenses para la identificación humana.

La variación morfológica entre sexos en los dientes ha fomentado su estudio como método de estimación de sexo, y si bien no existe consenso en la significancia del dimorfismo sexual en tamaño o forma en las diferentes etapas etarias, diversos estudios se han aventurado en probar distintas muestras dentales para la estimación de sexo a través de la morfología dental usando principalmente la variación del tamaño como indicador, con algunos avances recientes en torno a la variación métrica de la forma. En la presente investigación se busca caracterizar las diferencias de forma dental entre sexos con el fin de probar su utilidad para la estimación de sexo, en una muestra de individuos de la Colección Osteológica Subactual de Santiago de la Universidad de Chile y la Colección de Docencia del SML, con perfil biológico conocido.

V. Pregunta de investigación

¿Cuáles son las diferencias entre sexos en la forma de los segundos molares superiores de las Colecciones osteológicas del Cementerio General de Santiago?

VI. Objetivos

i. Objetivo General

Caracterizar las diferencias entre sexos en la forma del segundo molar superior en una muestra de individuos adultos de Colecciones osteológicas del Cementerio General de Santiago a través de morfometría geométrica.

ii. Objetivos Específicos

- a. Caracterizar la variabilidad intra-sexual de la forma del segundo molar superior.
- b. Proponer un listado de relaciones espaciales entre la matriz de vectores de la forma que hayan resultado determinantes para la discriminación del sexo en los individuos.

VII. Hipótesis

H₀: Las matrices de vectores que describen la forma de los molares no presentan diferencias significativas entre sexos ($p > 0,05$).

H₁: Las matrices de vectores que describen la forma de los molares presentan diferencias significativas entre sexos ($p \leq 0,05$).

VIII. Materiales y métodos

i. Materiales

a. Colecciones Osteológicas del Cementerio General de Santiago

El material de estudio para esta investigación corresponde principalmente a la Colección Osteológica Subactual de Santiago proveniente del Cementerio General, la cual pertenece actualmente al área patrimonial de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile. Su creación se atribuye al profesor Juan Munizaga, quien habría gestionado el acceso a este material para la Universidad de Chile, a partir de distintos proyectos, el primero en la década de 1970 y el segundo en 1993 asociado al proyecto FONDECYT 1028-91 (Abarca, 2011). Esta incorpora a individuos fallecidos durante 1960, 1970 y 1980 que fueron enterrados en dicho cementerio (Lemp et al., 2008), los cuales representan una muestra sesgada de la población chilena de aquellas épocas, que habitaba principalmente la zona periférica de Santiago, asociada a un estrato socioeconómico bajo y una calidad de vida deficiente en ámbitos de salud, alimentación y también vivienda (Abarca, 2011). Por otra parte, el contexto demográfico de esta época se vio caracterizado por problemas nutricionales y una alta tasa de mortalidad infantil, relacionados a la distribución desigual de los recursos (Arteaga y Valiente, 1965 en Abarca, 2011). Dentro de esta Colección, las osamentas obtenidas se encuentran vinculadas en su mayoría, a una localización correspondiente en el cementerio, además de una identificación de edad, sexo, causa de muerte (Lemp et al., 2008).

Como parte de la misma muestra, proveniente del Cementerio General de

Santiago, se utilizó material osteológico de la Colección de Docencia de la Unidad de Derechos Humanos del SML, osamentas obtenidas de la reducción realizada en el Patio N° 152. Este patio corresponde a un sitio temporal de inhumación, cuyas sepulturas de tierra, posterior al vencimiento de los plazos establecido por el cementerio se retiran las osamentas, para ser trasladadas por sus familiares o bien para efectuar su cremación en el caso de los no reclamados. Son estos últimos los que conforman la Colección de Docencia de la Unidad de Derechos Humanos del SML, 122 individuos no reclamados correspondientes a personas fallecidas entre los años 1997 y 1999, material recuperado en el año 2013 a partir de la iniciativa de la antropóloga física Paulina Marambio, para su utilización en investigación (Marambio, 2017) (Comunicación personal con Unidad de Derechos Humanos, septiembre de 2019). El registro digital de la Colección se encuentra en una planilla que incluye información del lugar de exhumación, sepultura, elementos óseos presentes, caja, número de protocolo y antecedentes entregados por el cementerio, que incluyen sexo, edad y causa de muerte (Marambio, 2017). Esta colección se encuentra organizada en cajas compuestas por restos de diez o más individuos separados en bolsas plásticas, con su documentación de registro correspondiente.

Del total de 56 individuos estudiados, 44 corresponden a la Colección Osteológica Subactual de Santiago (25 masculinos y 19 femeninos), y 12 a la Colección de Docencia del SML (6 femeninos y 6 masculinos). Si bien se consideró preliminarmente utilizar el segundo molar superior izquierdo, entendiendo la equivalencia morfológica bilateral de su estructura, se utilizaron también dientes del lado derecho en menor proporción, decisión metodológica que permitió aumentar el número muestral. De esta forma se utilizaron 30 segundos molares superiores izquierdos y 26 derechos espejados.

b. Selección de la muestra dental

La selección de dientes a utilizar se decidió considerando: los que según investigaciones previas han demostrado mayor dimorfismo sexual, la representación significativa en la muestra (no se han perdido postmortem, lo que suele ocurrir con dientes que presentan dos o más raíces), se excluyen también, dientes que presentan alta variación evolutiva de forma (terceros molares) y además, se busca que los dientes seleccionados permitan identificar un número considerable de hitos homólogos, característica que cumplen los dientes con mayor relieve oclusal, es decir, los molares.

Considerando lo previamente expuesto, se propone la utilización de los segundos molares superiores los cuales según Garn et al., (1967), Suazo et al. (2008) y Angadi et al. (2013) habrían presentado diferencias significativas entre sexos en el tamaño, aunque no habría antecedentes que indiquen la presencia de dimorfismo sexual en esos dientes en análisis morfométricos.

Dentro de las Colecciones estudiadas se seleccionó primeramente a

aquellos individuos con identificación de edad, sexo y causa de muerte, que presentaran segundos molares superiores con una superficie oclusal óptima para el análisis de la forma, lo cual implicó considerar los siguientes criterios de exclusión: dientes con procesos mórbidos que impliquen defectos malformativos (anomalías de forma, volumen o estructura: hipoplasias, amelogénesis imperfectas, etc.) o con pérdidas adquiridas de sustancia coronaria (caries, fracturas, erosiones, abrasiones); dientes con rehabilitaciones de más de un tercio del volumen dentario o que involucren los puntos de toma de información; arcos dentarios con apiñamientos que impidan las lecturas.

c. Muestreo

El tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico y por conveniencia de la investigación, considerando las limitaciones que pueden presentar las Colecciones Osteológicas estudiadas.

d. Registro de individuos

Al seleccionar la muestra de dientes, se mantuvo un registro en una base de datos Excel con los antecedentes conocidos del individuo correspondiente y observaciones de los dientes cuando fue necesario hacerlas. Ya rescatada esa información se procedió al escaneo en 3D mediante el Escáner de Láser Múltiple NextEngine n°20128 de la Facultad de Odontología, ajustando la resolución para su utilización en dientes y considerando el error intra e inter observador en el posicionamiento de los hitos.

El escaneo de las imágenes en 3D se llevó a cabo en el software ScanStudio, asociado al Escáner de Láser Múltiple NextEngine, configurando el escáner en Alta Definición nivel 2 (2HD), bracket con 7 divisiones y ángulo macro.

Para la limpieza de los modelos 3D se ocupó Geomagic Studio 2012 (Geomagic Inc, Morrisville, NC), lo que implicó rescatar la superficie oclusal de los dientes, eliminando las partes de la malla que no presentaban utilidad en el estudio y los errores de la malla. Específicamente, se eliminaron verticales, se utilizó la función de relajar polígonos y reducir ruido cuando fue necesario y se rellenaron agujeros procurando no alterar la forma original. Luego de ese procesamiento se reparó la malla con Mesh Doctor. En algunos casos también se hizo una reducción general de triángulos para no tener imágenes demasiado grandes y conservar un promedio de triángulos que rodeaba los 10.000. Los dientes correspondientes al lado derecho fueron reflejados para posteriormente poder trabajar con una configuración similar de los hitos.

ii. Metodología: Morfometría Geométrica

La decisión de utilizar morfometría geométrica para los objetivos de esta investigación consideró por una parte, las ventajas generales de esta metodología en relación a las técnicas morfoscópicas tradicionales: mayor objetividad, ya que se basa en puntos anatómicos bien definidos, bajos niveles de error intra e inter observador, y resultados consistentes (González et al.,

2009), lo que se condice con los requerimientos para las ciencias forenses a partir de *Daubert*: confiabilidad, validez, y baja tasa de error (Ousley y Hollinger, 2012). Por otro lado, teniendo en cuenta que se estudiarán molares, la morfometría geométrica en comparación con la odontometría, es capaz de lograr una mejor representación de las características de la morfología al utilizar los hitos anatómicos y las relaciones entre éstos (Bernal, 2007).

Según Zelditch et al. (2012) el concepto de morfometría se entiende como una aproximación cuantitativa a las comparaciones de forma como un componente de la morfología de una estructura. Esta metodología se ha utilizado ampliamente en estudios biológicos de distinta índole, con el objetivo de aproximarse a una comprensión de la variación de la forma.

El estudio de la forma, definido por Kendall (1977) como aquella información geométrica que resulta de restar los efectos de la escala, rotación y traslación, se sustenta en el interés de aproximaciones al estudio de la variación y la transformación de la morfología. En el contexto de la presente investigación, la variación de la forma se entenderá como un indicador de diferencias en los procesos de desarrollo de las estructuras dentales (Zelditch et al., op. Cit.).

La morfometría geométrica se ha levantado como la principal metodología a implementar dado el interés por el estudio de la forma, aislado de otros factores que puedan afectar la morfología de una estructura. En este ámbito, la forma es definida como la configuración o el mapa generado a partir de las relaciones entre hitos anatómicos análogos, o landmarks (ibíd.). A grandes rasgos, el análisis morfogeométrico se compone de tres etapas principales: obtención de los datos (1), obtención de la información que describe la forma (2), y análisis estadístico (3) (Sheets y Webster, 2010).

El posicionamiento de los hitos se realizó en EVAN Toolbox (Bookstein y Weber, 2012), el análisis estadístico se llevó a cabo en MorphoJ (Klingenberg, 2011), EVAN Toolbox (op. Cit.) y PAST (Hammer et al., 2001).

a. Obtención de datos

Los datos obtenidos correspondieron a hitos de la forma homólogos, los cuales se tradujeron en coordenadas de un espacio tridimensional que en su conjunto logran describir la forma de una estructura. Para la óptima selección de hitos anatómicos se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: homología de los puntos (semejanza por origen compartido), representatividad de la morfología, repetibilidad de los hitos y localización conservada (Zelditch et al., 2012).

De esta forma, se trabajó con dos tipos de hitos (Bookstein, 1991; Toro et al., 2010):

-Hitos tipo 1: debiera ser el tipo mejor representado en el total de hitos. Se localizan en las intersecciones de tres estructuras, en el centro de estructuras pequeñas o en intersecciones de curvas.

-Hitos tipo 2: localizados en curvaturas máximas asociadas a la aplicación

de fuerzas biomecánicas.

Los hitos seleccionados según la tipología utilizada por Gómez-Robles (2010) para el segundo molar superior (Figura 1) correspondieron a:

1. Ápice de la cúspide mesiolingual o protocono (Hito tipo 2).
2. Ápice de la cúspide mesiovestibular o paracono (Hito tipo 2).
3. Ápice de la cúspide distovestibular o metacono (Hito tipo 2).
4. Fosa mesial o punto de intersección entre el surco vestibular y el surco central (Hito tipo 1).
5. Fosa distal o punto de intersección entre el surco central, el surco distolingual y el surco distovestibular (Hito tipo 1).

Cabe mencionar que no se consideró para este estudio el hito del ápice de la cúspide distolingual por su tamaño variable y reducido (Hillson, 1996).

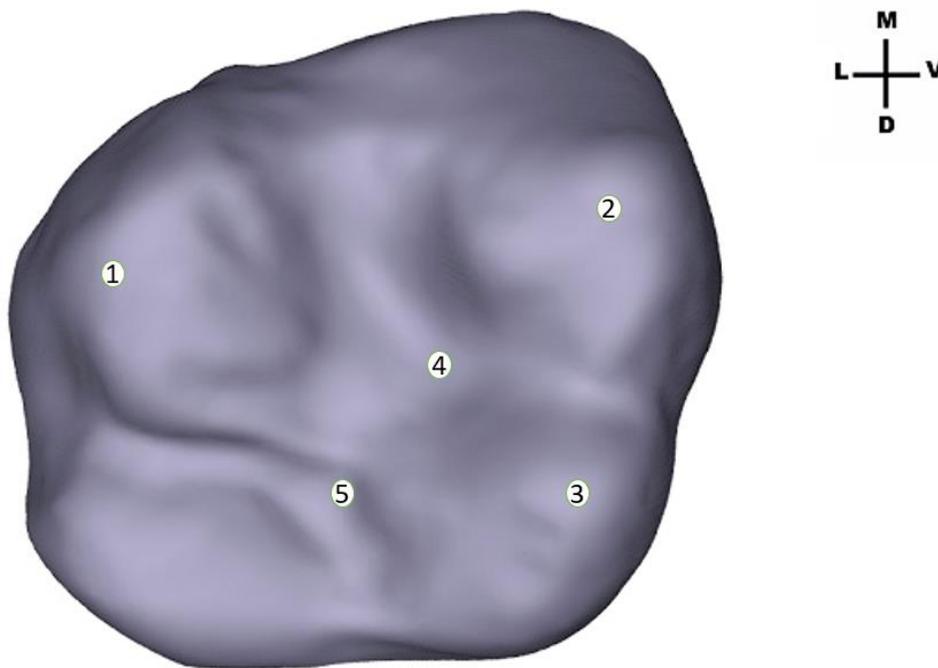


Figura 1: Hitos anatómicos en la superficie oclusal del segundo molar superior. Los hitos 1-3 corresponden a hitos tipo 2 y los hitos 4-5 a tipo 1.

b. Evaluación de error

En morfometría geométrica las potenciales fuentes de error se encuentran principalmente relacionadas a la adquisición de las coordenadas de cada hito anatómico (Von Cramon- Taubadel et al., 2007). Ya que cada hito se registra como valores numéricos sin información adicional sobre las estructuras representadas (en este caso puntos anatómicos del diente), fácilmente pueden pasar desapercibidos los errores cometidos durante su posicionamiento. Por

otro lado, cabe considerar que no todos los hitos anatómicos son igualmente fáciles de identificar, lo que le suma complejidad a su obtención.

Existen tres aproximaciones principales al error en morfometría geométrica: Mediante el uso de análisis de superposición de las configuraciones de hitos, a través del cálculo de distancias Euclídeas entre los valores repetidos de los hitos anatómicos en relación con el centroide, y repitiendo la digitalización de los hitos anatómicos en una orientación constante, evaluando así la varianza individual de los hitos anatómicos (ibíd.). Dado que no existe consenso al respecto de cual metodología resulta más confiable (ibíd.; López-Lázaro, 2015), en esta investigación se decidió repetir el posicionamiento de los hitos como se emplea también en López-Lázaro (2015) tanto para el error intraobservador como interobservador, con la colaboración de un segundo observador (MPR). Ambos procedimientos fueron repetidos en días y horas distintas por cada observador.

Para reconocer el error inter e intra observador se realizó la repetición del posicionamiento de los hitos anatómicos (Von Cramon-Taubadel et al., 2007) en 10 individuos al azar, ubicando los hitos anatómicos en las imágenes 3D en dos oportunidades distintas por cada observador en PAST (Hammer et al., 2001). Posteriormente, se estimó la similitud de esos datos a través de pruebas de correlación intraclase. Éstas consisten en una evaluación de la consistencia y conformidad en las mediciones cuantitativas a través de medias cuadráticas donde se obtiene una estimación de las varianzas poblacionales basadas en la variabilidad entre un número de medidas dado (Koo y Li, 2016).

Para evaluar el error intraobservador se utilizó la prueba de correlación intraclase (ICC 2,1) o *two way random* (Koo y Li, 2016), en esta prueba los observadores son elegidos al azar en una muestra de observadores similares, y los resultados son generalizables a la muestra total de estudio. En tanto que, la prueba de correlación intraclase (ICC (3,1)) o *two way mixed* fue usada para evaluar el error interobservador, ya que en ella se parte de una población de observadores fijos de interés y los resultados representan la fiabilidad de los observadores específicos seleccionados (ibíd.).

c. Obtención de la información que describe la forma

Posterior al posicionamiento de los hitos en toda la muestra se requiere traducir las configuraciones de hitos en cada diente, a coordenadas en matrices tridimensionales. Las configuraciones de cada elemento fueron superpuestas en una posición común para reconocer y eliminar el efecto de la variación en escala, rotación y traslación, lo cual se realizó a través de la superposición parcial de Procusto en Evan Toolbox (Bookstein y Weber, 2012). Dicha función del programa permite aislar la información de la traslación, centrando las configuraciones a partir del centroide (coordenadas del centro de la forma, donde se intersectan los ejes x, y z) y luego haciendo coincidir estos centroides para formar un nuevo sistema de coordenadas. La variación de tamaño se controla reescalando cada configuración, teniendo al centroide como punto de

referencia y, finalmente, la información de rotación es eliminada comparando entre dos configuraciones al girar una sobre su centroide hasta que sus hitos se alineen con los de la segunda configuración (Sheets y Webster, 2010).

Al retirar el efecto de la escala, rotación y traslación se obtiene el espacio de Kendall, o espacio de la forma, en el cual la cantidad de hitos (k) presenta un dato de coordenada tridimensional particular (m). Finalmente, este espacio presenta $3k-7$ dimensiones (ya que se le ha quitado la escala (-1), la traslación en cada eje (-3) y la rotación en cada eje (-3)) (Toro et al., 2010; Sheets y Webster, 2010).

Llegado este punto, Evan Toolbox (Bookstein y Weber, 2012) genera coordenadas tridimensionales de cada hito anatómico a partir de proyectar la matriz de vectores resultante del espacio de Kendall en un plano tangente al espacio multidimensional, lo que permite llevar a cabo análisis estadísticos con los datos (Zelditch et al., 2012).

d. Análisis estadístico

A partir de los resultados del análisis parcial de Procrustes, se realizó análisis de normalidad (Kolmogorov-Smirnov). Luego se aplicó una matriz de covarianza y posteriormente se procedió con los análisis de Componentes Principales (PCA en sus siglas en inglés: *principal component analysis*), Análisis de Variables Canónicas (CVA), y análisis discriminante. El PCA se lleva a cabo con el objetivo de describir la variación individual del diente en una forma reducida y simplificada, permitiendo reemplazar las variables originales por otras nuevas (PCs) que corresponden a combinaciones lineales de las primeras. Con la rotación de los datos el software Evan Toolbox (Bookstein y Weber, 2012) busca las direcciones en las cuales la dispersión describe una mayor proporción de la varianza total (Zelditch et al. 2012). En otras palabras, se caracteriza el comportamiento de la variabilidad en torno a los PCs, cada una con un valor asociado al porcentaje de varianza que explican. Posteriormente, se describió los primeros cuatro PCs en base a lo observado con la deformación de las mallas utilizando el mismo software.

El CVA busca simplificar la descripción de la variación en la muestra como hace el PCA, pero en este caso, considerando los grupos predeterminados. Este análisis elabora nuevas variables (variables canónicas) para describir las posiciones relativas de los grupos en la muestra (ibid.). En tanto que el análisis discriminante se aplicó con el fin de agrupar y discriminar la pertenencia de los individuos a los grupos predefinidos - sexo femenino y masculino- a partir de la combinación lineal de variables que discriminan de forma más óptima entre los grupos (ibid.).

IX. Resultados

La prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov señaló que la muestra se comportó de forma normal, por lo tanto, se prosiguió con los análisis correspondientes.

i. Evaluación del error intra e inter observador

Las pruebas de ICC (2,1) (intra-observador) y ICC (3,1) (inter-observador) demostraron valores mayores a 0,98 en cada uno de los ejes de los hitos evaluados en la muestra, lo que indicó una excelente confiabilidad (Koo y Li, 2016). No obstante, los resultados presentaron una pequeña variabilidad entre sí que cabe considerar. Para la prueba de error intra-observador (ICC (2,1)) los hitos mejor evaluados fueron la cúspide mesiolingual, fosa mesial y la cúspide mesiovestibular. En contraste, los que demostraron una menor confiabilidad fueron la cúspide distovestibular y la fosa mesial. En tanto que, para el error inter-observador (ICC (3,1)), los resultados fueron más homogéneos. Los hitos con una mayor confiabilidad fueron la cúspide mesiovestibular, la distovestibular y ambas fosas (mesial y distal); siendo la cúspide mesiolingual la que obtuvo valores más bajos.

Tabla 1: Pruebas de correlación intraclase.

Hitos anatómicos	Intra ICC (2,1)	95%c	Inter ICC (3,1)	95%c
H1_X	0,9996	[0,9982, 0,9999]	0,9998	[0,9991, 0,9999]
H1_Y	0,9997	[0,9997, 1]	0,9997	[0,9988, 0,9999]
H1_Z	0,9997	[0,9982, 0,9999]	0,9999	[0,9998, 1]
H2_X	0,9969	[0,9884, 0,9992]	0,9999	[0,9998, 1]
H2_Y	0,9997	[0,9989, 0,9999]	1	[0,9999, 1]
H2_Z	0,9998	[0,9991, 0,9999]	0,9999	[0,9997, 1]
H3_X	0,9977	[0,9913, 0,9994]	0,9999	[0,9998, 1]
H3_Y	0,9996	[0,9985, 0,9999]	1	[0,9999, 1]
H3_Z	0,9997	[0,9990, 0,9999]	1	[0,9999, 1]
H4_X	0,9999	[0,9995, 1]	1	[0,9998, 1]
H4_Y	1	1	1	[0,9999, 1]
H4_Z	0,9999	[0,9997, 1]	1	[0,9998, 1]
H5_X	0,9986	[0,9947, 0,9996]	0,9999	[0,9995, 1]
H5_Y	0,9993	[0,9973, 0,9998]	0,9999	[0,9998, 1]
H5_Z	0,9996	[0,9984, 0,9999]	0,9997	[0,9986, 0,9999]

ICC2 = Índice de correlación intraclase 2. ICC3 = Índice de correlación intraclase 3. 95%c = Intervalo con 95% de confianza.

ii. Caracterización de la variabilidad intra-sexual de la forma del segundo molar superior

En el grupo de sexo femenino (F) la varianza total (Tabla 2) explicada por los PCs fue de un 0,016, valor que se explica en un 95,8% por los primeros 6 PCs. Teniendo en cuenta que los primeros cuatro PCs explicaron alrededor del 80% de la variabilidad morfológica de los individuos, se realizó una evaluación de los cambios morfológicos asociados a cada uno.

Tabla 2: Eigenvalues del PCA para el grupo de sexo femenino junto con la varianza asociada a cada PC y su varianza acumulativa.

PCA	Eigenvalues	%Varianza	%Acumulativa
PC1.	0,00466865	28,558	28,558
PC2.	0,00348728	21,332	49,89
PC3.	0,00300293	18,369	68,26
PC4.	0,00188269	11,517	79,776
PC5.	0,00151351	9,258	89,034
PC6.	0,00112037	6,853	95,888
Varianza total:	0,01634770		

Estos PCs describieron distintos patrones de deformación (Figura 2). El primer PC (28% de la varianza) demostró un desplazamiento de las cúspides vestibulares hacia vestibular en los valores positivos. Secundariamente, se observó un aumento de la distancia entre las cúspides mesiolingual y distovestibular.

El segundo PC (21,3% de la varianza) demostró una deformación acotada solo a la altura general de las cúspides, donde los valores positivos de la variabilidad de forma correspondieron a una disminución en la altura.

El tercer PC (18,3% de la varianza) describió una compresión de todas las cúspides que resultó en un acercamiento de las cúspides en los valores positivos. Cambios menores se observaron en torno a la altura general de las cúspides, que aumentó hacia los valores positivos (contrario a lo observado en el PC2).

Finalmente, en el cuarto PC (11,5% de la varianza) para este grupo se observó hacia los valores positivos una disminución de la altura general de las cúspides y un desplazamiento de la fosa distal hacia distal.

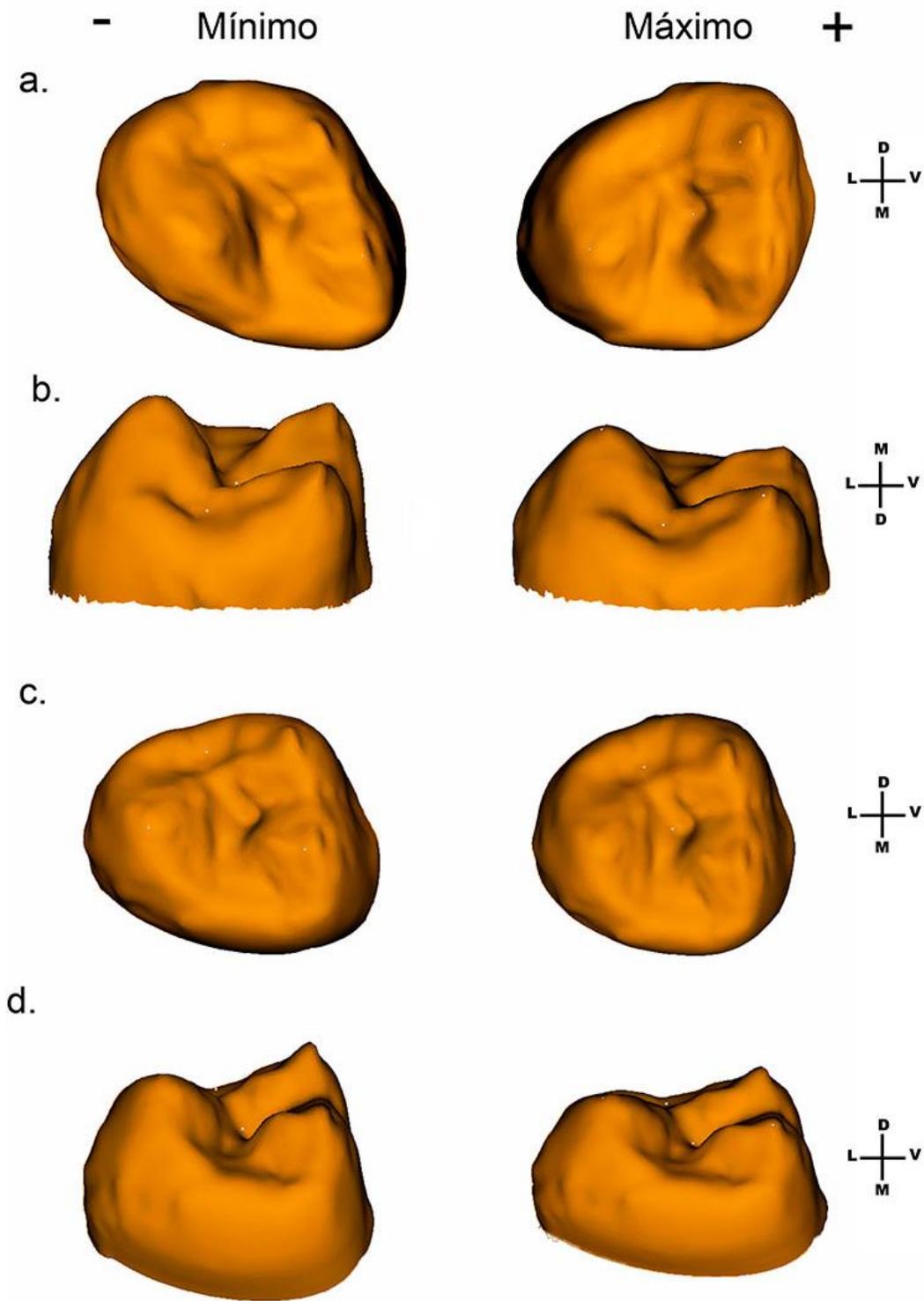


Figura 2: Cambios de forma de los primeros 4 PCs para el grupo femenino (79,7% de la varianza). a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4

Al relacionar PC1 con PC2, el PCA demostró a modo general una distribución homogénea de la variación (Figura 3). La dispersión de los datos se encuentra acotada entre -0,15 y 0,15 para el PC1 (eje x) y PC2 (eje y)

coincidentemente.

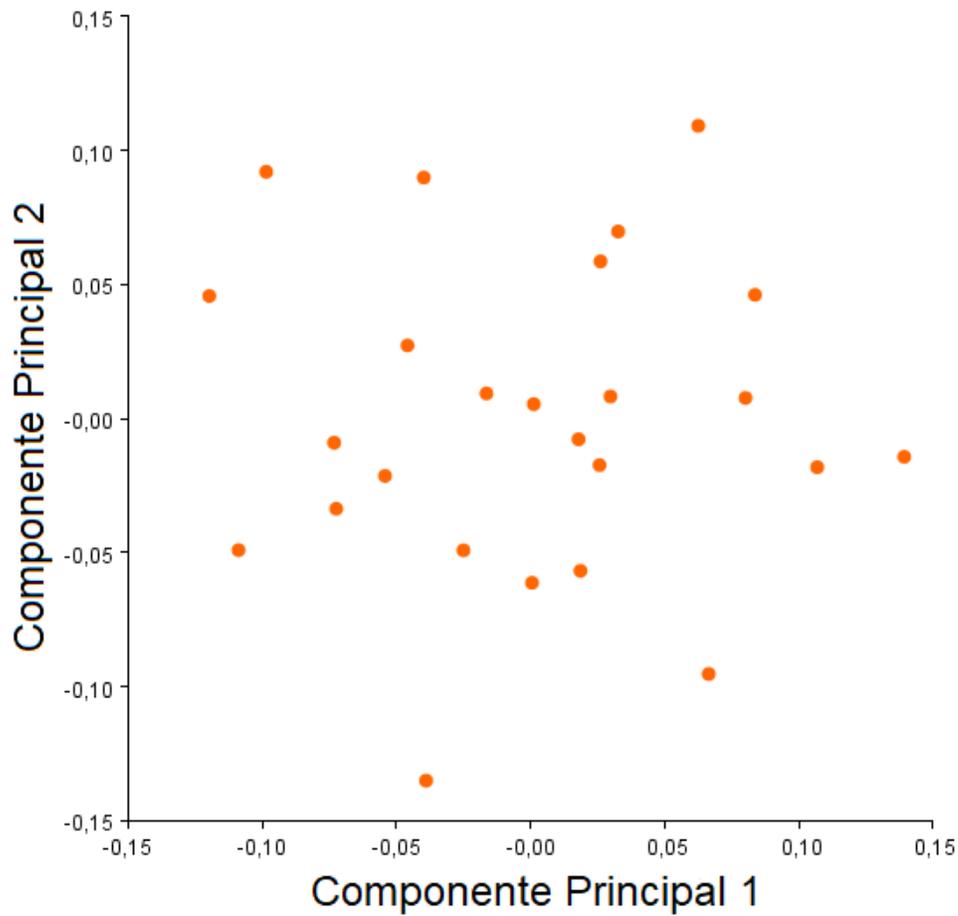


Figura 3: Gráfica de dispersión de PC1 contra PC2 para el grupo femenino PC1: 28,5% y PC2 21,3% de la varianza.

En los individuos de sexo masculino (M) el PCA indicó que la varianza total explicada por los PCs fue de un 0,022, valor explicado en un 97,8% por los primeros 7 PCs (Tabla 3).

Tabla 3: Eigenvalues del PCA para el grupo de sexo masculino, junto con la varianza asociada a cada PC y su

varianza acumulativa.

PC	Eigenvalues	%Varianza	%Acumulativa
PC1.	0,00636909	27,706	27,706
PC2.	0,00400952	17,442	45,147
PC3.	0,00344996	15,007	60,155
PC4.	0,00301461	13,114	73,268
PC5.	0,00237073	10,313	83,581
PC6.	0,00214332	9,324	92,905
PC7.	0,00113648	4,944	97,848
Varianza total:	0,02298837		

La descripción de la deformación (Figura 4) indicó que el primer PC (27,7% de la varianza) se expresó como una compresión mesiodistal hacia los valores positivos, que produjo el aumento de la distancia entre las cúspides mesiales. Sumado a lo anterior, la cúspide distovestibular se desplazó hacia vestibular.

El segundo PC (17,4% de la varianza) describió hacia los valores positivos un desplazamiento de las fosas respecto de las cúspides hacia distovestibular, y de la cúspide distovestibular hacia mesiolingual, generando a su vez compresión entre las fosas. Secundariamente, junto con el desplazamiento de la cúspide distovestibular, se observó un aumento en la pendiente de la superficie mesiolingual de esta misma cúspide.

El tercer PC (15% de la varianza) presentó hacia los valores positivos, una compresión mesiodistal importante, desplazamiento de la cúspide distovestibular hacia mesiolingual, y un movimiento acotado de la fosa mesial hacia mesial y la fosa distal hacia mesiolingual.

El cuarto PC (13,11% de la varianza) mostró una disminución en la altura de las cúspides hacia los valores positivos, y secundariamente, una aproximación acotada de las cúspides vestibulares y un desplazamiento hacia mesiolingual de la cúspide mesiolingual.

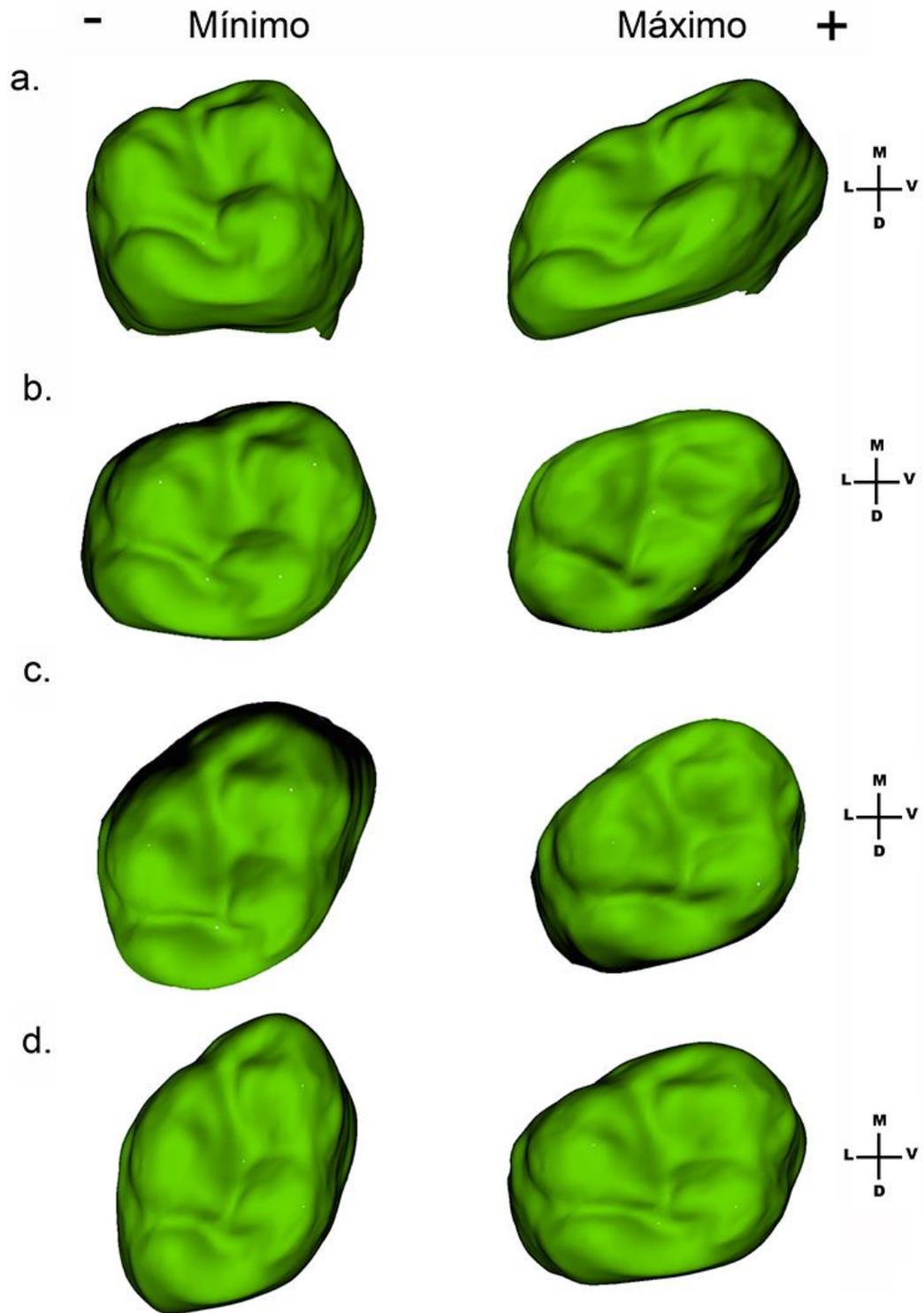


Figura 4: Cambios de forma de los primeros 4 PCs para el GRUPO MASCULINO (73,2% de la varianza). a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4.

Al relacionar los PCs 1 y 2 (Figura 5), se observa una distribución relativamente homogénea en cuanto al PC1 (eje x) entre los valores -0,15 y

0,15. En tanto que, para el PC2 se observó una concentración de la variación en el cuadrante superior del gráfico entre los valores -0,10 y 0,10 del eje y. La variación particular de la forma en algunos casos más alejados de estos valores aumentó la dispersión del gráfico.

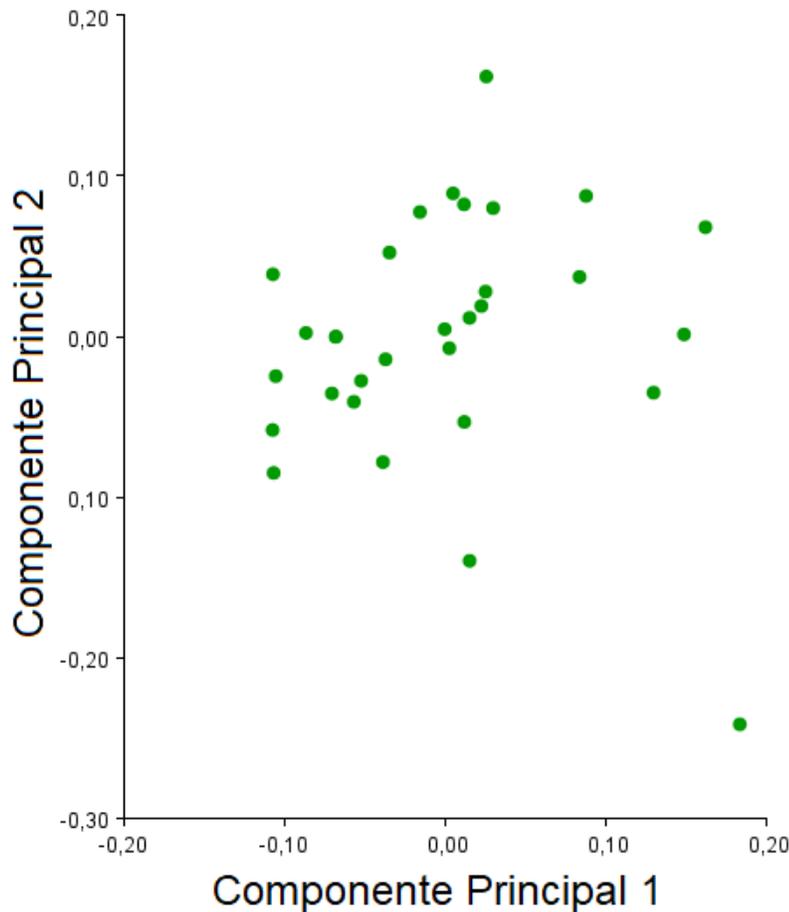


Figura 5: Gráfica de dispersión de PC1 contra PC2 para el S.M PC1: 27,7% y PC2: 17,4% de la varianza.

iii. Discriminación de sexo en la muestra

El gráfico de PCA para la muestra total (Figura 6) permite observar que PC1 y PC2 no generan una clara diferenciación de los grupos. Sin embargo, se observó una mayor variabilidad de la forma en el grupo masculino en comparación con el femenino. En el grupo de masculino la dispersión entre los ejes fue mayor en comparación al femenino tanto en PC1 como PC2, que presentaron una variabilidad similar si bien la mayor dispersión se observó en el grupo masculino para el PC2. En tanto que, el grupo femenino presentó una mayor variabilidad en el PC1, teniendo una distribución más acotada en PC2.

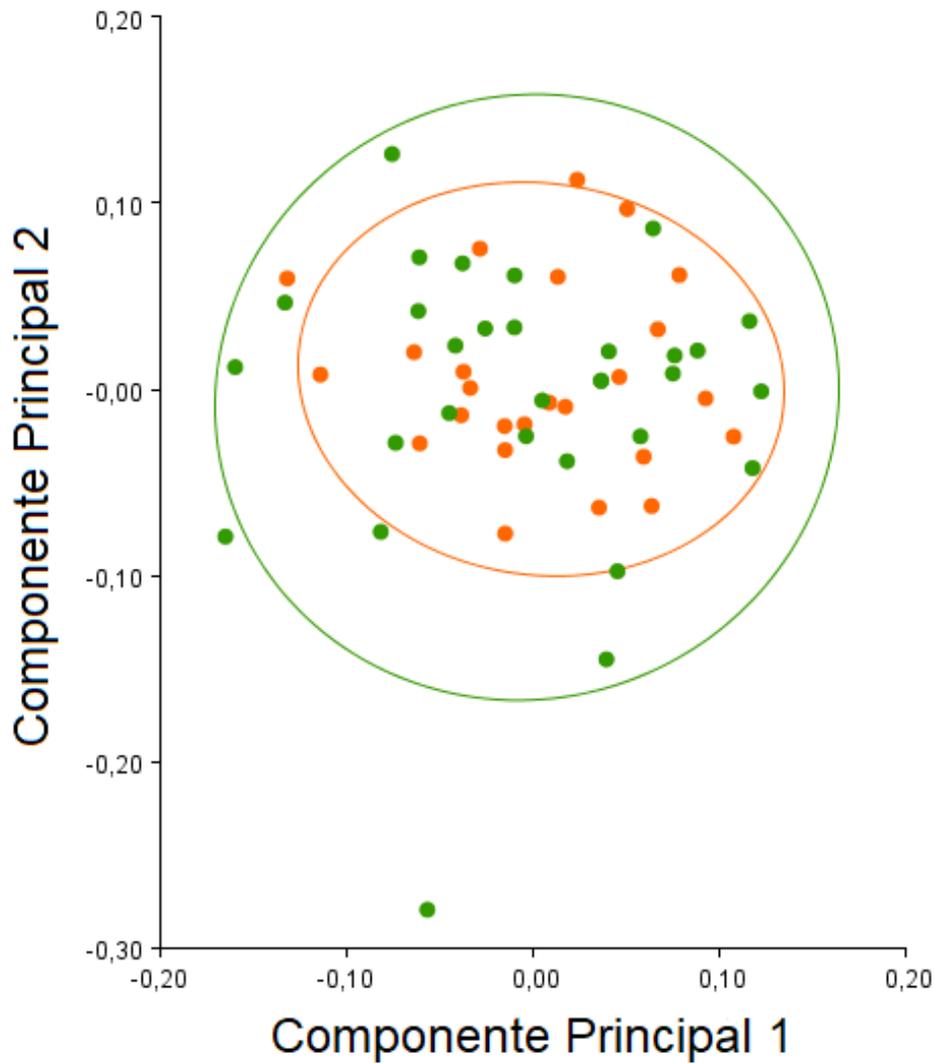


Figura 6: PCA de la muestra total, mostrando los PCs 1 y 2. Naranja: F; Verde: M. PC1: 23,164% de la varianza; PC2: 19,742% de la varianza.

La varianza total (Tabla 4) explicada por los PCs correspondió a un 0,021%. Los primeros 7 PCs explicaron un 96,4% de la varianza, de este total un 23,16% fue aportada por el PC1, un 19,7% por el PC2, un 15,8% por el PC3, un 14,1% por el PC4, un 10,4% por el PC5, un 8,6% por el PC6 y un 4,4% por el PC7. Los primeros cuatro PCs, que en conjunto describieron un 72,9% de la varianza total son descritos a continuación.

Tabla 4: Eigenvalues del PCA para la muestra total, junto con la varianza asociada a cada PC y su varianza acumulativa.

PC	Eigenvalues	%Varianza	%Acumulativa
PC1.	0,0050067	23,164	23,164
PC2.	0,00426709	19,742	42,906
PC3.	0,00343337	15,885	58,79
PC4.	0,00305457	14,132	72,922
PC5.	0,00226433	10,476	83,398
PC6.	0,00186025	8,607	92,005
PC7.	0,0009535	4,411	96,416
PC8.	0,00077458	3,584	100
Varianza total:		0,02161439	

La deformación representada por el primer PC (Figura 7) (23,1% de la varianza) correspondió a una compresión mesiodistal general hacia los valores positivos, la movilización de las cúspides mesiales de forma que la cúspide mesiolingual se movió hacia distolingual y de la cúspide mesiovestibular hacia mesiovestibular, aumentando la distancia entre sí hacia los valores positivos. En cuanto a la cúspide distovestibular, esta se desplazó hacia el centro en los valores positivos, mientras la fosa distal se movió aún más hacia distal, y la fosa central hacia mesiovestibular.

El segundo PC (19,7% de la varianza) se observó hacia los valores positivos como una disminución de la altura de las cúspides mesiolingual y mesiovestibular, sumado a un desplazamiento hacia distal de la cúspide distovestibular, cuya altura no varía. Secundariamente, se presentó compresión en la porción lingual, dando una forma triangular al diente.

El tercer PC (15,8% de la varianza) describió hacia los valores positivos una deformación compuesta por una disminución general de la altura, con la excepción de la cúspide mesiovestibular cuya altura aumentó levemente; compresión mesiodistal, y desplazamiento de la cúspide mesiolingual hacia lingual y una aproximación de las cúspides vestibulares entre sí.

Por último, el cuarto PC (10,4% de la varianza) se observó hacia los valores positivos como una movilización de todas las cúspides hacia mesial, y un desplazamiento de las fosas tal que, la fosa distal se desplazó hacia distolingual, y la fosa central hacia distal.

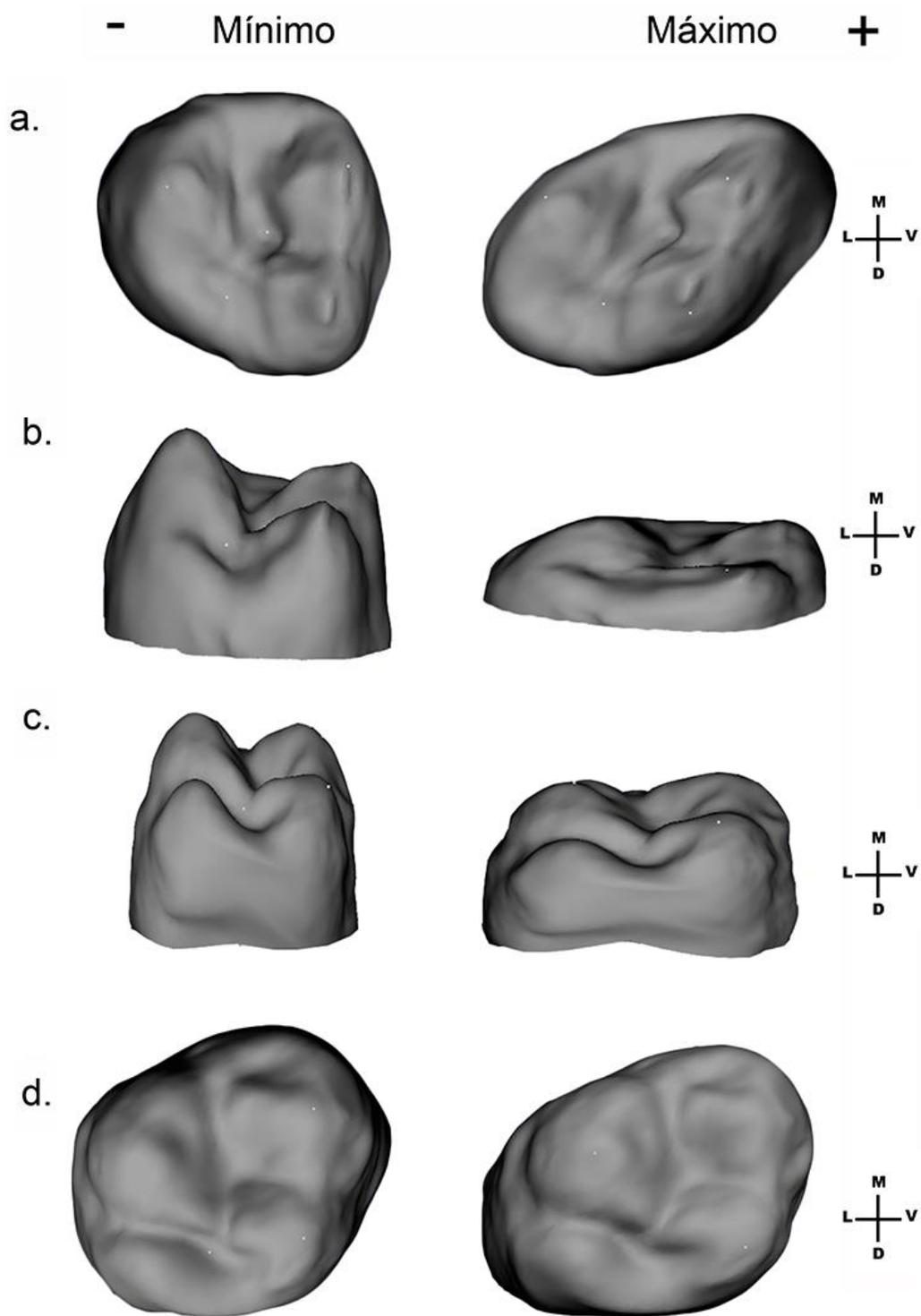


Figura 7: Cambios de forma de los primeros 4 PC para la muestra (72,8% de la varianza total). a) PC1; b) PC2, c) PC3, d) PC4

El análisis de variables canónicas en la muestra total indicó que la variable canónica 1 concentraría el grupo femenino hacia los valores negativos y el

grupo masculino hacia los valores positivos, sin embargo, se presentó una superposición de la variación en una frecuencia menor (Figura 8).

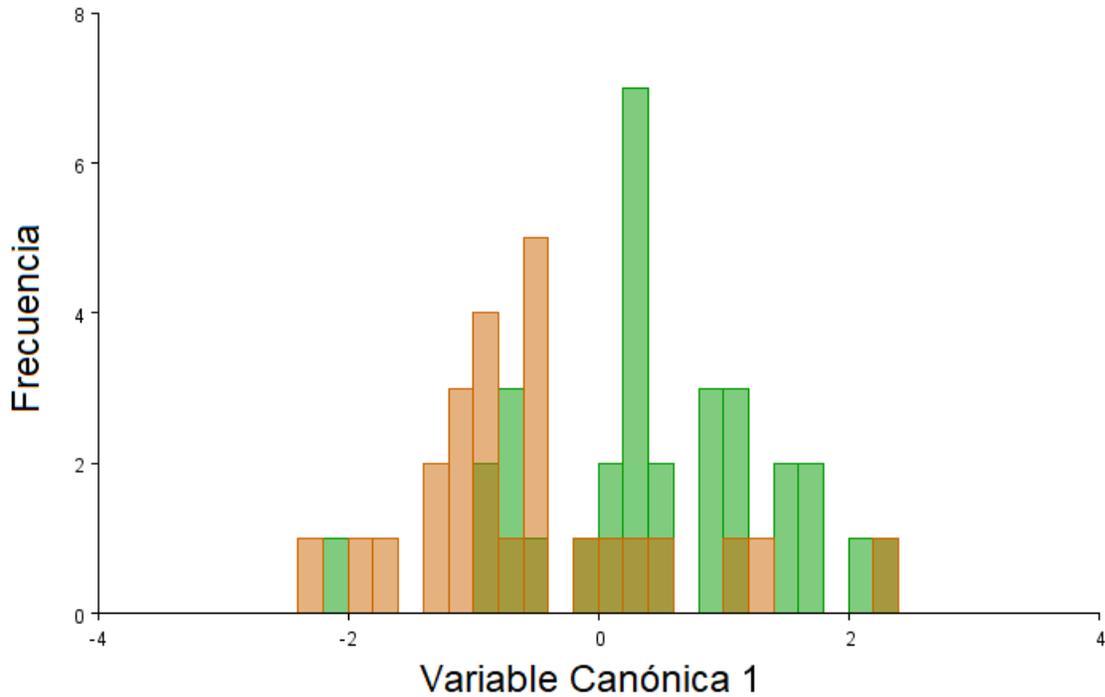


Figura 8: Análisis de Variables Canónicas. Naranja: F.; Verde: M.

Los resultados del análisis de función discriminante a partir de la forma (Tabla 5) mostraron que no se encontraron diferencias significativas entre las medias de los grupos, ya que el valor de $p > 0,05$ para la distancia de Procusto, la distancia de Mahalanobis y el estadístico T-Cuadrado.

La precisión de la clasificación por sexo (Figura 9a) señaló que del grupo femenino 19 individuos fueron seleccionados positivamente (76% del total) y 6 se clasificaron erróneamente. En el grupo masculino fueron correctamente asignados 24 de los 31 individuos (77,4%) y 7 habrían sido clasificados incorrectamente. Según estos resultados, aproximadamente $\frac{3}{4}$ de cada grupo se clasificó adecuadamente. Sin embargo, al realizar la validación cruzada (Figura 9b), los porcentajes de asignación correcta disminuyeron para ambos grupos, siendo mayor la disminución para el grupo masculino (54,8%) en comparación al femenino (72%).

Tabla 5: Función discriminante

Diferencia entre las medias				Precisión de la clasificación por sexo						
Procusto	Mahalanobis	T- cuadrado	p-valor	N	Sexo estimado		Total	%		
					M	F		M	F	
0,0457	0,9521	12,5465	0,2365	OR	M	24	7	31	77,4	76
					F	6	19	25		
				VC	M	17	14	31	54,8	72
					F	7	18	25		

NN: N: número de individuos; OR: variables originales; VC: validación cruzada. El asterisco (*) indica los valores estadísticamente significativos con $p \leq 0.05$.

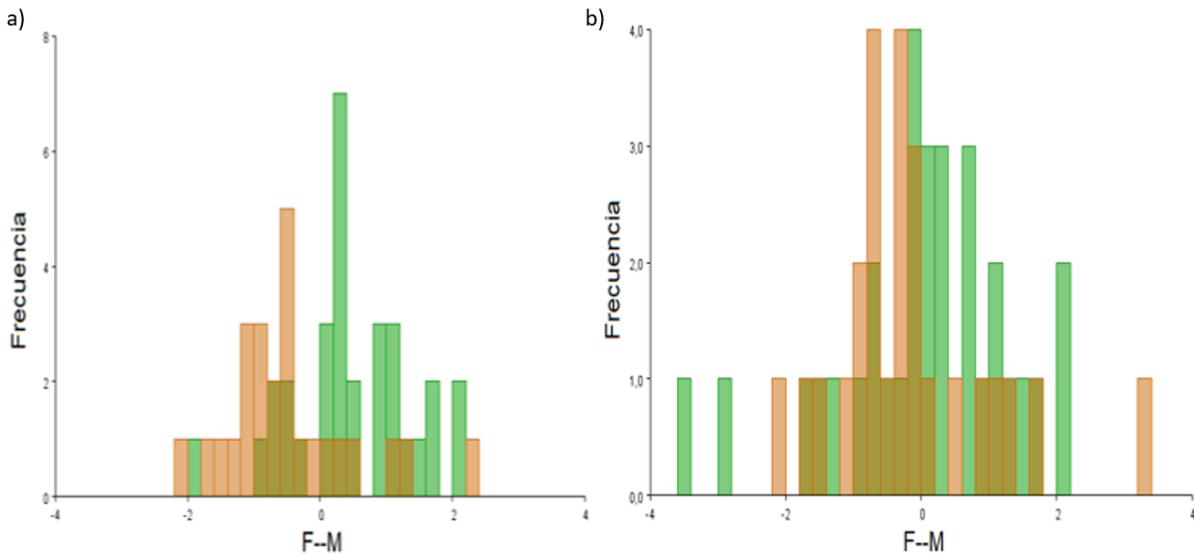


Figura 9: Análisis de Función Discriminante con variables originales (a) y con Validación cruzada (b). Valores negativos corresponden al grupo estimado como sexo Femenino y valores positivos al grupo estimado como sexo Masculino. Naranja: F.; Verde: M.

X. Discusión

Las principales diferencias dentro de los grupos son la mayor variación de la altura de las cúspides para el femenino y la mayor compresión mesiodistal para el masculino, así como el desplazamiento relativo continuo de las cúspides y las fosas. Sin embargo, también se observan otros componentes de la forma en los grupos. Dentro de los individuos femeninos, se observó un movimiento relativo de las cúspides vestibulares hacia vestibular, como también, compresión dental general que produjo un desplazamiento de las cúspides hacia el centro del diente. Por otro lado, los individuos masculinos también mostraron variaciones de altura y un aumento en la faceta de la superficie mesiolingual de la cúspide distovestibular.

Al observar las diferentes distribuciones se observa que el grupo femenino presenta una distribución más homogénea con respecto a su forma general, mientras que el grupo masculino, aunque muestra una forma más variable, muestra una variación más restringida para la forma de consenso. Este

resultado es consistente con la varianza acumulativa observada en cada grupo, donde en las mujeres se logra con los 6 primeros PC, mientras que para el grupo masculino es con los 7 primeros PC. En todos los análisis que se llevaron a cabo se demuestra que la amplia variabilidad de los masculinos y la superposición de las formas entre los grupos dificultan la discriminación sexual. La diferencia entre medias del análisis de función discriminante mostró un valor de $p > \alpha$, por lo que no existe suficiente evidencia en estos resultados para rechazar la hipótesis nula que indicaba que: las matrices de vectores que describen la forma de los molares no presentan diferencias significativas entre sexos, por lo tanto, se acepta esta hipótesis y se rechaza la hipótesis alternativa.

En un nivel general se observó que esta investigación tuvo resultados similares a los de Ferrario et al. (1999), Yong et al., (2018) y López-Lázaro (2015) en los cuales no se encontraron diferencias significativas entre las formas de los dientes al estudiar su dimorfismo sexual con morfometría geométrica. En comparación particular con la tesis de López-Lázaro (ibid.) donde también se evaluó dimorfismo en el segundo molar superior, se observaron similitudes en la superposición de las formas en PCA y CVA. Sin embargo, se presentan también diferencias entre estas investigaciones: el PCA requirió mayor número de PCs para explicar la varianza acumulativa en comparación con la muestra de Cementerio General; en el análisis de función discriminante los porcentajes de precisión en la clasificación fueron menores que los de Cementerio General si bien coinciden en que el grupo masculino es mejor evaluado con variables originales y al utilizar la validación cruzada, también es el grupo que desciende en un mayor porcentaje

En cuanto las decisiones metodológicas se observaron diferencias con otras investigaciones similares (López-Lázaro, 2015; López-Lázaro et al., 2018; Rodríguez, 2017; Polychronis et al., 2013; Yong et al., 2018), donde además de hitos tipo 1 y 2 se incluyen hitos tipo 3, semihitos y/o pseudohitos con el propósito de obtener más información sobre la superficie oclusal y el contorno. Estos tipos de hitos no se utilizaron en esta investigación ya que son menos informativos que los hitos 1 y 2, además de ser más difíciles de posicionar. En la investigación de López-Lázaro (ibid.) donde se estudió el segundo molar superior, la selección de hitos fue similar a la presentada en esta investigación, a diferencia de que no se incluyó la fosa distal como se hizo en esta muestra. En otras investigaciones se ha contemplado la variable del tamaño a través del tamaño del centroide, lo que ha permitido observar diferencias morfológicas entre sexos en los dientes (Ferrario et al., 1999 y Polychronis et al., 2013). En dichas investigaciones, al incluir forma y tamaño en el análisis se encontraron diferencias significativas solo en la variación del tamaño. Por otro lado, en López-Lázaro (2015) y López-Lázaro et al., (2018) se logró una estimación con mejores porcentajes de discriminación al analizar la variación de forma y tamaño en comparación con la forma por si sola. Por lo tanto, se plantea como proyección el incluir otros tipos de hitos como también la variable del tamaño a través del tamaño del centroide dentro del análisis.

Admisibilidad para las ciencias forenses

La morfometría geométrica se presenta como una metodología recientemente integrada en el ámbito forense, no obstante, ha demostrado amplias ventajas en su aplicación por mayor objetividad (en relación a métodos morfoscópicos tradicionales) bajos niveles de error intra e inter observador, y resultados consistentes (González et al., 2009), aspectos que, como se mencionaba anteriormente, dan cuenta de que la metodología está acorde a los requerimientos para las ciencias forenses a partir de los criterios de Daubert de confiabilidad, validez, y baja tasa de error (Ousley y Hollinger, 2012). Algunas investigaciones de las últimas décadas que han utilizado esta metodología en el área forense para indagar en su utilidad en la estimación de sexo se han focalizado en el estudio del cráneo, la pelvis, huesos largos como el húmero y también otras estructuras como los dientes (Kimmerle et al., 2008; Buck y Vidarsdottir, 2004; González et al., 2009; Kranioti et al., 2009; López-Lázaro, 2015; López-Lázaro et al., 2018).

Para discutir los resultados obtenidos en vinculación con la antropología forense, se buscó evaluar la admisibilidad estos como evidencia en base a los criterios de Daubert y sus repercusiones en los estándares científicos para un contexto legal. A partir de estos planteamientos, Christensen et al. (2009) proponen utilizar el $\geq 80\%$ de confiabilidad en las pruebas científicas como referencia para la admisibilidad. Como se observaba en los resultados expuestos con anterioridad, los valores de la discriminación entre sexos a través del análisis de función discriminante no superaron el 80%, lo que implica que, aunque el error intra e inter observador ha sido mínimo, no calificaría como un método válido para presentar en un caso de jurisprudencia médico legal.

Avances y proyecciones

Finalmente, se promueve la utilización de la morfometría geométrica como un aporte innovador en distintas áreas, como el desarrollo de estudios forenses más allá de la estimación de sexo y el perfil biológico. Esta metodología se ha presentado eficiente en la evaluación de diferencias morfológicas para diversas estructuras. Ejemplo de esto son investigaciones recientes vinculadas al área forense como los estudios en tafonomía y marcas de corte (Courtenay et al., 2019a; Courtenay et al., 2019b; Maté-González et al., 2019) y sobre la anatomía de la articulación atlanto-occipital para la re-asociación de restos óseos (Dudar y Castillo, 2019). Así también, en zooarqueología se han generado novedosos estudios a partir del uso de la morfometría geométrica como, por ejemplo, en la evaluación de la diferencia morfológica entre una misma especie animal (*O. aries astragali*) en sitios arqueológicos de un mismo contexto cultural (Haruda et al., 2019).

Con respecto al tema de la estimación de sexo a través de los dientes con morfometría geométrica, se promueve que a futuro persistan los avances

procurando tener tamaños muestrales grandes para poder validar estadísticamente los resultados. Del mismo modo, sería positivo en investigaciones futuras incluir las variables tanto de forma como de tamaño dentro de lo posible para poder comprender el comportamiento de la morfología en su complejidad de forma más completa.

Pese a que los resultados indican que la forma no logró discriminar correctamente entre sexos, se rescata el aporte de esta investigación en la construcción de conocimiento nuevo, en una muestra no trabajada hasta ahora con morfometría geométrica en 3D para la estimación de sexo.

XI. Conclusiones

1. Las principales características de la forma según sexos observadas fueron: una mayor variación relativa en altura y movimiento de las cúspides vestibulares hacia vestibular para el grupo femenino; una variación relativa de la compresión mesiodistal, y movimiento general de cúspides y fosas en el grupo masculino
2. Los principales resultados de la discriminación entre sexos fueron: la presencia de superposición de los grupos en PCA, CVA, y función discriminante. En el PCA el grupo masculino se diferenció por una mayor variación relativa de la forma. El análisis discriminante estimó con un 76 a 77,4% la pertenencia a los grupos. En el CVA el sexo femenino se asoció a los valores negativos, en tanto que el sexo masculino hacia los valores positivos.
3. Las matrices de vectores no mostraron una distinción significativa entre los sexos.

Limitaciones del estudio y dificultades metodológicas

En un comienzo, la muestra obtenida se vio reducida por algunos factores enunciados con anterioridad: la presencia de antecedentes de edad y sexo, sumados a los criterios de exclusión puestos para asegurar una superficie oclusal óptima para el estudio. Sin embargo, el haber limitado el rango permitió trabajar con registros de información óptimos, necesarios para la comprobación de metodologías, así como también fue positivo mantener los criterios de exclusión por el buen funcionamiento de la metodología a pesar de tener una muestra limitada, la cual podría compararse en estudios futuros con otras muestras históricas o datos odontológicos actuales.

Otro factor que podría considerarse limitante en esta investigación es que, con el fin de acotar el estudio a una memoria de pregrado se prefirió considerar solo la forma y no el tamaño de los dientes para la estimación de sexo, variable que podría haber entregado más información sobre la morfología del diente y eventualmente las diferencias entre sexos. No obstante, se piensa como recomendación agregar esta variable para estudios futuros en el área.

Con respecto a las dificultades metodológicas que tuvieron lugar en la obtención de resultados, los cambios de formato entre programas resultaron un problema que llevó a la necesidad de volver a posicionar los hitos para poder observar la deformación de las mallas como se observan finalmente. En un primer momento se estaba utilizando Landmark Editor (Wiley et al., 2005) pero los archivos de este programa no eran compatibles con el programa Evan Toolbox (Bookstein y Weber, 2012) dónde se esperaba observar la deformación de las mallas a partir del PCA. Por lo tanto, hubo que posicionar nuevamente los hitos en este último software.

XII. 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, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.

Alt, K. W., Rösing, F. W., y Teschler-Nicola, M. (Eds.). (2012). *Dental anthropology: fundamentals, limits and prospects*. Springer Science y Business Media.

Alvesalo, L. (1997). Sex chromosomes and human growth. *Human Genetics*, 101(1), 1–5.

Angadi, P. V., Hemani, S., Prabhu, S., y Acharya, A. B. (2013). Analyses of odontometric sexual dimorphism and sex assessment accuracy on a large sample. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 20(6), 673-677.

Badyaev, A. V. (2002). Growing apart: an ontogenetic perspective on the evolution of sexual size dimorphism. *Trends in Ecology y Evolution*, 17(8), 369-378.

Bernal, V. (2007). Size and shape analysis of human molars: comparing traditional and geometric morphometric techniques. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology*, 58(4), 279-296.

Black, S., y Ferguson, E. (Eds.). (2011). *Forensic anthropology: 2000 to 2010*. CRC Press.

Bolnick, D. A. (2008). Individual Ancestry inference and the reification of race as a biological phenomenon. En Koenig, B. A., Lee, S. S. J., & Richardson, S. S. (Ed.) *Revisiting Race in a Genomic Age*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric Tools for Landmark Data: geometry and biology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Bookstein, G., y Weber F. (2012), EVAN Toolbox software (European

Virtual Anthropology Network Society, <http://www.evan-society.org>)

Brooks, S., y Suchey, J. M. (1990). Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Human evolution*, 5(3), 227-238.

Brown, R. A. y Armelagos, G. J. (2001). Apportionment of racial diversity: A review. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews: Issues, News, and Reviews*, 10(1), 34-40.

Buck, T. J., y Vidarsdottir, U. S. (2004) A proposed method for the identification of race in sub-adult skeletons: a geometric morphometric analysis of mandibular morphology, *Journal of Forensic Science*, 49, 1159–1164

Cameriere, R., De Luca, S., Alemán, I., Ferrante, L., y Cingolani, M. (2012). Age estimation by pulp/tooth ratio in lower premolars by orthopantomography. *Forensic science international*, 214(1-3), 105-112.

Cattaneo, C. (2007). Forensic anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium. *Forensic science international*, 165(2-3), 185-193.

Christensen, A. M. y Crowder, C. M. (2009), Evidentiary Standards for Forensic Anthropology. *Journal of Forensic Sciences*, 54(6), 1211-1216.

Christensen, A. M., Passalacqua, N. V. y Bartelink, E. J. (2014). *Forensic anthropology: current methods and practice*. Academic Press.

CONICYT. (2006). Concurso Iniciación en Investigación 2016. 08-12-2018, de CONICYT Sitio web: <http://www.conicyt.cl/fondecyt/2016/04/01/concurso-iniciacion-en-investigacion-2016/#tab-05>

Courtenay, L. A., Yravedra, J., Aramendi, J., Maté-González, M. Á., Martín-Perea, D. M., Uribelarrea, D., Baquedano, E.; González-Aguilera, D.; Domínguez-Rodrigo, M. (2019a). Cut marks and raw material exploitation in the lower pleistocene site of Bell's Korongo (BK, Olduvai Gorge, Tanzania): A geometric morphometric analysis. *Quaternary International*, 526, 155–168.

Courtenay, L. A., Yravedra, J., Huguet, R., Ollé, A., Aramendi, J., Maté-González, M. Á., y González-Aguilera, D. (2019b). New taphonomic advances in 3D digital microscopy: a morphological characterisation of trampling marks. *Quaternary International*, 517, 55-66.

Cunningham, C., Scheuer, L., y Black, S. (2016). *Developmental juvenile osteology*. Academic Press.

De Luca, S., Alemán, I., Bertoldi, F., Ferrante, L., Mastrangelo, P., Cingolani, M., y Cameriere, R. (2010). Age estimation by tooth/pulp ratio in canines by peri-apical X-rays: reliability in age determination of Spanish and Italian medieval skeletal remains. *Journal of Archaeological Science*, 37(12),

3048- 3058.

Degani, S. (2001). Fetal biometry: clinical, pathological, and technical considerations. *Obstetrical y Gynecological Survey*, 56(3), 159–167.

Dirkmaat, D.C., Cabo, L.L., Ousley, S.D., y Symes, S.A. (2008). New perspectives in forensic anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 137, 33–52.

Dudar, J. C., y Castillo, E. R. (2019). Quantification of anatomical variation at the atlanto-occipital articulation: morphometric resolution of commingled human remains within the repatriation documentation process. *Journal of anatomy*, 235(2), 396-411.

Ferrario, V. F., Sforza, C., Tartaglia, G. M., Colombo, A., y Serrao, G. (1999). Size and shape of the human first permanent molar: a Fourier analysis of the occlusal and equatorial outlines. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 108(3), 281-294

Fradella, H. F., O'Neill, L., y Fogarty, A. (2004). The Impact of Daubert on Forensic Science. *Pepperdine Law Review*, 31(2), 1.

Garn, S. M., Lewis, A. B., Swidler, D. R. y Kerewsky, R. S. (1967). Genetic control of sexual dimorphism in tooth size. *Journal of dental research*, 46(5), 963-972.

Gómez-Robles, A. (2010). Análisis de la forma dental en la filogenia humana. Tendencias y modelos evolutivos basados en métodos de morfometría geométrica. Tesis doctoral, Universidad de Granada.

González, P. N., Bernal, V., y Perez, S. I. (2009). Geometric morphometric approach to sex estimation of human pelvis. *Forensic Science International*, 189(1-3), 68-74.

Goodman, A. H., Moses, Y. T., & Jones, J. L. (2019). *Race: Are we so different?* John Wiley & Sons.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., y Ryan, P.D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), 9.

Haruda, A. F., Varfolomeev, V., Goriachev, A., Yermolayeva, A., y Outram, A. K. (2019). A new zooarchaeological application for geometric morphometric methods: Distinguishing *Ovis aries* morphotypes to address connectivity and mobility of prehistoric Central Asian pastoralists. *Journal of Archaeological Science*, 107, 50-57.

Hillson, S. (1996). *Dental anthropology*. Cambridge University Press.

Işcan, M. Y. y Loth, S. R. (1989). Osteological manifestations of age in the

adult. *Reconstruction of Life from the Skeleton*, 23-40.

Işcan, M. Y., & Steyn, M. (2013). *The human skeleton in forensic medicine*. Charles C Thomas Publisher.

Kelley, M. A., y Larsen, C. S. (1991). *Advances in Dental Anthropology*. Wiley- Liss, Nueva York.

Kendall, D. G. (1977). The diffusion of shape. *Advances in applied probability*, 9(3), 428- 430.

Kimmerle, E. H., Ross, A. y Slice, D. (2008) Sexual dimorphism in America: geometric morphometric analysis of the craniofacial region, *Journal of Forensic Science*, 53, 54–57.

Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353–7

Koo, T. K., y Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intra-class Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163.

Kranioti, E. F., Bastir, M., Sánchez-Meseguer, A., y Rosas, A. (2009). A geometric-morphometric study of the Cretan humerus for sex identification. *Forensic science international*, 189(1-3), 111-e1.

Krenzer, U. (2006). *Compendio de Métodos Antropológico Forenses para la Reconstrucción del Perfil Osteo-Biológico*. Centro de Análisis Forense y Ciencias Aplicadas, Guatemala.

Lamendin, H., Baccino, E., Humbert, J. F., Tavernier, J. C., Nossintchouk, R. M., y Zerilli, A. (1992). A simple technique for age estimation in adult corpses: the two criteria dental method. *Journal of Forensic Science*, 37(5), 1373-1379.

Lemp, C., Rodríguez, M., Retamal, R., y Aspillaga, E. (2008). Arqueología del depósito: manejo integral de las colecciones bioantropológicas en el Departamento de Antropología de la Universidad de Chile.

López-Lázaro, S. (2015). Análisis de morfometría geométrica en dentición humana. Estimación del sexo en población mediterránea. Tesis Doctoral, Universidad de Granada.

López-Lázaro, S., Alemán, I., Viciano, J., Irurita, J., y Botella, M. C. (2018). Sexual dimorphism of the first deciduous molar: A geometric morphometric approach. *Forensic science international*, 290, 94-102.

Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., Pryzbeck, T. R., y Mensforth, R. P. (1985). Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: a new method for the determination of adult skeletal age at death. *American journal of physical anthropology*, 68(1), 15-28.

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 de magíster en Bioestadística, Universidad de Chile.

Maté-González, M. Á., Courtenay, L. A., Aramendi, J., Yravedra, J., Mora, R., González-Aguilera, D., y Rodrigo, M. D. (2019). Application of geometric morphometrics to the analysis of cut mark morphology on different bones of differently sized animals. Does size really matter? *Quaternary international*.

Osborne, D. L., Simmons, T. L., y Nawrocki, S. P. (2004). Reconsidering the auricular surface as an indicator of age at death. *Journal of Forensic Science*, 49(5), JFS2003348-7.

Ousley, S. D., y Hollinger, R. E. (2012). The pervasiveness of Daubert. *A companion to forensic anthropology*, 654-665.

Passalacqua, N. V., Christensen, A. M., y Hefner, J. T. (2018). Forensic Anthropology: A Journal for our Discipline. *Forensic Anthropology*, 1(1), 1-3

Peckmann, T., Logar, C., Garrido-Varas, C. E., Meek, S., y Pinto, X. T. (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.

Polychronis, G., Christou, P., Mavragani, M., y Halazonetis, D. J. (2013). Geometric morphometric 3D shape analysis and covariation of human mandibular and maxillary first molars. *American journal of physical anthropology*, 152(2), 186-196.

Pretty, I. A., y Sweet, D. (2001). forensic dentistry: A look at forensic dentistry– Part 1: The role of teeth in the determination of human identity. *British dental journal*, 190(7), 359.

Prince, D. A., y Ubelaker, D. H. (2002). Application of Lamendin's adult dental aging technique to a diverse skeletal sample. *Journal of Forensic Science*, 47(1), 107-116.

Rai, B., y Kaur, J. (2012). *Evidence-based forensic dentistry*. Springer Science and Business Media.

Rigby, N., & Kulathinal, R. J. (2015). Genetic architecture of sexual dimorphism in humans. *Journal of cellular physiology*, 230(10), 2304-2310.

Rodríguez, F. (2017). Dimorfismo Sexual del Diente Canino en Población Santiaguina Actual aplicando Morfometría Geométrica. Memoria para optar al Título Profesional de Antropólogo Físico, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile

Ross, A. H., y Manneschi, M. J. (2012). Corrigendum to “New identification criteria for the Chilean population: Estimation of sex and stature” [Forensic Sci.

Int. 204 (2011) 206. e1–206. e3]. *Forensic Science International*, 1(223), 376.

Sheets, H. D. y Webster, M. (2010). A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. *Quantitative methods in paleobiology*, 16, 168-188.

Stewart, T. D. (1979). *Essentials of forensic anthropology: especially as developed in the United States*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.

Steyn, M., y Işcan, M. Y. (2008). Metric sex determination from the pelvis in modern Greeks. *Forensic science international*, 179(1), 86-e1.

Suazo, I., Cantín, M., López, B., Sandoval, C., Torres, S., Gajardo, P., y Gajardo, M. (2008). Sexual Dimorphism in Mesiodistal and Bucolingual Tooth Dimensions in Chilean People. *International Journal of Morphology*, 26(3), 609-614.

Todd, T. W. (1920). Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis. *American Journal of Physical Anthropology*, 3(3), 285-334.

Toro Ibacache, M. V., Manríquez Soto, G., y Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977–990.

Viciano, J., López-Lázaro, S., y Alemán, I. (2013). Sex estimation based on deciduous and permanent dentition in a contemporary spanish population. *American Journal of Physical Anthropology*, 152(1), 31–43.

Von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B. C., y Lahr, M. M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 134(1), 24-35.

Walrath, D. E., Turner, P., y Bruzek, J. (2004). Reliability test of the visual assessment of cranial traits for sex determination. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 125(2), 132-137.

Wiley D. F., Amenta N., Alcantara D. A., Ghosh D., Kil Y. J., Delson E., Harcourt-Smith W., Rohlf F. J., St. John K., Hamann B. (2005). Evolutionary morphing. *Visualization 2005*, 431-438.

Yong, R., Ranjitkar, S., Lekkas, D., Halazonetis, D., Evans, A., Brook, A., y Townsend, G. (2018). Three-dimensional (3D) geometric morphometric analysis of human premolars to assess sexual dimorphism and biological ancestry in Australian populations. *American journal of physical anthropology*, 166(2), 373-385.

Zadzińska, E., Karasińska, M., Jedrychowska-Dańska, K., Watala, C., y Witas, H. W. (2008). Sex diagnosis of subadult specimens from Medieval Polish archaeological sites: Metric analysis of deciduous dentition. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology*, 59(3), 175–187.

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., y Sheets, H. D. (2012). *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Academic Press.