



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
ODONTOLÓGICAS
ÁREA DE ANATOMÍA
CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN ANTROPOLOGÍA
DENTAL

**Forma de la fosa mandibular en poblaciones con
diferente intensidad de carga masticatoria y
relación maxilomandibular. Estudio mediante
morfometría geométrica.**

Camila Andrea Trujillo Schaper

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA

TUTOR PRINCIPAL

Dra. Viviana Toro Ibacache

Adscrito a Proyecto FONDECYT 11150175
Santiago - Chile
2018



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
ODONTOLÓGICAS
ÁREA DE ANATOMÍA
CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN
ANTROPOLOGÍA DENTAL

**Forma de la fosa mandibular en poblaciones
con diferente intensidad de carga masticatoria y
relación maxilomandibular. Estudio mediante
morfometría geométrica**

Camila Andrea Trujillo Schaper

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA

TUTOR PRINCIPAL
Dra. Viviana Toro Ibacache

Adscrito a Proyecto FONDECYT 11150175
Santiago - Chile
2018

Agradecimientos

Gracias a todos los que me acompañaron durante este año, y en especial a mi tutora, la Dra. Vivi, por hacer de este proceso uno tan ameno.

Tabla de contenido

1.	RESUMEN	7
2.	INTRODUCCIÓN.....	8
3.	MARCO TEÓRICO	9
3.1.	EMBRIOLOGÍA DE LOS COMPONENTES DE LA ARTICULACIÓN TEMPOROMANDIBULAR	9
3.2.	ANATOMÍA DE LA FOSA MANDIBULAR	10
3.4.	REMODELACIÓN ÓSEA.....	13
3.5.	ARTICULACIÓN TEMPOROMANDIBULAR Y FUNCIÓN MASTICATORIA	16
3.6.	EVIDENCIA DISPONIBLE SOBRE LA VARIACIÓN MORFOLÓGICA DEPENDIENTE DE CARGA MASTICATORIA EN LOS COMPONENTES DE LA ARTICULACIÓN TEMPOROMANDIBULAR.....	19
3.7.	POBLACIONES ARQUEOLÓGICAS Y MODERNAS COMO MODELO DE ESTUDIO.....	20
3.8.	MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA	22
3.9.	JUSTIFICACIÓN Y RELEVANCIA ACTUAL.....	24
4.	HIPÓTESIS.....	26
5.	OBJETIVO GENERAL	26
6.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
7.	METODOLOGÍA.....	26
7.1.	MUESTRA.....	26
7.2.	OBTENCIÓN DE LOS DATOS PRIMARIOS	29
7.3.	ANÁLISIS.....	32
7.3.1.	ANÁLISIS PRELIMINARES	33
7.3.2.	ANÁLISIS EXPLORATORIOS Y CONFIRMATORIOS.....	33
8.	RESULTADOS.....	35
8.1.	ANÁLISIS PRELIMINARES.....	35
8.2.	ANÁLISIS EXPLORATORIOS Y CONFIRMATORIOS	36
8.2.1.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	36
8.2.2.	ANÁLISIS DE VARIABLES CANÓNICAS.....	37
9.	DISCUSIÓN.....	45
10.	CONCLUSIÓN	49

11. BIBLIOGRAFÍA	50
12. ANEXOS	57

1. Resumen

Se ha visto que a lo largo de la evolución el ser humano ha ido variado la forma de estructuras como la cabeza y el cráneo. Se sabe que esto ha ocurrido en estrecha relación con factores genéticos, como también con factores ambientales, dentro de los cuales podemos encontrar las cargas ejercidas por los músculos. En el caso del macizo craneofacial, se especula que muchas de las variaciones morfológicas han ocurrido por las cargas masticatorias, las cuales varían en gran parte por el tipo de dieta.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar la variación morfológica de la fosa mandibular izquierda en poblaciones con diferentes tipos de dieta y con distinta relación maxilomandibular. Esta tesis corresponde a un estudio transversal descriptivo, en el cual se analizaron 149 reconstrucciones tridimensionales creadas a partir de tomografías computadas (TCs) de individuos adultos provenientes de poblaciones arqueológicas y actuales de Chile y Argentina. Los individuos de la muestra se clasificaron según carga masticatoria (intensa, intermedia, leve) y relación maxilomandibular (clase esquelética alterada tipo II y III). Utilizando como herramienta la morfometría geométrica, se observó que los grupos de carga intensa, intermedia y leve tienen fosas mandibulares con morfologías similares: mayor tamaño mediolateral que anteroposterior, y de una profundidad media en relación con los otros dos grupos. Los grupos de carga alterada clase II y clase III tienen una fosa mandibular más profunda y de mayor tamaño en sentido anteroposterior que mediolateral, haciéndose este efecto aún más pronunciado en el grupo de carga alterada clase III.

Como conclusión, no se encontró evidencia para decir que existe una relación entre la intensidad de carga y la morfología de la fosa mandibular. Sin embargo, si se encontró evidencia de que existe una asociación entre la relación maxilomandibular y la morfología de la fosa mandibular.

2. Introducción

A lo largo de la evolución, el ser humano ha ido variando la forma de su cuerpo y de su cabeza. La cara ha disminuido su tamaño en sentido anteroposterior y supero-inferior, las órbitas se han vuelto más rectangulares, el neurocráneo ha tomado una forma más esférica (Lieberman, 2008). Estos cambios han sido progresivos y han sucedido en un lapso de miles de años, ocurriendo tanto por mutaciones genéticas como por adaptación a su hábitat y estilos de vida.

Se ha visto que la carga masticatoria se relaciona en mayor o menor medida con la forma de algunas estructuras de la cabeza, como la mandíbula y el maxilar. La carga masticatoria puede variar tanto por el tipo de alimentación del individuo, como por la relación maxilomandibular que éste tenga.

En el presente estudio se analizará la forma de la fosa mandibular, estructura que articula con la cabeza mandibular, en poblaciones arqueológicas y modernas, y que según se ha observado en estudios previos, sufre de microdeformaciones durante la masticación, particularmente en cráneos estructuralmente débiles (Vidaurre, 2018). El objetivo será evaluar la existencia de una relación entre la morfología de la fosa mandibular y la carga a la que ésta ha sido sometida, tanto por el tipo de dieta de los individuos, como por la relación maxilomandibular.

Para el estudio se utilizará como herramienta la morfología geométrica, técnica que ha sido de mucha utilidad para estudiar y resolver interrogantes respecto a las variaciones de la forma.

3. Marco Teórico

3.1. Embriología de los componentes de la articulación temporomandibular

El desarrollo de los componentes de la articulación temporomandibular (ATM) es un proceso complejo, que difiere del desarrollo de otras articulaciones sinoviales del cuerpo humano, en que es la última articulación sinovial en comenzar su desarrollo intrauterino (Sperber *et al.*, 2010; Bender *et al.*, 2018). Según Kalim (2017), la formación de esta articulación depende de la función e interacción normales de varios tejidos precursores que derivan del primer arco faríngeo y que incluyen: células de la cresta neural que van a dar lugar a la porción escamosa del hueso temporal y a la mandíbula, y células mesenquimales que van a dar origen al disco articular y a los músculos masticatorios. El desarrollo de la ATM comienza durante la séptima semana de vida intrauterina, y continua hasta la adultez, pero tiene un periodo crítico de desarrollo que va entre las semanas 7-12 de vida intrauterina, en los que se establece la arquitectura general de la zona (Kalim, 2017). La ATM se desarrolla a partir de los blastemas temporal y condilar, los cuales se encuentran ampliamente separados en un comienzo, y crecen el uno hacia el otro. El blastema temporal proviene de la cápsula ótica, mientras que el blastema condilar proviene del cartílago secundario de la mandíbula (Figura 1). En contraste con otras articulaciones sinoviales, se forma fibrocartílago, en vez de cartílago hialino, en las facetas articulares de la fosa mandibular y del proceso condilar. En este último, el cartílago secundario de la mandíbula actúa como centro de crecimiento (Sperber *et al.*, 2010). Los blastemas se pueden visualizar a partir de las semanas 7 y 8 de desarrollo intrauterino. Posteriormente, durante las semanas 9-12 de desarrollo intrauterino, se forman los compartimentos articulares y el disco articular, así como también se comienza a formar la cápsula articular, y se produce la condricificación del proceso condilar (Mérida-Velasco *et al.*, 1999; Sperber *et al.*, 2010). En este mismo periodo, la fosa mandibular comienza siendo convexa, pero se vuelve progresivamente cóncava (Sperber *et al.*, 2010). Según Kalim (2017), durante la semana 12 de vida intrauterina se produce un aumento de tamaño de las estructuras de la ATM: existe un aumento de crecimiento óseo tanto del proceso condilar como del componente óseo del hueso temporal. El mismo autor relata que, además, aparece tejido mesenquimático vascular dentro del cartílago condilar. En

las semanas que siguen de desarrollo intrauterino, existe un aumento de tamaño generalizado de los componentes de la articulación, un desarrollo de vasos sanguíneos y nervios, formación de trabéculas óseas, espacios medulares y células hematopoyéticas, en conjunto con el desarrollo de tejidos sinoviales (Kalim, 2017).

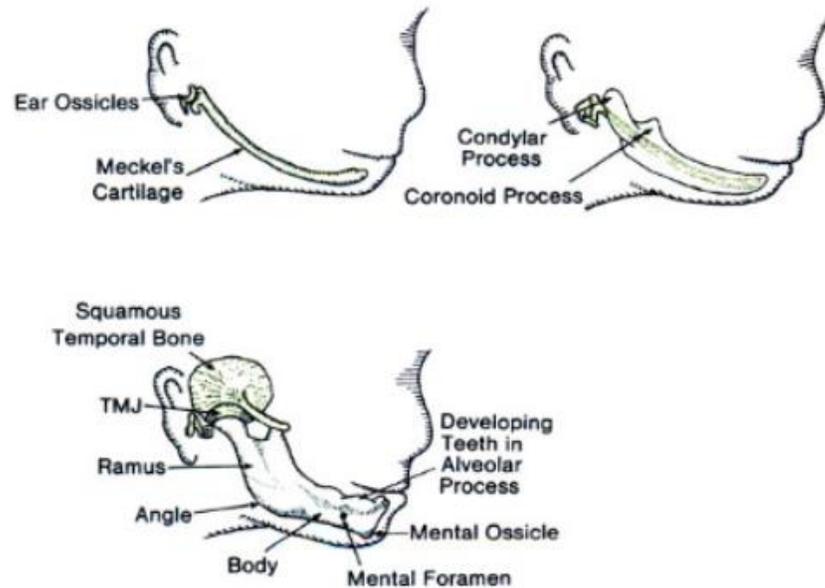


Figura 1. Desarrollo de la mandíbula y de los componentes de la articulación temporomandibular. Imagen modificada de Sperber y cols. (2010).

3.2. Anatomía de la fosa mandibular

La fosa mandibular es una estructura que pertenece al hueso temporal (Figura 2). Dos huesos temporales forman parte del cráneo humano, y éstos contribuyen a formar la base y las paredes laterales del mismo. Cada hueso temporal se encuentra compuesto de tres partes: la porción petrosa, la porción timpánica y la porción escamosa, siendo ésta última la de mayor tamaño. La porción escamosa se puede segmentar a su vez en tres partes: la cara temporal, el proceso cigomático y la fosa mandibular. La fosa mandibular es inferior y medial al proceso cigomático y articula con la cabeza mandibular, formando de esta manera la articulación temporomandibular. La fosa mandibular tiene forma elíptica, con su eje mayor dirigido de lateral a medial y de anterior a posterior. Su pared anterior está constituida por el tubérculo articular, el cual se alarga de forma horizontal sobre la

cara inferior del hueso temporal. La fisura timpanoescamosa, la cual se bifurca en la fisura petroescamosa por anterior y la fisura petrotimpánica por posterior, divide la fosa en dos partes: una anterior y articular que forma parte de la porción escamosa del hueso temporal, y una parte posterior y no articular constituida por la porción timpánica del hueso temporal (Norton, 2012; Rouviere y Delmas, 1999).

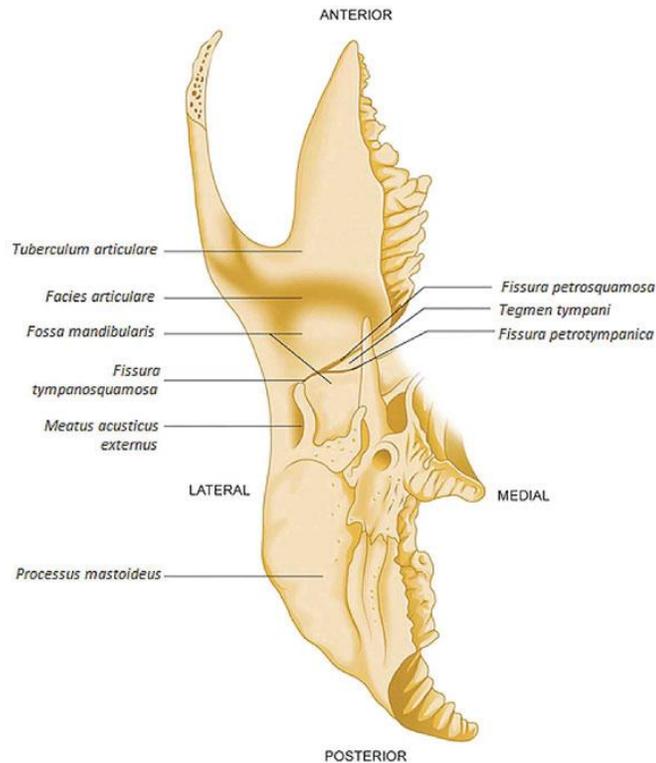


Figura 2. Vista inferior del hueso temporal. Se observan los reparos anatómicos anteriormente mencionados: la fosa mandibular, el tubérculo articular, la fisura timpanoescamosa y su bifurcación. Imagen modificada de Fuentes y cols. (2015).

3.3. ¿Qué genera la variación morfológica craneofacial?

Según Bruner (2007), en 1960 se propuso el término craneología funcional para explicar un innovador enfoque para el estudio del cráneo humano en función de las relaciones estructurales y funcionales entre sus componentes. El cráneo está formado por estructuras anatómicas dispuestas en una red física, en la cual el resultado de la evolución de los caracteres morfológicos y por lo tanto de su

anatomía, depende tanto de los campos de crecimiento genéticamente determinados, como de la interacción de las fuerzas y de las restricciones entre las partes involucradas (Bruner, 2007). Según el autor, en términos de la interacción física, la morfología craneal es el resultado de presiones y tensiones asociadas con órganos en expansión (como el cerebro), tejidos conectivos de unión, suturas en contacto, desplazamientos óseos e influencias musculares.

Se ha visto que los músculos elevadores de la mandíbula juegan un rol importante en las magnitudes de la fuerza de mordida, así como también en la generación de fuerzas de reacción en la articulación temporomandibular, por lo que el tipo de alimentación y las propiedades mecánicas de la dieta son imprescindibles de tomar en cuenta a la hora de determinar las magnitudes de fuerza de mordida (y por lo tanto la actividad muscular) a las que han estado sometidos los cráneos de los individuos a lo largo del tiempo (Toro-Ibacache y O'Higgins, 2016; Sellers y Crompton, 2004). En poblaciones más antiguas, los cazadores-recolectores se alimentaban básicamente de productos animales (con un nivel muy básico de procesamiento), plantas salvajes, y semillas; alimentos duros y tenaces, mecánicamente más resistentes que exigían gran trabajo por parte de los músculos masticatorios (Crittenden y Schnorr, 2017). Más adelante surgieron las poblaciones de agricultores, y con éstas las plantaciones de frutas, verduras y cereales varios, con una disminución de productos animales y un grado mayor de procesamiento (González-José *et al.*, 2005). Finalmente, en la actualidad contamos con muchos alimentos altamente procesados química y mecánicamente de consistencia más blanda, disminuyendo así el trabajo de trituración que realizan los músculos masticatorios, dientes y huesos (Monteiro *et al.*, 2010).

Estudios avalan que la fuerza ejercida por los músculos y la morfología ósea se encuentran relacionados a través del proceso de remodelación ósea. Los músculos al contraerse provocan microdeformaciones en el hueso en que se insertan, y el aumento o la disminución de estas tensiones generadas por los músculos provocan cambios en la cantidad de hueso formado y reabsorbido, así como también modulan la dirección de su crecimiento, proceso que se conoce como remodelación ósea (Toro-Ibacache *et al.*, 2016). Cuando las microdeformaciones del tejido óseo superan el umbral de remodelado del hueso, la remodelación ósea se activa para fortalecer el tejido. Contrariamente, cuando las microdeformaciones se mantienen

por debajo del umbral, ocurre la “remodelación ósea en modo desuso”. Este tipo de remodelación remueve hueso trabecular y endocortical en un rango de mantención para que la estructura ósea sea capaz de deformarse ante las cargas disminuidas (Frost, 2004).

Con la dieta suave y blanda de las poblaciones modernas, se inducirían menos deformaciones en los huesos por los músculos masticatorios, lo que estaría conllevando a un menor desarrollo de las estructuras óseas del cráneo y la cara. Este efecto no es en extremo marcado, y sería secundario a otros factores como la ancestría y factores metabólicos. Sin embargo, es más marcado en los casos extremos de alteraciones de la oclusión, como las clases II y III esqueléticas (Eyquem, 2018).

La relación maxilomandibular es entonces un factor que podría afectar las cargas masticatorias porque se ha visto que pacientes con tipos esqueléticos clase II y III presentan alteraciones en la forma del maxilar y del paladar, cuando se comparan con individuos con tipo esquelético clase I (Eyquem, 2018).

3.4. Remodelación ósea

Con el fin de mantener la estabilidad y la integridad, el tejido óseo está sometido a constante remodelación, con aproximadamente un 10% de su volumen siendo renovado cada año (Proff y Römer, 2009). La remodelación ósea es un proceso que se lleva a cabo por la acción de una cohorte de células agrupadas dentro de estructuras anatómicas temporales conocidas como “unidades multicelulares básicas” (UMB's). Una UMB activa está formada por un frente de osteoclastos que reabsorben hueso, seguidos de células reversas que remueven colágeno desmineralizado y no digerido de la superficie ósea, preparándola para la aposición de hueso nuevo. Los osteoblastos se encuentran en la cola de la UMB, y secretan tejido óseo no mineralizado conocido como tejido osteoide, el cual posteriormente se mineraliza a hueso laminar maduro. Esta disposición espacial y temporal de las células dentro de la UMB es fundamental para el proceso de remodelación ósea, ya que asegura la coordinación de las distintas fases secuenciales del proceso: activación, reabsorción, inversión, formación y terminación (Raggatt y Partridge, 2010; Kular *et al.*, 2012; Proff y Römer, 2009; Xiao *et al.*, 2016).

El proceso de remodelación ósea está representado en la Figura 3. La primera fase del proceso de remodelación ósea, la fase de activación, implica la detección de una señal de remodelación inicial. Esta señal puede ser de tipo mecánica, en donde la matriz ósea se deforma microscópicamente, los osteocitos detectan cambios en las fuerzas físicas y las traducen en señales biológicas que inician la remodelación ósea; o de tipo hormonal, en donde se produce la remodelación por la acción de una hormona (por ejemplo, estrógeno u hormona paratiroidea PTH) sobre las células óseas en respuesta a cambios sistémicos durante el proceso de homeostasis (Raggatt y Partridge, 2010; Kular *et al.*, 2012).

Luego de la fase de activación, viene la fase de reabsorción, en donde los osteoblastos reclutan precursores de osteoclastos en el sitio de remodelación (Raggatt y Partridge, 2010). Esto ocurre en respuesta a las señales producidas por los osteocitos, o a las señales de activación endocrina. Al haber remodelación ósea inducida por PTH, los osteoblastos secretan la quimiocina MCP-1 (proteína quimioatrayente de monocitos 1), la cual además de reclutar precursores de osteoclastos, promueve la osteoclastogénesis inducida por RANKL (Kular *et al.*, 2012). Los osteoblastos también secretan citoquinas maestras de osteoclastogénesis: CSF-1, RANKL Y OPG, en donde la expresión de las dos primeras aumenta, mientras que la expresión de OPG disminuye. CSF-1 promueve la proliferación y supervivencia de los precursores de osteoclastos, mientras que RANKL se encarga de coordinar la diferenciación de los precursores de osteoclastos a osteoclastos multinucleados, además de promover la actividad de reabsorción. Los osteoblastos secretan también metaloproteinasas de matriz (MMP) en respuesta a las señales tanto mecánicas como endocrinas. Las MMPs degradan el tejido osteoide no mineralizado que cubre la superficie y exponen sitios de adhesión dentro del hueso mineralizado que son necesarios para facilitar la adhesión de los osteoclastos (Xiao *et al.*, 2016; Raggatt y Partridge, 2010; Proff y Römer, 2009). Los osteoclastos se adhieren a estas zonas y crean un microambiente bajo la célula conocido como “zona sellada”, en donde iones de hidrógeno son bombeados, y se produce la disolución de la matriz mineralizada, formándose así las lagunas de reabsorción de Howship. La matriz orgánica remanente es degradada por enzimas colagenolíticas (Proff y Römer, 2009; Raggatt y Partridge, 2010).

En la fase de inversión, las lagunas de Howship permanecen cubiertas con matriz de colágeno desmineralizada y no digerida (Raggatt y Partridge, 2010). Esta matriz remanente tras el paso de los osteoclastos es eliminada por una célula mononuclear de linaje indeterminado, llamada célula reversa. Las células reversas forman un puente celular que conecta a los osteoclastos que reabsorben, con los osteoblastos que forman hueso (Delaisse, 2014). Además de eliminar la matriz de colágeno, se cree que las células reversas juegan un papel importante recibiendo o produciendo señales de acoplamiento que permiten la transición de reabsorción ósea a formación ósea dentro de la UMB (Raggatt y Partridge, 2010; Andersen *et al.*, 2013).

En la fase de formación, la estimulación mecánica y la señal endocrina de la PTH pueden ejercer señales de formación ósea a través de los osteocitos. Al estar en reposo, los osteocitos expresan esclerostina, una molécula soluble que bloquea la vía de señalización Wnt, la cual induce la formación de tejido óseo. La estimulación mecánica y la señalización de la PTH inhiben la expresión de esclerostina en los osteocitos, permitiendo la formación de hueso por la vía de señalización Wnt. (Raggatt y Partridge, 2010; Bellido, 2013) Esta vía establece la densidad mineral ósea basal. Una vez que las células mesenquimales o los progenitores osteoblásticos han regresado a las lagunas de reabsorción, se diferencian y secretan moléculas que finalmente generarán hueso: colágeno tipo I, proteoglicanos, proteínas glicosiladas, lípidos, entre otras. Para que el hueso asuma su forma final, se incorpora hidroxapatita al tejido osteoide recién depositado (Raggatt y Partridge, 2010).

La última fase es la de terminación, y al haberse reemplazado la misma cantidad de tejido óseo reabsorbido, concluye el ciclo de remodelación. No se conoce mucho acerca de la señalización para que el ciclo se termine, pero se cree que los osteocitos podrían estar involucrados. Luego de acabar la mineralización, los osteoblastos maduros sufren apoptosis y regresan a un fenotipo de revestimiento óseo o pasan a formar parte de la matriz mineralizada (Raggatt y Partridge, 2010).

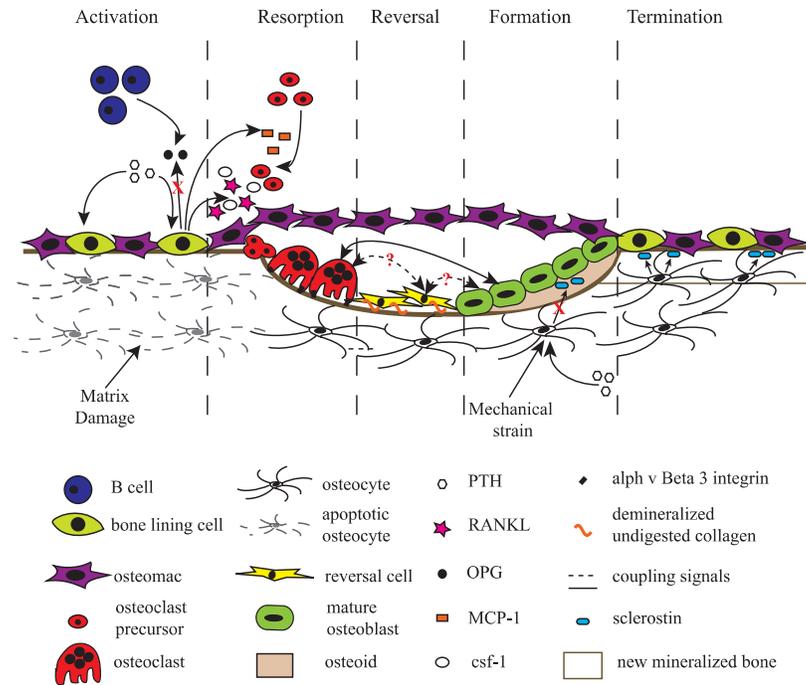


Figura 3. Representación esquemática de la UMB en el proceso de remodelación ósea. Se muestra secuencia del proceso de remodelación ósea con sus cinco fases: activación, reabsorción, inversión, formación y terminación. Imagen modificada de Raggatt y Partridge (2010).

3.5. Articulación temporomandibular y función masticatoria

Con el conocimiento del proceso de remodelación ósea podemos comprender mejor la relación entre el tipo de alimentación de las poblaciones con la presencia de cambios en las estructuras óseas de la cabeza. Una de las estructuras en recibir la mayor cantidad de carga durante la masticación es la articulación temporomandibular, más específicamente la fosa mandibular, la cual recibe cargas a través del proceso condilar y el disco articular (Toro-Ibacache *et al.*, 2016).

La articulación temporomandibular es una articulación sinovial que realiza movimientos de rotación y traslación. Está compuesta por la fosa mandibular y la eminencia articular que forman parte del hueso temporal, por el proceso condilar, que es parte de la mandíbula, y por el disco articular, interpuesto entre los dos huesos (Sava y Scutariu, 2012). Sava y Scutariu (2012), describen la histología de

la articulación temporomandibular como se señala a continuación: las superficies articulares están cubiertas por fibrocartílago avascular y no innervado, con una superficie suave que reduce la fricción entre las superficies articulares; el disco articular está formado por fibrocartílago, que estabiliza, amortigua cargas, permite la percepción sensorial y divide la articulación en dos compartimientos; y rodeando y cubriendo la articulación se encuentra la cápsula articular, cápsula fibrosa que se encuentra revestida en su interior por la membrana sinovial, cuya principal función es la lubricación de la articulación a través del líquido sinovial que secreta.

La articulación temporomandibular cumple un rol importante durante el proceso de masticación. Según Hylander y cols. (2010), los movimientos durante la masticación son una combinación de rotación y traslación, los dos movimientos mandibulares básicos, y, además, los movimientos masticatorios pueden ser de dos tipos generales: un movimiento cortante y uno de trituración. El corte de los alimentos en trozos, a menudo referido como incisión, se lleva a cabo principalmente por los incisivos, pero también puede haber participación de caninos y premolares, mientras que el triturado rítmico y repetitivo de los alimentos se lleva a cabo casi exclusivamente por premolares y molares y se denomina masticación (Hylander *et al.*, 2010). Según el mismo autor, tanto la incisión como la masticación se pueden dividir en tres partes: apertura, cierre y potencia. Estos tres movimientos se combinan para formar un ciclo de masticación. Primero, la depresión de la mandíbula abre la cavidad oral. La extensión de la apertura depende fundamentalmente del tamaño del alimento. En segundo lugar, ocurre la elevación de la mandíbula, donde hay un movimiento hacia arriba y adelante de los incisivos inferiores y un movimiento hacia arriba y hacia atrás de las cabezas mandibulares. Durante la incisión, esta parte del proceso continúa hasta que los incisivos inferiores y superiores entran en contacto con el objeto alimenticio. Finalmente, cuando esto ocurre, la mandíbula continúa cerrándose con la aplicación simultánea de fuerzas sobre el alimento. (Hylander *et al.*, 2010). Durante la masticación en tanto, a medida que ocurre la depresión de la mandíbula, el punto incisal de la línea media se desvía levemente hacia el lado de balance, para luego volver nuevamente al lado de trabajo. Desde la posición de apertura máxima, los incisivos mandibulares se mueven hacia arriba, hacia adelante y lejos de la línea mediana hacia el lado de trabajo. Este movimiento de la mandíbula se conoce como la carrera de cierre. La

finalización de la carrera de cierre conduce a la carrera de potencia, que es el contacto energético y fuerte sobre la comida entre las superficies oclusales de los molares y premolares, los que se mueven hacia la línea mediana (Hylander *et al.*, 2010).

Hylander (1975) asegura que, durante el acto de masticación, la mandíbula humana actúa como una palanca. El autor asegura que, si se analiza la mandíbula en una vista frontal y al morder con los molares de forma unilateral (como ocurre durante el proceso de masticación), las fuerzas musculares combinadas del lado derecho e izquierdo pasan entre el punto de mordida y el proceso condilar del lado de balance (Figura 4). Algunos datos del análisis electromiográfico sugieren que los músculos en el lado de trabajo están un poco más activos que los del lado de balance, por lo que la resultante de la fuerza compuesta por los músculos de ambos lados se encuentra entre el punto de mordida y el plano medio sagital. Para que el sistema se encuentre en equilibrio, una fuerza de reacción compresiva debe actuar en la cabeza mandibular del lado de balance. Este análisis sugiere que, al morder de forma unilateral, las fuerzas de reacción que actúan sobre la cabeza mandibular del lado de balance son mayores que las fuerzas que actúan sobre el proceso condilar del lado de trabajo (Hylander, 1975).

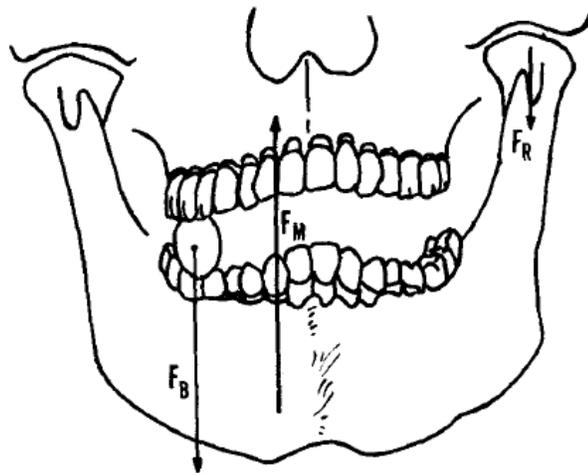


Figura 4. Fuerzas actuando sobre la mandíbula en una vista frontal al morder con molares de forma unilateral. FM representa fuerza muscular, FB la fuerza de masticación y FR la fuerza de reacción (Hylander, 1975).

3.6. Evidencia disponible sobre la variación morfológica dependiente de carga masticatoria en los componentes de la articulación temporomandibular

Como se mencionó anteriormente, las tensiones y cargas generan remodelación ósea. Este proceso también ocurre a nivel de los componentes óseos de la articulación temporomandibular. En un estudio de Kaul y cols. (2016) se vio que, en humanos, una mayor fuerza compresiva ejercida sobre la superficie de la cabeza mandibular provocó una mayor mineralización, un aumento del volumen óseo, un aumento del grosor trabecular y una disminución del espacio entre trabéculas óseas del hueso subcondral. En el mismo estudio, la medición morfométrica lineal mostró una mayor longitud mandibular, y un aumento del largo y ancho del proceso condilar. Estos aumentos en los parámetros morfométricos con carga aumentada pueden deberse a una mayor proliferación de condrocitos y a una mayor secreción de la matriz pericelular y extracelular (Kaul *et al.*, 2016). En otro estudio realizado en humanos, se vio que mujeres cuyos músculos maseteros fueron inyectados con toxina botulínica, sufrieron una pérdida de tejido óseo en las cabezas mandibulares (Raphael *et al.*, 2014). En un estudio realizado en ratones, se vio que la parálisis del músculo masetero inducida por la toxina botulínica tipo A provocó pérdida de hueso subcondral en las cabezas mandibulares de ratas adultas y en crecimiento después de dos semanas (Balanta-Melo *et al.*, 2018). En otro trabajo que evaluó la forma del proceso condilar en un grupo de conejos con dieta dura o blanda, se observó que los procesos condilares de los conejos con dieta dura tenían un mayor tamaño y mayor densidad ósea. (Ravosa *et al.*, 2007). Por su parte, la forma de la fosa mandibular en monos platirrinos ha mostrado tener una relación con la consistencia de sus alimentos (Terhune *et al.*, 2015). Balanta-Melo y cols. (in press), encontraron que en ratones cuyos músculos maseteros derechos fueron paralizados con toxina botulínica tipo A, se produjo un deterioro en la calidad ósea del proceso condilar del mismo lado, no así del lado izquierdo. Cabe preguntarse entonces si la manera en que masticamos los humanos, ya sea en intensidad como en relación maxilomandibular, es capaz de modelar la forma de la fosa mandibular.

3.7. Poblaciones arqueológicas y modernas como modelo de estudio

Para estudiar la forma de la fosa mandibular y cómo la carga masticatoria la influye, se seleccionaron para esta tesis muestras con distinto modo de subsistencia (dieta) y relación maxilomandibular, y por lo tanto sometidos a diferentes cargas masticatorias.

De acuerdo con el modo de subsistencia, los grupos pertenecen a tres grandes categorías: cazadores recolectores, agricultores e individuos modernos. Los individuos de los grupos de cazadores recolectores y de agricultores son muestras arqueológicas que varían en temporalidad y área geográfica, provenientes de diferentes territorios que hoy corresponden a Chile y Argentina. Los individuos modernos provienen todos de Santiago de Chile.

En el grupo de cazadores recolectores se incluyeron individuos de grupos Chonos, Fueguinos, Chubut, e individuos del Norte Semiárido de Chile, los cuales se caracterizaban por una alta movilidad, recolección de alimentos, y abundante caza y pesca. Este tipo de alimentación se encontraba acompañada de un procesamiento básico de los alimentos (Marangoni *et al.*, 2011; Monteiro *et al.*, 2010). Las osamentas de Chonos fueron obtenidas gracias a excavaciones de rescate en el Archipiélago de las Guaitecas, ubicado en la XI región de Chile, y tiene una data estimada de 410 ± 70 AP (Eyquem, 2018). La dieta de Chonos consistía básicamente en pescado, carne de lobo marino y mariscos (Aspillaga *et al.*, 2006). Los Fueguinos corresponden a una muestra histórica (siglo XVII a XIX), conformada por un grupo de Selk'nams y otro de Yámanas. Los Selk'nams tenían una dieta en la cual predominaba el consumo de carne de guanaco, y del roedor tuco-tuco, mientras que los Yámanas tenían una dieta más rica en productos marinos como peces, mariscos, lobos marinos, patos y pingüinos (Marangoni *et al.*, 2011). La muestra Chubut proviene de la costa este de la Patagonia Argentina, y datan de 500-1500 AP (Perez y Monteiro, 2009). Su dieta tenía poco contenido marino y consistía principalmente de carne de guanaco y otros animales, además de frutos silvestres y plantas que recolectaban (Bernal *et al.*, 2006). La muestra de individuos del Norte Semiárido utilizada para el estudio fue facilitada por el Museo Arqueológico de La Serena (IV Región, Chile). Las muestras fueron obtenidas de diversos sitios arqueológicos de la región de Coquimbo, entre ellos destacan El

Olivar, Peñuelas, El Cerrito, Los Choros, entre otros. Este grupo de cazadores recolectores se habría movido por la región durante el Período Alfarero Temprano (1700-900 AP) (Méndez *et al.*, 2009). Su economía y subsistencia se basaba principalmente en las actividades de caza, pesca y recolección de frutos silvestres y semillas (Alé, 2014).

Los individuos con modo de subsistencia agricultora se caracterizaban por ser sedentarios o semi sedentarios, y por haber dominado técnicas de siembra y cosecha de vegetales, además del cuidado de los suelos. Los agricultores manejaban también un mayor procesamiento de los alimentos, incluyendo la molienda y el almacenaje de estos (Planella *et al.*, 2015). Las muestras de agricultores utilizadas para el estudio incluyen individuos de Pica 8, Pampa Grande y Mapuches. Pica 8 es una colección arqueológica del norte de Chile, correspondiente al complejo Pica-Tarapacá, el cual prosperó en el Período Intermedio Tardío (900 – 1450 d.C.) en la región de Tarapacá (Uribe *et al.*, 2007). Las comunidades Pica-Tarapacá se encontraban repartidas de la costa hacia el interior y estaban delimitadas por Camiña en el norte y por el río Loa hacia el sur (Agüero, 2006). Cada una de las zonas geográficas se encontraban relacionadas con especializaciones económicas. En la costa, las comunidades se dedicaban a la pesca, caza de animales y recolección de recursos marinos, mientras que en la zona de los valles y el altiplano se consolidaron actividades pastoriles y agrícolas, consistiendo su dieta principalmente de cultivos, animales domésticos, plantas y animales silvestres. Las especializaciones económicas regionales contribuyeron al intercambio de recursos entre comunidades, generando un sistema de complementariedad económica (Santana-Sagredo *et al.*, 2015). La muestra de Pampa Grande proviene del noroeste de Argentina, específicamente del sitio arqueológico de Las Pirgüas (Carnese *et al.*, 2010; Barbeito-Andrés *et al.*, 2011). Los sitios datan de alrededor de 1500 AP según el material arqueológico encontrado en ellos. Los individuos de Pampa Grande subsistían básicamente de plantas silvestres y domesticadas (Barbeito-Andrés *et al.*, 2011). Los Mapuches datan de 450-50 AP, y habitaban el noreste de la Patagonia Argentina. Cultivaban principalmente maíz, pero también zapallo, calabaza y porotos. El cultivo era complementado con caza y recolección de alimentos (Bengoa, 2000; Rothhammer y Llop, 2004; De Vivar, 1979).

Los individuos del grupo de población moderna o actual, son individuos expuestos a un tipo de alimentación de gran procesamiento químico y mecánico extraoral, determinando su consistencia mayoritariamente blanda (Monteiro *et al.*, 2010). Las muestras pertenecientes a este grupo son en parte esqueléticas y en parte de población viva, provenientes todas de Santiago de Chile. La muestra esquelética corresponde a la Colección Osteológica Sub-actual de Santiago, también conocida como Cementerio General. Las muestras de este grupo fueron obtenidas del Cementerio General de Santiago, y tienen una fecha de defunción que varía entre 1960 y 1973, incluyéndose también un grupo que falleció en 1986 (Eyquem, 2018). Las muestras de población viva provienen también de Santiago de Chile y fueron obtenidas de bases de datos del Hospital Clínico de la Universidad de Chile (HCUCh) y del Instituto de Cirugía, Ortodoncia, Rehabilitación Oral y Maxilofacial (ICOR) (Eyquem, 2018). La muestra de población viva proveniente del HCUCh, está conformada por individuos de tipo esquelético clase I, los cuales tienen una relación maxilomandibular normal o no alterada. Se caracterizan por tener una oclusión armónica de los molares permanentes, una posición mandibular adecuada durante la oclusión dental completa, y un overjet de entre 2 y 4 mm. La muestra proveniente de ICOR corresponde a individuos con tipo esquelético clase II o retrognasia, y a individuos con tipo esquelético clase III o prognatismo mandibular. En ambos casos la maloclusión es de tipo severa, con overjets sobre los 5 mm en el caso de la retrognasia y overjets “invertidos” en el caso del prognatismo mandibular (Eyquem, 2018).

3.8. Morfometría geométrica

Existen diversas formas para analizar y estudiar cambios en las estructuras óseas. Una de las técnicas utilizadas para este fin, es la morfometría geométrica, la cual permite describir la forma de un objeto no en términos de sus dimensiones, sino que tomando en cuenta la relación espacial entre sus partes. Esto nos permite visualizar cómo se modifica una estructura en el tiempo, en qué partes se localizan los cambios y cuáles son los cambios (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

El análisis mediante morfometría geométrica consta de tres etapas principales: obtención de los datos primarios, obtención de las variables de la forma, y análisis estadístico.

Obtención de los datos primarios. Los datos utilizados para el análisis mediante morfología geométrica corresponden a hitos (o “*landmarks*”) que en conjunto son representativos de una forma o geometría de un objeto. Un hito es un punto en el espacio al cual se le da un nombre y coordenadas cartesianas (x , y en forma bidimensional y x , y , z en forma tridimensional). Las coordenadas cartesianas determinan la posición de los hitos en el espacio, y son estas coordenadas las que constituyen los datos primarios que luego son sometidos a análisis. Los hitos pueden ser obtenidos de fotografías, radiografías, reconstrucciones virtuales, entre otros (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

Obtención de las variables de la forma. El término “forma” se utiliza para denotar las propiedades geométricas de un objeto independientes del tamaño, posición y orientación del mismo (Mitteroecker *et al.*, 2013). Cada forma se encuentra definida por su configuración de hitos, y una configuración se encuentra formada por “ k ” cantidad de hitos, los que a su vez tienen “ m ” coordenadas. Para analizar la forma de una misma estructura en diferentes individuos, lo primero es minimizar las diferencias de esta dadas por los factores tamaño, posición y orientación. Esto se logra mediante el análisis de Procrustes, con el cual se obtiene la información que describe las formas puras, libres del tamaño, posición general en el espacio y rotación, disminuyendo así al máximo el efecto “ruido” de estas variables. Los análisis que siguen se realizan sobre estas configuraciones y los procedimientos que llevan al análisis de la forma se dan en etapas sucesivas y en distintos “espacios morfométricos”, constructos geométricos y matriciales que van a posibilitar la adquisición de los datos que diferencian las formas entre sí: la distancias de Procrustes y los componentes de la forma (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

Análisis estadístico multivariado. Una vez que se obtiene la información que describe la forma en estudio, ésta puede ser analizada mediante estadística multivariada (análisis de variantes canónicas, análisis de componentes principales,

análisis de deformación relativa, entre otros). Así las morfocoordenadas permiten evaluar la diferencia entre formas promedio, probar el grado de correlación y covariación de la forma con el tamaño, y la covariación de la forma con factores externos (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

Visualización de los cambios de la forma. La visualización de los cambios de la forma se realizará mediante esquemas tridimensionales, método gráfico que permite visualizar patrones de variación de la forma, facilitando así la descripción de los mismos (Adams *et al.*, 2013).

La morfometría geométrica se ha utilizado en odontología en diversas áreas, entre ellas podemos mencionar la odontología forense, la cirugía, la implantología y la ortodoncia (Kieser *et al.*, 2007; Singh *et al.*, 2005; Meleo *et al.*, 2012; Diaz y Manriquez, 2014). También ha jugado un rol importante en la antropología biológica, participando en el estudio de la forma de estructuras como dientes y huesos de la cara (Terhune *et al.*, 2015). En el área de la odontología forense, ha aportado evaluando la unicidad de los dientes anteriores en marcas de mordida (Kieser *et al.*, 2007). En la especialidad de cirugía maxilofacial, la morfometría geométrica ha evaluado cambios tridimensionales en la morfología nasal en pacientes con labio fisurado que han sido tratados con moldeo nasolabial prequirúrgico (Singh *et al.*, 2005). En implantología la técnica se ha utilizado para evaluar la predictibilidad de los procesos regenerativos al utilizar huesos sustitutos (Meleo *et al.*, 2012). Finalmente, en ortodoncia la morfometría geométrica se ha utilizado para llevar a cabo el diagnóstico dentoalveolar de pacientes chilenos, logrando obtener un diagnóstico más específico que con el método tradicional de análisis cefalométrico (Diaz y Manriquez, 2014).

3.9. Justificación y relevancia actual

La especie humana ha sufrido cambios en la morfología del cráneo a lo largo de la historia. Estos cambios se pueden resumir en acortamiento de este en sentido anteroposterior y supero-inferior, disminución de tamaño, adopción de una forma más rectangular de las órbitas, entre otros (Lieberman, 2008). Los componentes de

la articulación temporomandibular también se han visto afectados, y hay estudios realizados en mamíferos, que han concluido que estos cambios se relacionan en parte con la consistencia y tipo de dieta que han tenido los individuos (Ravosa *et al.*, 2007). Junto con los cambios que se han producido en el cráneo y sus componentes, han aparecido también anomalías dentomaxilares y maloclusiones. Como contribuyente a este fenómeno se ha propuesto la disminución de la carga masticatoria, dada principalmente por el ablandamiento de los alimentos en tiempos modernos. Esto estaría provocado una disminución de la masa ósea como respuesta a la menor carga a la que se encuentran sometidas las estructuras óseas, pero aún no existe evidencia concluyente al respecto (Eyquem, 2018).

El presente trabajo tiene como finalidad estudiar, en poblaciones humanas arqueológicas y actuales que presentan distintas estrategias de supervivencia y distinta relación maxilomandibular, la relación entre la intensidad de la carga masticatoria, relación maxilomandibular y la forma de la fosa mandibular, utilizando como herramienta la morfometría geométrica.

Entender el impacto que tienen la carga y función masticatoria en la morfología de la fosa mandibular podría ser de gran utilidad para la práctica de la odontología, especialmente en áreas como trastornos temporomandibulares (TTMs) y dolor orofacial, cirugía, ortodoncia e incluso odontología pediátrica. Conocer los cambios de la anatomía de la fosa mandibular y lograr asociarlos a los factores que los provocan, podría eventualmente permitir la prevención de la aparición de maloclusiones y otros trastornos, además de permitir el desarrollo de nuevas terapias conservadoras relacionadas con el tipo y consistencia de la alimentación para tratar diferentes alteraciones del sistema estomatognático.

4. Hipótesis

Existe una relación entre la intensidad de carga masticatoria y relación maxilomandibular, y la forma de la fosa mandibular en poblaciones arqueológicas y actuales.

5. Objetivo General

Estudiar la relación entre la intensidad de la carga masticatoria y la forma de la fosa mandibular en poblaciones arqueológicas y actuales de Chile y Argentina.

6. Objetivos Específicos

- Identificar las variaciones morfológicas de las fosas mandibulares de los individuos.
- Describir las diferencias de la forma de la fosa mandibular en los distintos grupos, utilizando como herramienta la morfometría geométrica.
- Relacionar la anatomía de la fosa mandibular con la intensidad de carga y relación maxilomandibular.

7. Metodología

El diseño del estudio corresponde a un estudio transversal descriptivo.

En este estudio se hizo una comparación de la forma de la fosa mandibular en individuos con distintos grados de intensidad masticatoria, dados por el tipo de consistencia de sus dietas y por sus relaciones maxilomandibulares.

7.1. Muestra

Se analizaron las reconstrucciones tridimensionales de cráneo de 149 individuos provenientes de poblaciones arqueológicas y actuales, las que fueron realizadas en un estudio previo (Eyquem, 2018). Estas poblaciones tenían diferentes tipos de dieta, lo cual determinó la intensidad de carga masticatoria, y distinta relación maxilomandibular.

Las muestras incluidas en el estudio fueron de individuos adultos, cuyas estructuras óseas se encontraban en buen estado, y que tenían al menos un par de molares en posición para ocluir (no debían estar extruidos ni rotados).

Se establecieron 5 grupos de carga masticatoria según el tipo de dieta y la relación maxilomandibular, los cuales fueron:

- I. **Carga masticatoria intensa:** en este grupo se consideraron poblaciones de cazadores-recolectores. Como se mencionó anteriormente, la economía de estos individuos se basaba en la caza/pesca de animales y en la recolección de frutos, semillas y/o mariscos (Bernal *et al.*, 2006). En consecuencia, la dieta de este grupo consistía básicamente de carne, pescado, huevos, nueces, raíces, frutas y vegetales salvajes (Kowalski y Bujko, 2012). Estos alimentos eran procesados de manera precaria, siendo más duros o difíciles de masticar, requiriendo una mayor fuerza masticatoria (Monteiro *et al.*, 2010). Representando a este grupo se incluyeron 3 Chonos (sur de Chile), 12 individuos del valle del río Chubut (Patagonia Argentina), 16 provenientes de Tierra del Fuego y 25 del Norte Semiárido.
- II. **Carga masticatoria intermedia:** se relaciona con grupos de agricultores, los cuales tenían una dieta más diversa, de menor contenido animal y con mayor procesamiento extraoral que los cazadores-recolectores, lo que significó una reducción de la carga masticatoria (González-José *et al.*, 2005). Se incluyeron en este grupo 16 individuos mapuches de Argentina, 11 de Pampa Grande (Norte Grande de Argentina) así como también 16 representantes del grupo Pica Tarapacá del norte de Chile.
- III. **Carga masticatoria leve:** muestra representativa de poblaciones modernas, donde se consume una gran cantidad de alimentos altamente procesados extraoralmente. Estos alimentos son en su mayoría de consistencia blanda y/o mecánicamente poco resistentes, significando una baja carga masticatoria (Monteiro *et al.*, 2010). Para este grupo se utilizaron 12 individuos recuperados del Cementerio General de Santiago, y 17 tomografías computadas (TCs) del banco de datos de pacientes del Hospital Clínico de la Universidad de Chile. Los datos son anónimos y las TCs se

realizaron por motivos médicos que no tuvieron relación alguna con este estudio.

Carga masticatoria alterada: en este grupo se incluyeron individuos que tuvieran relaciones maxilomandibulares alteradas, y que, como consecuencia, tuvieran una oclusión alterada. La muestra para esta categoría proviene de la base de datos ICOR, y se hizo uso de los tipos esqueléticos II y III, subdividiendo esta categoría en dos grupos (Eyquem, 2018):

- IV. **Carga alterada II:** en este grupo se incluyeron 12 individuos con tipo esquelético clase II.
- V. **Carga alterada III:** en este grupo se incluyeron 8 individuos con tipo esquelético clase III.

El origen geográfico de las poblaciones en estudio está esquematizado en la figura 5.

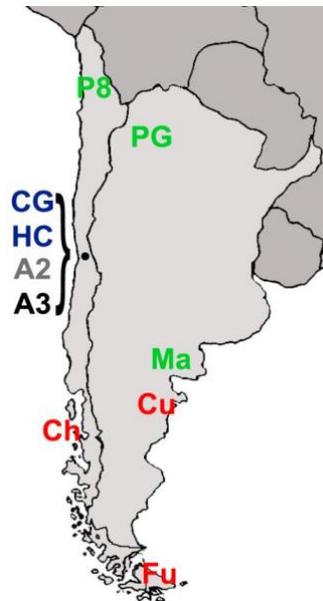


Figura 5. Mapa esquemático de la localización geográfica del origen de las muestras utilizadas para esta tesis. P8=Pica 8; PG=Pampa Grande; Ma=Mapuche; Cu=Chubut; Fu=Fueguinos; Ch=Chonos; CG=Cementerio General; HC=Hospital Clínico de la Universidad de Chile; A2= Carga alterada clase II; A3= Carga alterada clase III. Imagen obtenida de Eyquem, 2018.

Las TCs de los individuos de cada grupo se encuentran disponibles en el marco del proyecto FONDECYT 11150175, y la utilización de éstos cuenta con la autorización del Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile (Proyecto 203-2015; Anexo 1).

7.2. Obtención de los datos primarios

Para estudiar la forma de la fosa mandibular de cada individuo, se generaron modelos 3D a partir de las TCs disponibles. Estos modelos 3D se obtuvieron a través de un proceso que se denomina segmentación, en el cual se selecciona el tejido óseo y se separa de los tejidos circundantes (Figura 6). Para realizar la segmentación, se utilizó el software comercial Avizo (Science Visualization Group, Burlington, EE.UU.).

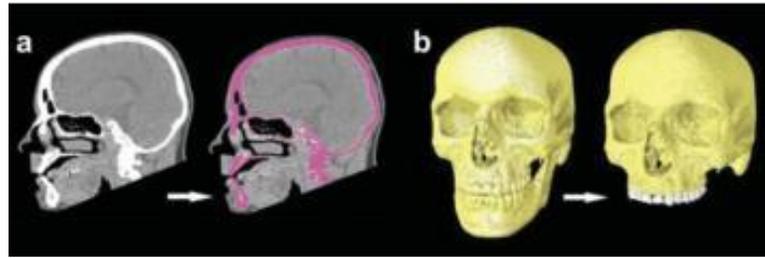


Figura 6. Ejemplo de una reconstrucción 3D obtenida a partir de una TC. (a) Se selecciona y separa el hueso de los tejidos circundantes. (b) Se obtiene la reconstrucción 3D. Imagen obtenida de Eyquem (2018).

Luego de obtener las reconstrucciones 3D de los 149 individuos, se procedió a colocar las coordenadas espaciales (hitos y semihitos) en la superficie de la fosa mandibular izquierda de las mismas (Tablas 1 y 2, Figuras 7 y 8). Los hitos (*landmarks*) y semihitos (*semilandmarks*) se obtuvieron con el programa EVAN toolbox (www.evan-society.org). Los hitos corresponden a estructuras anatómicas homólogas, mientras que los semihitos corresponden a *landmarks* en superficies o curvas, que no presentan homología entre individuos, y que antes de entrar al análisis morfométrico sufrieron un proceso de relocalización (*sliding*) mediante el cual se minimizaron las diferencias en localización debido a la falta de homología.

Tabla 1. Definición de los hitos anatómicos seleccionados.

Hitos anatómicos	Definición
1	Punto más prominente y lateral de eminencia articular.
2	Punto más profundo y lateral de la fosa mandibular.
3	Punto ubicado en la intersección de la pared anterior del conducto auditivo externo y la pared posterior de la fosa mandibular.
4	Punto ubicado en la intersección de la eminencia articular y la pared medial de la fosa mandibular en su punto más profundo.
5	Punto más profundo de la pared anterior de la fosa mandibular.

Tabla 2. Definición de los semihitos seleccionados.

Semihitos	Definición
6, 7, 8, 9	Puntos entre los hitos 1 y 4, equidistantes entre sí, que pasan por el hito número 5, y siguen la curvatura de la pared anterior de la fosa mandibular.
10	Punto entre los hitos 3 y 4.
11	Punto entre los hitos 3 y 2, que respeta la curvatura de la pared posterior de la fosa mandibular.
12	Punto entre los hitos 2 y 1.
13, 14	Puntos entre los semihitos 6 y 11, equidistantes entre sí.
15, 16, 17	Puntos entre los hitos 3 y 5, equidistantes entre sí.
18, 19	Puntos entre los semihitos 7 y 10, equidistantes entre sí.

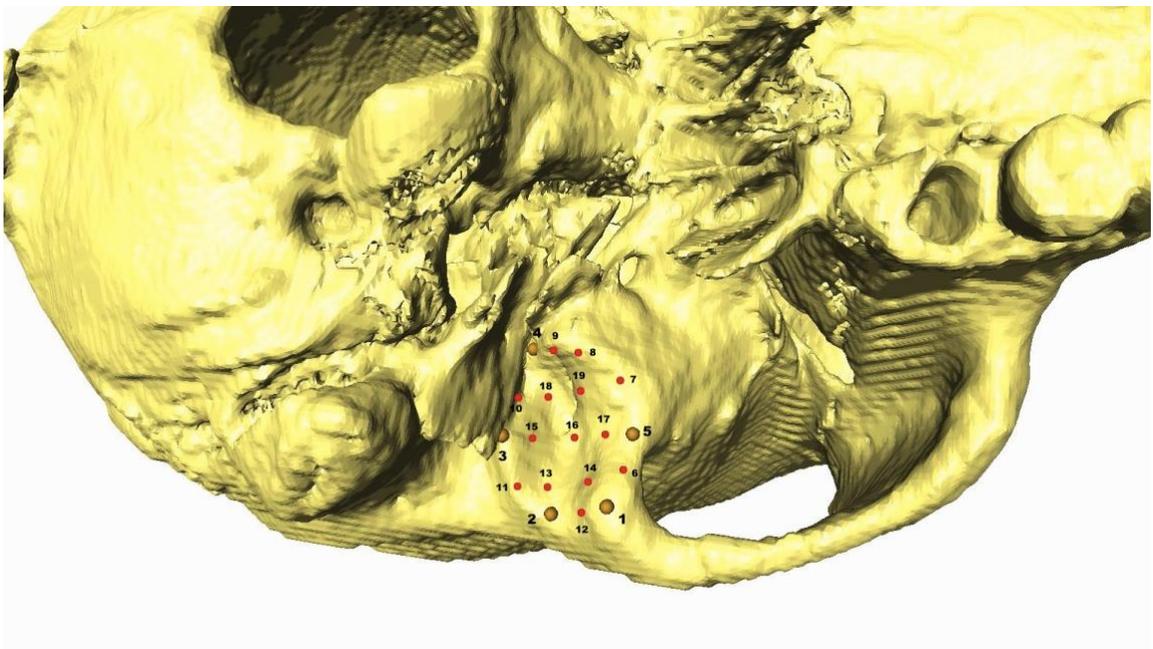


Figura 7. Vista inferior de la fosa mandibular. Hitos seleccionados en naranja, semihitos en rojo.

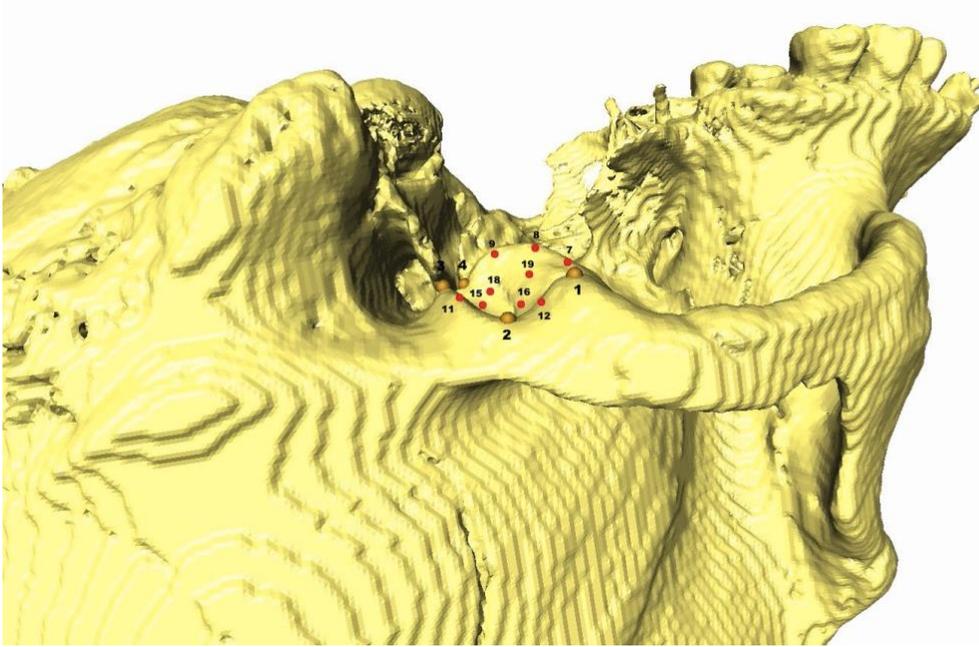


Figura 8. Vista lateral de la fosa mandibular con el cráneo en posición invertida.
Hitos seleccionados en naranja, semihitos en rojo.

Las coordenadas que no se pudieron colocar, o que el programa EVAN Toolbox falló en ubicar (*missing landmarks*) en los lugares previamente determinados, fueron estimados mediante el paquete Geomorph del software R (R Core Team, 2017).

7.3. Análisis

Para el análisis de datos de este trabajo se utilizó el software MorphoJ (Klingenberg, 2011). Luego de realizarse las 149 configuraciones de hitos, éstas fueron sometidas a un análisis generalizado de Procrustes (AGP). En primer lugar, se centra cada configuración de hitos en el origen y se restan las coordenadas de su centroide (centro geométrico). Luego se escalan las configuraciones de hitos al tamaño del centroide =1 y por último se elige una configuración referencial y se rota el resto para disminuir al máximo las distancias cuadradas sumadas entre hitos homólogos (Torrijo Boix, 2015). El AGP permite obtener nuevas configuraciones de hitos (coordenadas de Procrustes) y una configuración promedio. La forma de cada individuo puede diferir de la configuración promedio, y esta diferencia se mide en

distancias de Procrustes. Este método permite minimizar las discrepancias de la forma dadas por el tamaño, posición y rotación, y las variables obtenidas pueden ser utilizadas posteriormente como variables dependientes en análisis estadísticos multivariados (Toro-Ibacache *et al.*, 2010).

7.3.1. Análisis preliminares

Se utilizó la función de análisis de varianza (ANOVA) de Procrustes para estudiar el efecto de los factores sexo y origen sobre la morfología de la fosa mandibular izquierda de la muestra. El ANOVA es una prueba de hipótesis que busca cuantificar la varianza y comparar las medias de una variable continua en dos o más grupos independientes (Klingenberg y McIntyre, 1998).

Se utilizó también el ANOVA de Procrustes para estudiar el efecto del error de medición. El procedimiento se realizó sobre una muestra de 20 individuos (4 de cada grupo de carga). Se practicó la doble digitalización de hitos por la misma operadora (C. Trujillo), en dos sesiones distintas.

Todos los individuos de la muestra moderna presentaban sexo conocido. En los individuos de la muestra arqueológica, el sexo fue asignado en un trabajo previo usando métodos antropológicos y estadísticos (Eyquem, 2018). Sin embargo, perseveraron tres individuos de la muestra arqueológica cuyo sexo se mantuvo como indeterminado. Estos individuos no se incluyeron en el ANOVA para estudiar el efecto del factor sexo sobre la morfología de la fosa mandibular, habiéndose realizado el análisis con 146 de 149 individuos.

7.3.2. Análisis exploratorios y confirmatorios

Para estudiar la variación de la forma de la fosa mandibular izquierda, se realizó primero un análisis de componentes principales (PCA). Este análisis muestra de manera decreciente y progresiva el patrón de covariación entre las variables de la forma (Slice, 2007), constituyendo los dos o tres primeros componentes principales (CPs) la mayor porción de variación de esta (Jaramillo, 2011).

Posteriormente se realizaron análisis de variables canónicas (CVA) como análisis confirmatorios para la variable intensidad de carga, seguido de la comparación de pares de grupos utilizando 10.000 rondas de permutación. El CVA construye un

sistema de coordenadas nuevo, cuyos valores son figurados en los ejes para cada individuo de la muestra. El método calcula diferencias entre las medias de los grupos y utiliza las variaciones intra-grupo para acomodar los ejes al nuevo sistema de coordenadas (Torrijo Boix, 2015). El CVA logra maximizar la separación de los grupos, magnificando la variación inter-grupo a expensas de minimizar la variación intra-grupo (Herrera, 2018).

Finalmente se realizó una representación esquemática de las variables canónicas para visualizar los cambios morfológicos. Se utilizaron *wireframes* (figuras basadas en líneas rectas que conectan los *landmarks*) para visualizar la forma asociada a los valores extremos de cada variable canónica.

Todos los procedimientos se realizaron en las dependencias del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

8. Resultados

8.1. Análisis preliminares

El resultado del ANOVA de Procusto reveló que las variables sexo, carga y origen si tienen un efecto significativo sobre la muestra (factor “individual”; Tabla 3), sin embargo, la variación (cuadrados medios) de la forma de la fosa mandibular izquierda debido al factor carga es por poco tres veces mayor que la variación debido a los factores sexo y origen, por lo que el factor sexo no actúa como variable confundente en esta tesis (Tabla 3).

Tabla 3. ANOVA de Procusto para factor sexo. SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrados medios; g.l.=grados de libertad; F= estadístico del ANOVA de Procusto. Valores de p estadísticamente significativos $p < 0,05$.

Efecto	SC	CM	g.l.	F	p
Carga	0,61	$3,07 \times 10^{-3}$	200	4,61	<,0001
Origen	0,58	$1,28 \times 10^{-3}$	450	1,93	<,0001
Sexo	0,06	$1,14 \times 10^{-3}$	50	1,71	0,001
Individual	4,35	$6,65 \times 10^{-4}$	6550		

El resultado del ANOVA de Procusto para estudiar el efecto del error de medición, reveló que la variación de la forma de la fosa mandibular izquierda debido al error de medición por la doble digitalización de hitos (*landmarks*) es significativamente menor a la variación debida a las diferencias intrínsecas entre los individuos (Tabla 4). En consecuencia, el error intraobservador no actúa como factor confundente en esta tesis.

Tabla 4. ANOVA de Procusto para 20 configuraciones de hitos originales y sus repeticiones. Valores de p estadísticamente significativos $p < 0,05$.

Efecto	SC	CM	g.l.	F	p
Individual	0,63	$8,35 \times 10^{-4}$	750	1,74	<,0001
Error de medición	0,48	$4,80 \times 10^{-4}$	1000		

8.2. Análisis exploratorios y confirmatorios

8.2.1. Análisis de componentes principales

En el PCA, los resultados muestran que los primeros siete componentes principales explican el 89,28% de la variación de la forma de la fosa mandibular izquierda. Los primeros cinco componentes principales reúnen el mayor porcentaje de variación: PC1 explica un 33,91% de la variación de la forma; PC2 un 21,90%, PC3 un 12,35%, PC4 un 8,33% y PC5 un 6,19%. A partir del sexto componente principal, la varianza explicada disminuye a valores bajo 4,04% (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados del PCA de la forma de la fosa mandibular izquierda. PC=componente principal; VP= valor propio; % Var= porcentaje de la varianza total explicado por cada PC; %VA= porcentaje acumulado de la varianza.

PC	VP	%Var	%VA
PC1	$1,30 \times 10^{-2}$	33,91%	33,91%
PC2	$8,37 \times 10^{-3}$	21,90%	55,81%
PC3	$4,72 \times 10^{-3}$	12,35%	68,16%
PC4	$3,18 \times 10^{-3}$	8,33%	76,49%
PC5	$2,37 \times 10^{-3}$	6,19%	82,68%
PC6	$1,54 \times 10^{-3}$	4,04%	86,72%
PC7	$9,81 \times 10^{-4}$	2,57%	89,28%
PC8	$6,92 \times 10^{-4}$	1,81%	91,09%
PC9	$6,10 \times 10^{-4}$	1,60%	92,69%
PC10	$5,03 \times 10^{-4}$	1,32%	94,00%

Se realizaron gráficos de dispersión para los primeros cinco componentes principales (Figura 9). En ellos, se observa que los individuos tienen una tendencia a superponerse, encontrándose los grupos en áreas similares dentro de los ejes. En otras palabras, no existen patrones definidos que diferencien a los grupos de carga. Al no existir una distinción evidente entre ellos, es que se procedió a realizar un análisis de variables canónicas.

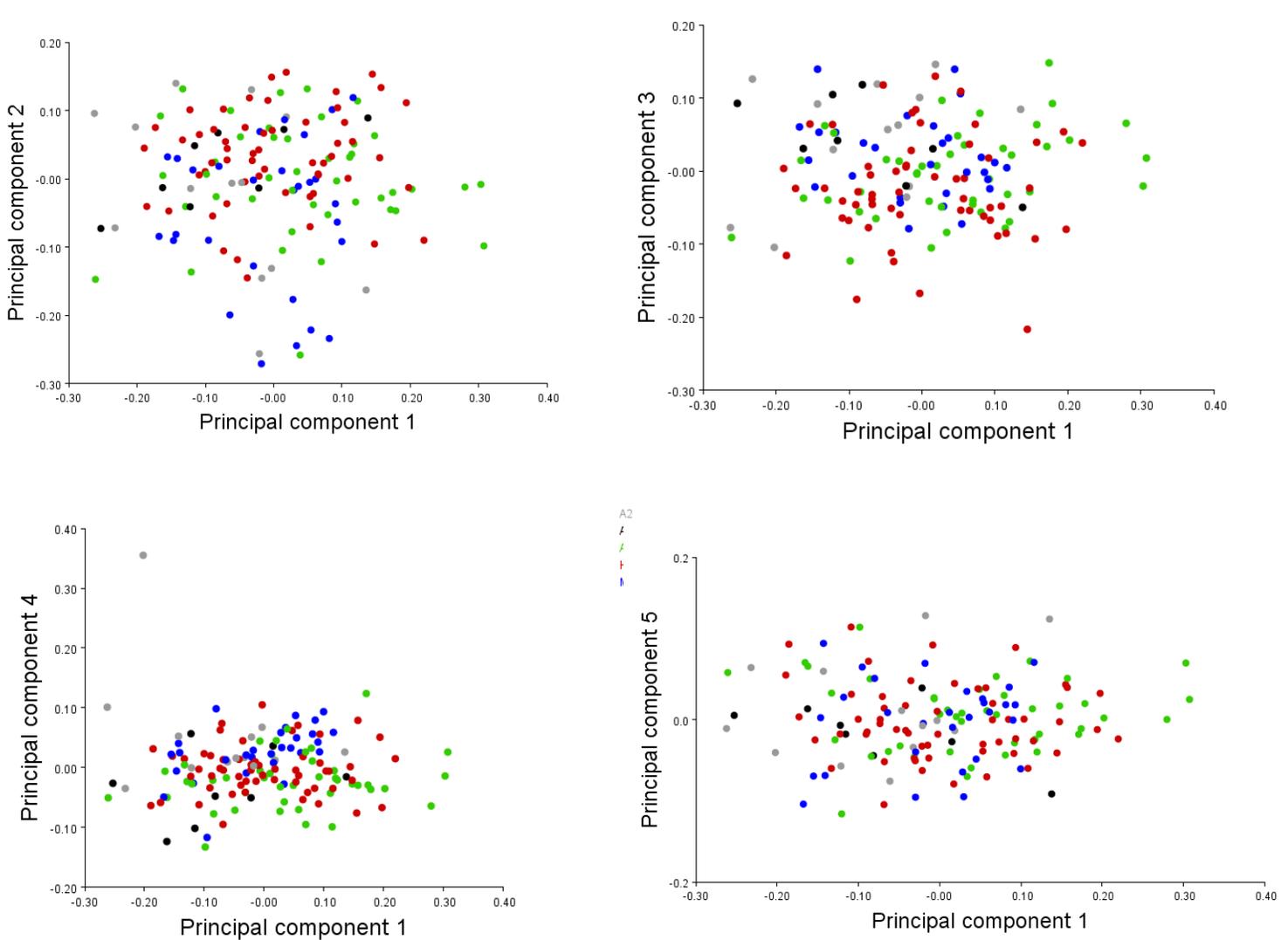


Figura 9. Gráficos de dispersión del PCA para los primeros cinco componentes principales, los cuales explican un 82,68% de la varianza. A2= grupo de carga alterada clase II, A3= grupo de carga alterada clase III, Ag= grupo de carga intermedia, Hg= grupo de carga intensa, Mo= grupo de carga leve.

8.2.2.

Análisis de variables canónicas

El CVA obtuvo cuatro variables canónicas que explican el 100% de la variación de la forma. CV1 explica un 58,47% de la varianza, CV2 un 20,06%, CV3 un 12,84% y CV4 un 8,63% (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados del CVA de la forma de la fosa mandibular izquierda según intensidad de carga. CV=variable canónica; VP= valor propio; % Var= porcentaje de la varianza total explicado por cada CV; %VA= porcentaje acumulado de la varianza.

CV	VP	%Var	%VA
CV1	$5,48 \times 10^0$	58,47%	58,47%
CV2	$1,88 \times 10^0$	20,60%	78,53%
CV3	$1,20 \times 10^0$	12,84%	91,37%
CV4	$8,09 \times 10^{-1}$	8,63%	100,00%

Los gráficos de dispersión de las variables canónicas según intensidad de carga (Figura 10), muestran de manera más evidente la agrupación de individuos de acuerdo a sus cargas en comparación con el PCA. En CV1 contra CV2, los individuos de los grupos de carga intensa, moderada y leve se agrupan entre sí (este último grupo de manera parcial). Los individuos del grupo de carga alterada clase II se encuentran en el extremo negativo de CV1 y de CV2, mientras que los individuos del grupo carga alterada clase III se encuentran en el extremo negativo de CV1 y positivo de CV2. En el gráfico de dispersión de CV1 contra CV3, se observa que el grupo de carga intensa y el grupo de carga intermedia se solapan de manera parcial cerca del extremo positivo de CV1 y negativo de CV3, lo cual también ocurre con el grupo de carga intermedia y el grupo de carga leve en los extremos positivos de CV1 y CV3. El grupo de carga alterada clase III se encuentra en el extremo negativo de CV1 y CV3, mientras que el grupo de carga alterada clase II se encuentra en el extremo negativo de CV1 y la zona media de CV3. En el gráfico de dispersión de CV1 contra CV4, se distingue que los grupos de individuos de carga intensa, carga moderada y carga leve se solapan de forma parcial. Los grupos de carga leve y alterada clase II también se encuentran imbricados, pero en el extremo negativo de CV1.

En resumen, en los gráficos de dispersión de las CV se observa que los individuos de los grupos de carga intensa, moderada y leve tienen una tendencia a solaparse en los tres gráficos, así como también los individuos de los grupos de carga alterada clase II y carga alterada clase III (excepto en el CV2, en donde se alejan). Los

individuos del grupo carga alterada clase II y III se mantienen siempre alejados del resto de los grupos.

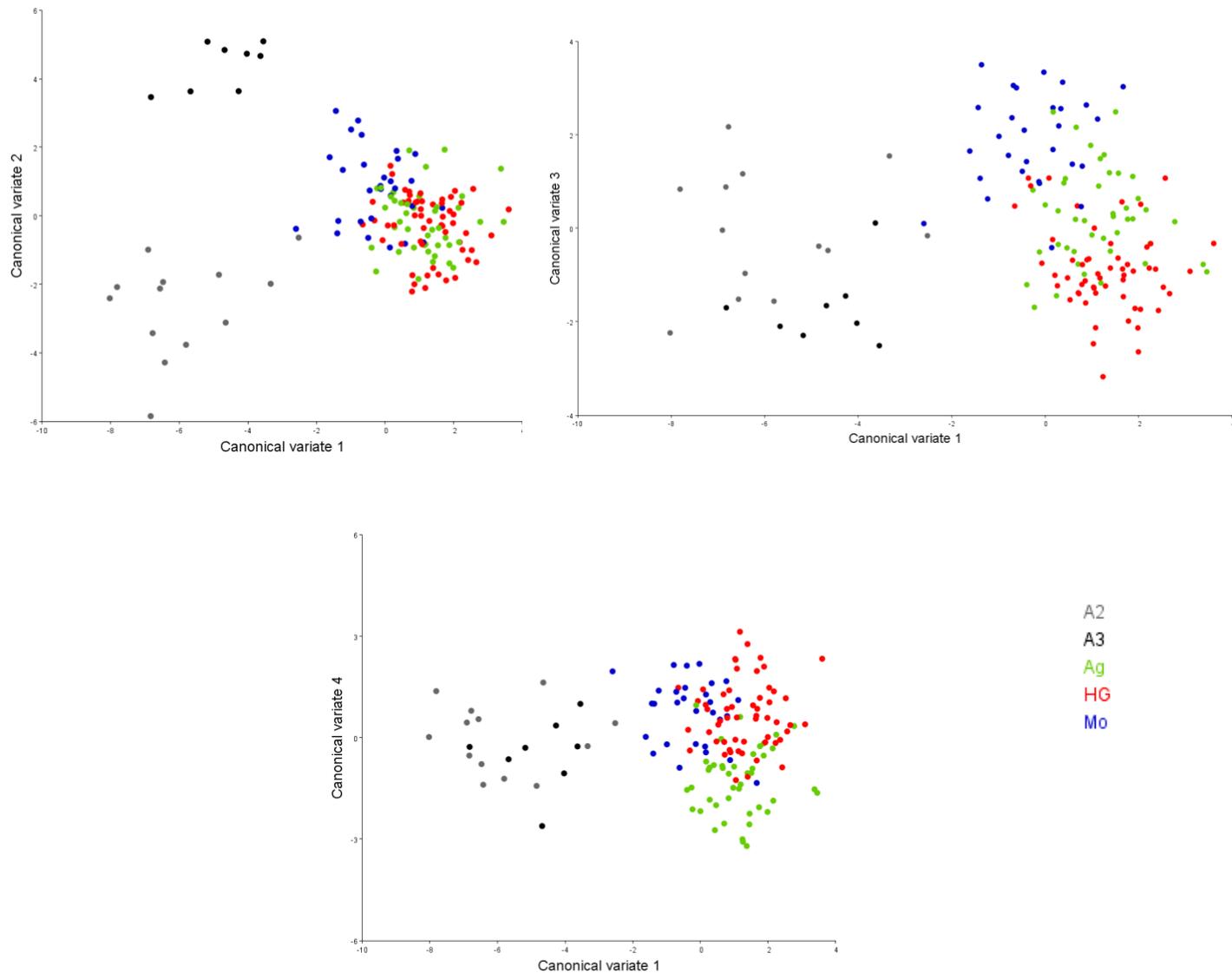


Figura 10. Análisis de variables canónicas. Gráficos de dispersión de las cuatro variables canónicas. A2= grupo de carga alterada clase II, A3= grupo de carga alterada clase III, Ag= grupo de carga intermedia, Hg= grupo de carga intensa, Mo= grupo de carga leve.

En la Tabla 7 se puede ver que las distancias de Procrusto entre grupos son estadísticamente significativas para la mayoría de los pares de grupos, con

excepción del par de grupos de carga alterada clase II y clase III, los cuales tienen un valor de p estadísticamente no significativo (>0.05).

Tabla 7. Valores de p de las pruebas de permutación para las distancias de Procusto entre grupos. Valores de p estadísticamente significativos $p < 0,05$.

	Alterada Clase II	Alterada Clase III	Intermedia	Intensa
Alterada Clase III	0,1043			
Intermedia	0,0001	0,0065		
Intensa	<,0001	0,0010	0,0184	
Leve	0,0237	0,0077	0,0023	<,0001

En la representación esquemática de los cambios de la forma representados por cada variable canónica (Figura 11, 12 y 13), se pueden visualizar los caracteres presentes en los grupos que se ubican hacia los valores extremos de cada variable canónica. Como se señaló con anterioridad, en CV1 hay una agrupación de los grupos de carga leve, intermedia e intensa en el extremo positivo del gráfico, y de los grupos de carga alterada clase II con carga alterada clase III en el extremo negativo del gráfico. El extremo positivo de CV1 representa una fosa mandibular de mayor tamaño en sentido lateromedial que anteroposterior, y con una profundidad que aumenta de lateral a medial. En el extremo negativo de CV1, en el que se encuentran los grupos de carga alterada, se observa una fosa más amplia en sentido anteroposterior que en sentido lateromedial y que además se hace más angosta de anterior a posterior. Además, se aprecia que la fosa es considerablemente más profunda que en el extremo positivo de CV1, donde se encuentra el resto de los individuos (Figura 11). En CV2, los individuos del grupo carga alterada clase III se ubican en el extremo positivo del gráfico, mientras que los individuos del grupo de carga alterada clase II se ubican en el extremo negativo. El extremo positivo del gráfico representa una fosa mandibular de mayor tamaño en sentido lateromedial que anteroposterior, y cuya profundidad va en aumento de medial a lateral. En comparación con los individuos del extremo positivo, los individuos del extremo negativo tienen una fosa mandibular más plana, y que en una vista axial tiene la forma de una gota de agua (Figura 11). En CV3 se

encuentran los individuos del grupo de carga leve en el extremo positivo del gráfico, mientras que los grupos de carga intensa y carga alterada clase III se encuentran en el otro extremo. Desde una vista axial, la fosa de los individuos del grupo de carga leve tiene un mayor ancho en la zona de la pared anterior que se va angostando progresivamente hacia posterior. Además, la fosa es de una profundidad media y el punto de unión de la pared posterior de la fosa mandibular con la pared anterior del conducto auditivo externo se encuentra desplazado hacia lateral. En el extremo negativo del gráfico, la fosa mandibular tiene, desde una vista axial, un mayor tamaño lateromedial que anteroposterior, y desde una vista anteroposterior, una fosa más plana y con el punto de unión de la pared posterior de la fosa mandibular con la pared anterior del conducto auditivo externo desplazado hacia medial (Figura 12). Finalmente, en CV4, hay una agrupación generalizada de los individuos, destacando levemente el grupo de individuos de carga intensa que se encuentra más desplazado hacia el extremo positivo del gráfico, y el grupo de individuos de carga intermedia que se encuentra más desplazado hacia el extremo negativo del gráfico. La fosa mandibular del grupo de carga intensa tiene una profundidad media, y destaca por tener el punto más alto y lateral de la eminencia articular desplazado hacia lateral. Por otro lado, la fosa de los individuos del grupo de carga intermedia, tienen una fosa de profundidad media, con un mayor tamaño lateromedial que anteroposterior (Figura 13).

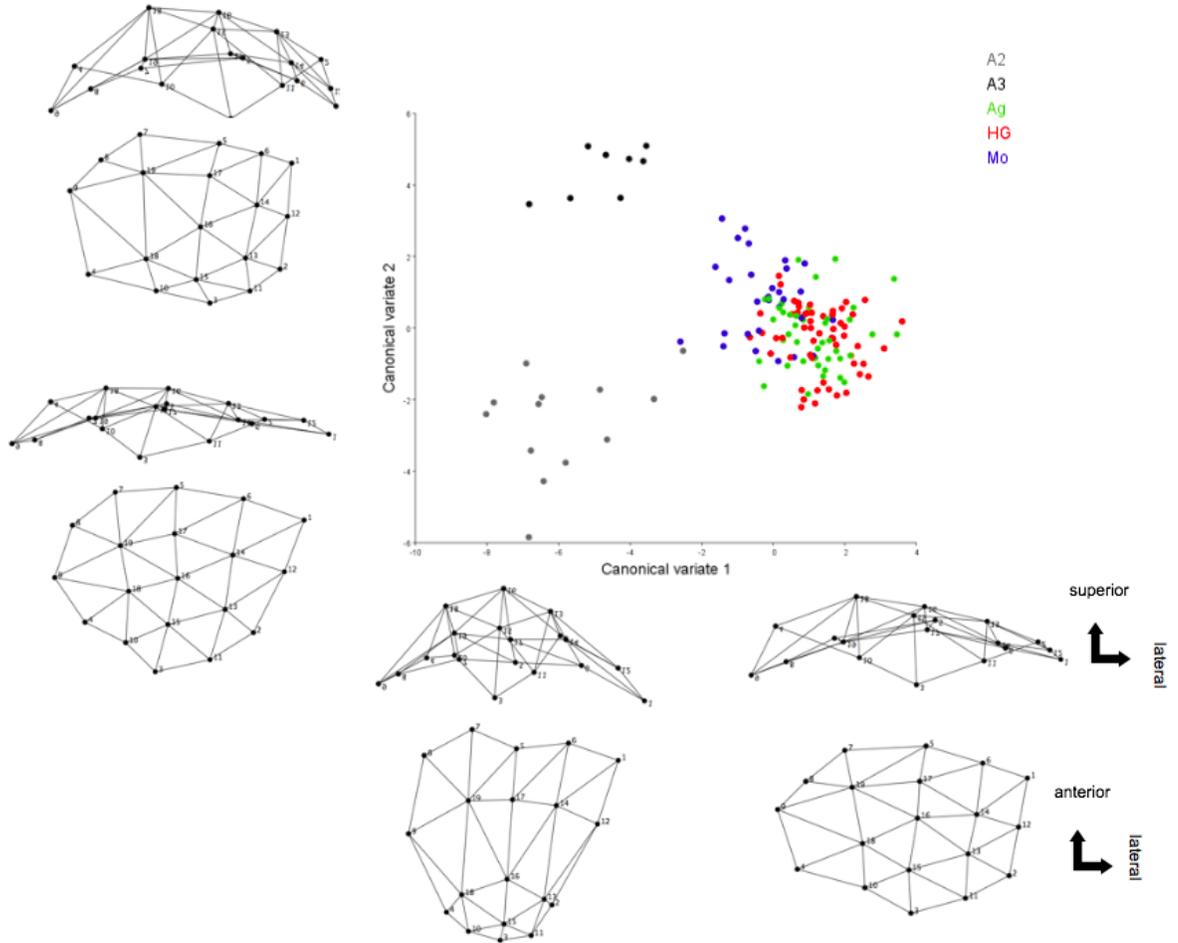


Figura 11. Análisis de variables canónicas. Los esquemas exponen la representación esquemática de los valores extremos de CV1 (58,47% de la varianza) y CV2 (20,60 % de la varianza) en su vista axial y anteroposterior.

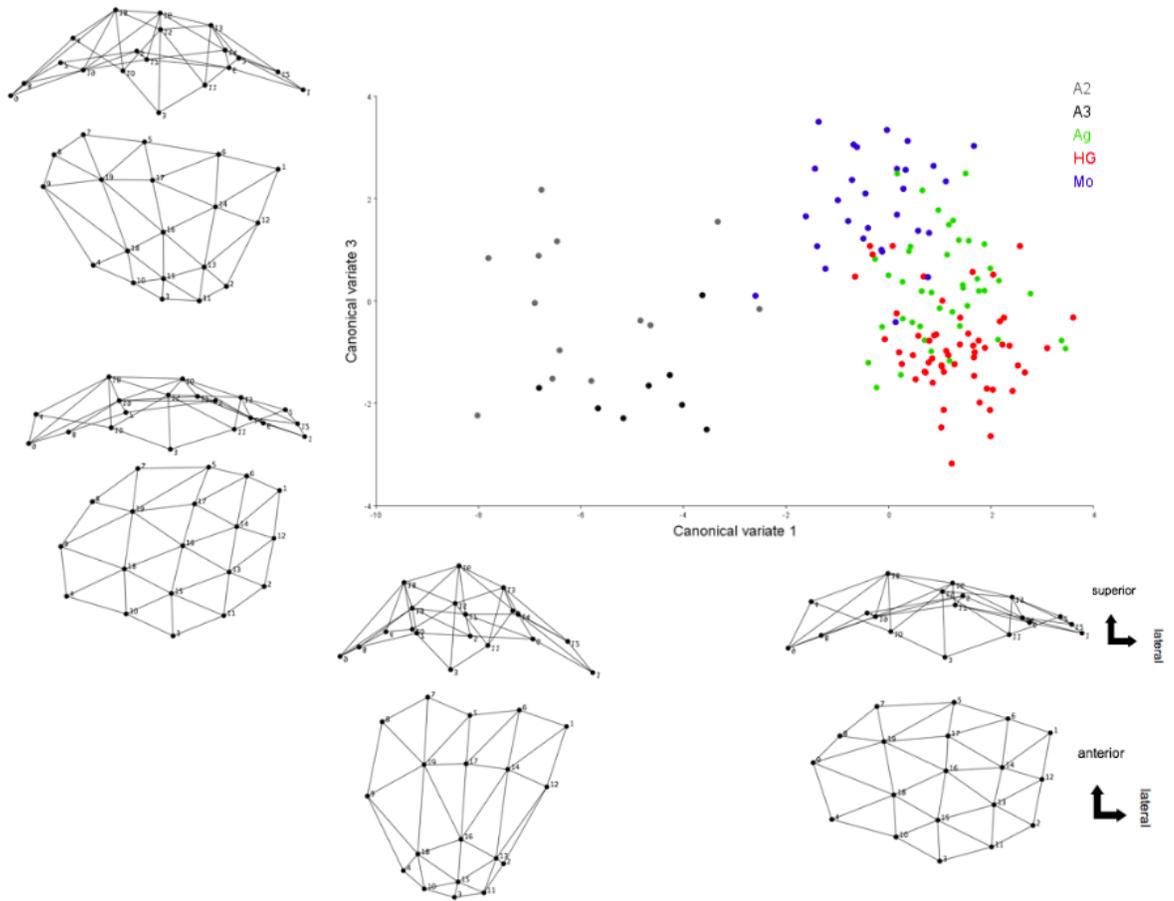


Figura 12. Análisis de variables canónicas. Los esquemas exponen la representación esquemática de los valores extremos de CV3 (12,84% de la varianza) en su vista axial y anteroposterior.

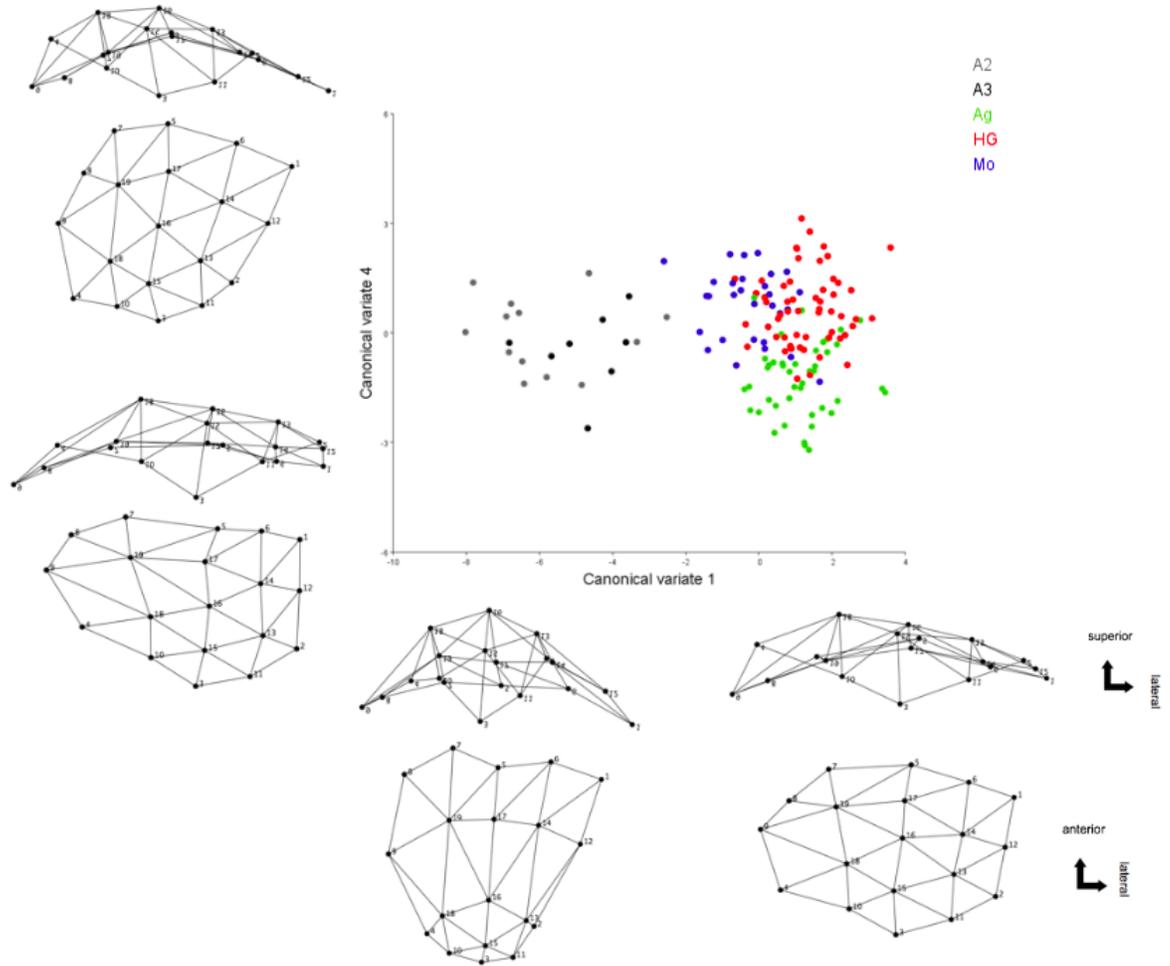


Figura 13. Análisis de variables canónicas. Los esquemas exponen la representación esquemática de los valores extremos de CV4 (8,63% de la varianza) en su vista axial y anteroposterior.

9. Discusión

Como ya se mencionó anteriormente, la variación de la morfología craneofacial ha sido ampliamente estudiada por la comunidad científica. Se conoce que esta variación se debe no solamente a factores genéticos, sino que también a la interacción de las fuerzas mecánicas y restricciones anatómicas entre las partes involucradas. También se sabe que parte de las fuerzas a las que está sometido el cráneo se deben a la acción muscular, la cual a través de la masticación genera cargas y tensiones que pueden inducir cambios morfológicos en las diferentes estructuras (Bruner, 2007).

En el presente trabajo, el interés estuvo enfocado específicamente en la fosa mandibular y en cómo la carga masticatoria dada por el tipo de dieta y por la relación maxilomandibular pueden modificar la morfología de esta. Para llevar a cabo el estudio, se dividió la muestra de individuos según dieta y relación maxilomandibular en cinco categorías: carga masticatoria intensa, intermedia y leve, carga alterada clase II y carga alterada clase III. Para localizar y describir los cambios en la fosa mandibular, se ubicaron *landmarks* en reconstrucciones virtuales 3D, los que fueron analizados con herramientas de morfometría geométrica: estadística multivariada y técnicas de visualización de cambios de la forma basados en la construcción y deformación de *wireframes*.

La hipótesis del estudio fue que existe una relación entre la intensidad de carga masticatoria y la relación maxilomandibular, con la forma de la fosa mandibular en poblaciones tanto arqueológicas como actuales. Según los resultados obtenidos en el presente estudio, no existe evidencia para determinar que existe una relación entre la intensidad de carga masticatoria y la forma de la fosa mandibular. Sin embargo, se encontró una asociación entre la relación maxilomandibular y la forma de la fosa mandibular. Esto debido a que en los resultados del CVA se puede observar que los grupos de carga alterada clase II y III se separan evidentemente del resto de los grupos, mientras que los grupos de carga leve, intermedia e intensa tienen una tendencia a superponerse tanto en CV1 como en CV2, los cuales en conjunto estarían explicando un importante porcentaje de la varianza (79,07%). Lo anterior nos indica que las fosas mandibulares de los grupos de carga leve, intermedia e intensa tendrían morfologías similares, mientras que los grupos con

carga alterada serían diferentes. Según CV1, explicando un 58,47% de la varianza, los individuos de carga alterada presentarían fosas mandibulares más angostas en sentido lateromedial, levemente más alargadas en sentido anteroposterior, y considerablemente más profundas que los grupos arqueológicos y el grupo de carga leve. Según esta misma CV, la fosa mandibular de los individuos de los grupos de carga leve, intermedia e intensa tendría una morfología con un tamaño en sentido lateromedial mayor que en sentido anteroposterior, y una profundidad media con su punto más profundo desplazado hacia lateral. Según CV2 (los grupos de carga alterada clase II y III se encuentran en extremos opuestos del gráfico), con un 20,60% de la varianza explicada, el grupo de carga alterada clase II presentaría una fosa mandibular relativamente más plana, con su punto más profundo desplazado hacia medial y con forma de gota en una vista axial, mientras que los individuos del grupo de carga alterada clase III tendrían una fosa mandibular levemente más grande en sentido lateromedial que anteroposterior y cuya profundidad iría en aumento de lateral a medial, siendo más profunda que la de los individuos del extremo opuesto del gráfico.

Los resultados sugieren que la morfología de la fosa mandibular sería similar entre los individuos de los grupos de carga leve, intermedia e intensa, modificándose en individuos del grupo de carga alterada clase II y clase III. Estos últimos dos grupos presentarían una morfología particular y distintiva de su fosa mandibular, lo que podría estar indicando que, ante cargas alteradas, la fuerza masticatoria podría tener una mayor influencia sobre la forma de la fosa mandibular. La clase II esquelética puede presentarse como una protrusión esquelética maxilar, como una retrusión esquelética mandibular, o como una combinación de ambas (Rosenblum, 1995). Por otra parte, la clase III esquelética puede presentarse como una protrusión esquelética mandibular, como una retrusión esquelética maxilar, o como una combinación de ambas (Guyer *et al.*, 1986). Se ha visto en estudios, que los pacientes con clases esqueléticas tipo II y III presentan una menor fuerza de mordida que los pacientes con clase esquelética tipo I (Zarrinkelk *et al.*, 1996; Harada *et al.*, 2003; Trawitzki *et al.*, 2011).

Existe poca evidencia disponible en humanos que busque relacionar la carga masticatoria con los cambios morfológicos adaptativos de la fosa mandibular, sin embargo, existen estudios publicados que relacionan la carga masticatoria con la

forma de la fosa mandibular y/o del proceso condilar en animales. Se conoce que existe una relación entre la función y la forma de los tejidos biológicos, y ya que la fosa mandibular y el proceso condilar son dos estructuras que articulan y que cumplen funciones en conjunto, se podría inferir que existe una relación entre la forma y tamaño de ambos (Rodrigues *et al.*, 2009). En un estudio en simios, se buscó relacionar cómo la consistencia de sus dietas podía influir en la morfología de la fosa mandibular y del proceso condilar. El estudio concluyó que no existe una relación evidente entre la carga masticatoria dada por la consistencia de la dieta, y la forma de los componentes óseos de la articulación temporomandibular (Terhune, 2013). Ravosa y cols. (2007) por otro lado, encontraron que luego de someter a un grupo de conejos domésticos a una dieta dura y a otro grupo a una dieta blanda durante 15 semanas, el primer grupo presentó un aumento de tamaño en sus cóndilos en comparación al segundo grupo. También llegaron a la misma conclusión Bouvier (2007) y Smith (1983), quienes buscando relacionar consistencia de dieta y forma de cóndilo en primates, encontraron que los primates que tenían una dieta de consistencia más dura tenían también un mayor tamaño del proceso condilar.

La evidencia previa no es suficiente para determinar si existe una relación marcada entre la carga masticatoria y la morfología de los componentes óseos de la articulación temporomandibular, pero si se ha visto un vínculo más consistente entre el rango de movimiento de la articulación y la forma de sus componentes (Terhune *et al.*, 2015). Según este mismo autor, las especies de primates que por motivos sociales o por el tipo de alimentación requieren una gran apertura oral, tienen superficies articulares consistentemente más grandes en sentido anteroposterior.

Se ha visto en diferentes estudios, que individuos con clase esquelética tipo II y III tienen un rango de apertura bucal mayor que los individuos con clase esquelética tipo I (Ko *et al.*, 2012; Monaco *et al.*, 2013). También se ha visto que los individuos con clase esquelética tipo II, tienen un mayor rango de movimiento laterotrusivo que los individuos con clase esquelética tipo I, los que a su vez tienen un mayor rango de movimiento laterotrusivo que los individuos con clase esquelética tipo III (Zimmer *et al.*, 1991). Esto podría sugerir que la diferencia morfológica encontrada en la fosa mandibular de los individuos con carga alterada clase II y clase III con respecto al

resto de los grupos, podría deberse a un rango de apertura bucal aumentado que presentarían estos individuos, y su menor dimensión mediolateral y mayor profundidad quizás a un rango de movimientos excéntricos menor al del resto de los individuos. De hecho, y de acuerdo con esta idea, es posible que los individuos clase III tengan un rango de movimiento de la cabeza mandibular aún menor que los individuos clase II, lo cual podría estar explicando la morfología distintiva de su fosa mandibular en CV2.

Desde el punto de vista clínico, es importante tomar en consideración la forma de la fosa mandibular, ya que a pesar de ser conservada en la mayoría de los casos (como se observó en los resultados), los individuos con clase II y III esquelética presentan características clínicas particulares, lo cual podría ser de utilidad en la predicción de la aparición de trastornos temporomandibulares, o del desenlace de distintos procedimientos en áreas de la odontología. Por ejemplo, se ha visto en estudios que existe una mayor prevalencia de trastornos temporomandibulares en individuos con clase esquelética tipo II y III (Henrikson *et al.*, 1997; Henrikson *et al.*, 2000; Popovic *et al.*, 2013). Se podría evaluar entonces si la mayor prevalencia podría tener relación con esta morfología distintiva de la fosa mandibular de los individuos con carga alterada, y quizás de esta manera prevenir la aparición de TTMs en todo tipo de individuos que tuvieran fosas mandibulares con esas características. Siguiendo la misma corriente de pensamiento, en las ramas de ortodoncia y cirugía maxilofacial se podría predecir el desenlace de tratamientos realizados y la posible aparición de trastornos temporomandibulares en pacientes con clase esquelética alterada tratados con ortodoncia o con ortodoncia y cirugía, pero que han conservado la morfología característica de la fosa mandibular de pacientes con clase esquelética alterada.

Entonces, tomando en consideración los resultados de este trabajo y la evidencia disponible, se requiere más información acerca de la biomecánica temporomandibular en individuos con clase esquelética tipo II y III para poder dilucidar él o los factores que en ellos estarían afectando la formación de tejido óseo. Esta es la principal interrogante que abre este estudio: qué es lo que diferencia a estos individuos de los individuos con clase esquelética tipo I, tanto a nivel biomecánico como a nivel molecular.

10. Conclusión

1. No hay relación entre la intensidad de carga y la morfología de la fosa mandibular.
2. Existe una asociación entre la relación maxilomandibular y la forma de la fosa mandibular.
3. La fosa mandibular se hace más profunda y más estrecha en sentido mediolateral en individuos con relación maxilomandibular alterada.
4. La fosa mandibular de los individuos clase II presentan una morfología distintiva con forma de gota, y con el punto más profundo desplazado hacia medial, mientras que la fosa mandibular de los individuos clase III presenta una morfología distintiva con un tamaño lateromedial levemente mayor que anteroposterior, y con una profundidad que va en aumento de lateral a medial.

11. Bibliografía

- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2013). A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 7-14.
- Aguero, C. (2006). Vestuario e identidad cultural en Tarapacá durante el Período Intermedio Tardío. Paper presented at the Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena I. Valdivia: Ediciones Kultrún.
- Ale, A. 2014. Una formación económico social de cazadores recolectores en el Norte Semiárido de Chile: Una reevaluación del sitio San Pedro Viejo de Pichasca. *La Zaranda de Ideas* 10:133-153.
- Andersen, T.L., Abdelgawad, M., Kristensen, H.B., Hauge, E.M., Rolighed, L., Bollerslev, J., Kjærsgaard-Andersen, P., & Delaissé, J. (2013). Understanding coupling between bone resorption and formation: are reversal cells the missing link? *The American Journal of Pathology*, 183 1, 235-46.
- Aspillaga, E., Castro, M., Rodríguez, M., & Ocampo, C. (2006). Paleopatología y estilo de vida: el ejemplo de los chonos. *Magallania (Punta Arenas)*, 34(1).
- Balanta-Melo, J., Toro-Ibacache, V., Torres-Quintana, M.A., Kupczik, K., Vega, C., Morales, C., Hernández-Moya, N., Arias-Calderón, M., Beato, C., & Buvinic, S. (2018). Early molecular response and microanatomical changes in the masseter muscle and mandibular head after botulinum toxin intervention in adult mice. *Annals of Anatomy-Anatomischer*, 216, 112-119.
- Balanta-Melo, J., Torres-Quintana, M.A., Bemann, M., Vega, C., González, C., Kupczik, K., Toro-Ibacache, V. & Buvinic, S. (in press). Masseter muscle atrophy impairs bone quality of the mandibular condyle but not the alveolar process early after induction. *Journal of Oral Research*.
- Barbeito-Andres, J., Pucciarelli, H. M., & Sardi, M. L. (2011). An ontogenetic approach to facial variation in three Native American populations. *Homo*, 62(1), 56-67.
- Bellido, T.M. (2013). Osteocyte-driven bone remodeling. *Calcified Tissue International*, 94, 25-34.
- Bender, M.E., Lipin, R.B., & Goudy, S.L. (2018). Development of the pediatric temporomandibular joint. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, 30 1, 1-9.
- Bengoa, J. (2000). Historia del pueblo Mapuche: (Siglo XIX Y XX) (Vol. 7). Santiago de Chile: Lom Ediciones

- Bernal, V., Perez, S. I., & Gonzalez, P. N. (2006). Variation and causal factors of craniofacial robusticity in patagonian hunter-gatherers from the Late Holocene. *American Journal of Human Biology*, 18, 748-765.
- Bouvier, M. (2007). Biomechanical scaling of mandibular dimensions in New World Monkeys. *International Journal of Primatology*, 7, 551-567.
- Bruner, E. (2007). Cranial shape and size variation in human evolution: structural and functional perspectives. *Child's Nervous System*, 23, 1357-1365.
- Carnese, F. R., Mendisco, F., Keyser, C., Dejean, C. B., Dugoujon, J. M., Bravi, C. M., Ludes, B., & Crubézy, E. (2010). Paleogenetical study of pre-columbian samples from Pampa Grande (Salta, Argentina). *American Journal of Physical Anthropology*, 141(3), 452-462.
- Crittenden, A.N. & Schnorr, S.L. (2017). Current views on hunter-gatherer nutrition and the evolution of the human diet. *American Journal of Physical Anthropology*, 162 Suppl 63, 84-109.
- De Vivar, J. (1979). Crónica y relación copiosa y verdadera de los reinos de Chile. Santiago: Instituto Geográfico Militar.
- Delaisse, J. (2014). The reversal phase of the bone-remodeling cycle: cellular prerequisites for coupling resorption and formation. *BoneKEy reports*.
- Díaz Muñoz, A., & Manríquez Soto, G. (2014). Skeletodental diagnosis using a geometric morphometric approach. *International Journal of Odontostomatology*, 8, 05-11.
- Eyquem, A. (2018). Efecto de la intensidad masticatoria en la forma craneal en poblaciones arqueológicas y modernas de Chile y Argentina. (Título Profesional de Antropología con mención en Antropología Física), Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Frost, H.M. (2004). A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *The Angle Orthodontist*, 74 1, 3-15.
- Fuentes, R, Cantín, M, Ottone, N. E, & Bucchi, C. (2015). Caracterización de los componentes óseos de la articulación temporomandibular: una revisión de la literatura. *International Journal of Morphology*, 33(4), 1569-1576.
- González-José, R., Rozzi, F.V., Sardi, M.L., Martínez-Abadías, N., Hernández, M., & Pucciarelli, H.M. (2005). Functional-cranial approach to the influence of economic strategy on skull morphology. *American Journal of Physical Anthropology*, 128 4, 757-771.
- Guyer, E.C., Ellis, E.E., McNamara, J.A., & Behrents, R.G. (1986). Components of class III malocclusion in juveniles and adolescents. *The Angle Orthodontist*, 56 1, 7-30.

- Harada, K., Kikuchi, T., Morishima, S., Sato, M., Ohkura, K., & Omura, K. (2003). Changes in bite force and dentoskeletal morphology in prognathic patients after orthognathic surgery. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 95 6, 649-54.
- Henrikson, T., Ekberg, E., & Nilner, M. (1997). Symptoms and signs of temporomandibular disorders in girls with normal occlusion and Class II malocclusion. *Acta Odontologica Scandinavica*, 55 4, 229-35.
- Henrikson, T., Nilner, M., & Kurol, J. (2000). Signs of temporomandibular disorders in girls receiving orthodontic treatment. A prospective and longitudinal comparison with untreated Class II malocclusions and normal occlusion subjects. *European Journal of Orthodontics*, 22 3, 271-81.
- Herrera, P. (2018). Forma de la raíz del primer molar superior en poblaciones con distinta intensidad de carga y relación maxilomandibular. (Título profesional de Cirujano Dentista), Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Hylander, W.L. (1975). The human mandible: lever or link? *American Journal Of Physical Anthropology*, 43 2, 227-42.
- Hylander, W.L., Laskins, D.M., & Greene, C.S. (2016). Functional anatomy and biomechanics of the masticatory apparatus. TMDs: An Evidence-based Approach to Diagnosis and Treatment, Chicago Quintessence, 3-34.
- Jaramillo, N. (2011). Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo. *Research Gate*, 7(4), 23.
- Kalim, S. (2017). Mapping the embryological development of the temporomandibular joint with Cone-Beam computed tomography.
- Kaul, R.A., O'Brien, M.H., Dutra, E.H., Lima, A., Utreja, A., & Yadav, S.M. (2016). The effect of altered loading on mandibular condylar cartilage. *PloS one*.
- Kieser, J.A., Bernal, V., Waddell, J.N., & Raju, S.R. (2007). The uniqueness of the human anterior dentition: a geometric morphometric analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 52 3, 671-7.
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with procrustes methods. *Evolution*, 1363-1375.
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecological Resources*, 11(2), 353-357.
- Ko, E.W., Huang, C.S., Lo, L., & Chen, Y. (2012). Longitudinal observation of mandibular motion pattern in patients with skeletal Class III malocclusion subsequent to orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery:*

Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons, 70 2, e158-68.

Kowalski, L.M., & Bujko, J. (2012). [Evaluation of biological and clinical potential of paleolithic diet]. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 63 1, 9-15.

Kular, J., Tickner, J.C., Chim, S.M., & Xu, J. (2012). An overview of the regulation of bone remodelling at the cellular level. *Clinical Biochemistry*, 45 12, 863-73.

Lieberman, D. (2008). Speculations about the selective basis for modern human craniofacial form. *Evolutionary Anthropology* 17(1): 55-68.

Marangoni, A., Belli, M. L., Caramelli, D., Jacopo, M.-C., Zavattaro, M., & Manzi, G. (2011). Tierra del Fuego, its ancient inhabitants, and the collections of skeletal remains in the Museums of Anthropology of Florence and Rome. *Museologia scientifica*.

Meleo, D., Bedini, R., Pecci, R., Mangione, F., & Pacifici, L. (2012). Microtomographic and morphometric characterization of a bioceramic bone substitute in dental implantology. *Annali Dell' Istituto Superiore di Sanita*, 48 1, 59-64.

Méndez, C., A. Troncoso, D. Jackson y D. Pavlovic. (2009). Uso del espacio entre cazadores recolectores tardíos en espacios cordilleranos del norte semiarido de Chile. *Intersecciones en Antropología* 10: 313-326.

Mérida-Velasco, J.R., Rodríguez-Vázquez, J.F., Mérida-Velasco, J.A., Sánchez-Montesinos, I., Espín-Ferra, J., & Jiménez-Collado, J. (1999). Development of the human temporomandibular joint. *The Anatomical Record*, 255 1, 20-33.

Mitteroecker, P., Gunz, P., Windhager, S., & Schaefer, K. (2013). A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 59-66.

Monaco, A., Petrucci, A., Marzo, G., Necozone, S., Gatto, R.C., & Sgolastra, F. (2013). Effects of correction of Class II malocclusion on the kinesiographic pattern of young adolescents: a case- control study. *European Journal of Paediatric Dentistry: Official Journal of European Academy of Paediatric Dentistry*, 14 2, 131-4.

Monteiro, C.A., Levy, R.B., Claro, R.M., Castro, I.R., & Cannon, G.J. (2010). A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cadernos de Saude Publica*, 26 11, 2039-49.

Norton, N. S. (2012). Netter. Anatomía De Cabeza Y Cuello Para Odontólogos: Elsevier Masson.

Perez, S.I., & Monteiro, L.R. (2009). Nonrandom factors in modern human morphological diversification: a study of craniofacial variation in southern South

american populations. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, 63 4, 978-93.

Planella, M. T., Falabella, F., Belmar, C., & Quiroz, L. (2015). Huertos, chacras y sementeras. Plantas cultivadas y su participación en los desarrollos culturales de Chile central. *Revista Española de Antropología Americana*, 44(2).

Popovic, N., Drinkuth, N., & Toll, D.E. (2013). Prevalence of class III malocclusion and crossbite among children and adolescents with craniomandibular dysfunction. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*, 75, 36-41.

Proff, P.C., & Roemer, P. (2009). The molecular mechanism behind bone remodelling: a review. *Clinical Oral Investigations*, 13, 355-362.

Raggatt, L.J., & Partridge, N.C. (2010). Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. *The Journal of Biological Chemistry*, 285 33, 25103-8.

Raphael, K.G., Tadinada, A., Bradshaw, J.M., Janal, M.N., Sirois, D.A., Chan, K.C., Lurie, A.G., 2014. Osteopenic consequences of botulinum toxin injections in the masticatory muscles: a pilot study. *J. Oral Rehabil.* 41, 555–563.

Ravosa, M.J., Kunwar, R., Stock, S.R., & Stack, M.S. (2007). Pushing the limit: masticatory stress and adaptive plasticity in mammalian craniomandibular joints. *The Journal of experimental biology*, 210 Pt 4, 628-41.

Rodrigues, A.F., Fraga, M.R., & Vitral, R.W. (2009). Computed tomography evaluation of the temporomandibular joint in Class I malocclusion patients: condylar symmetry and condyle-fossa relationship. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 136 2, 192-8.

Rosenblum, R.E. (1995). Class II malocclusion: mandibular retrusion or maxillary protrusion? *The Angle Orthodontist*, 65 1, 49-62.

Rothhammer, F., & Llop, E. (Eds.). (2004). Poblaciones Chilenas: Cuatro Décadas De Investigaciones Bioantropológicas. Santiago: Editorial Universitaria.

Rouviere, H.; Delmas, A. (1999), *Anatomía Humana: Descriptiva, Topográfica y Funcional. Tomo I. Cabeza y Cuello*, 10ª ed., Barcelona, Editorial Masson.

Santana-Sagredo, F., Lee-Thorp, J. A., Schulting, R., & Uribe, M. (2015). Isotopic evidence for divergent diets and mobility patterns in the Atacama Desert, northern Chile, during the Late Intermediate Period (AD 900-1450). *American Journal of Physical Anthropology*, 156(3), 374-387

Sava, A.R., & Scutariu, M.M. (2012). Functional anatomy of the temporomandibular joint (I). *Revista Medico-Chirurgicala a Societatii de Medici si Naturalisti din Iasi*, 116 3, 902-6.

- Sellers, W.I., & Crompton, R.H. (2004). Using sensitivity analysis to validate the predictions of a biomechanical model of bite forces. *Annals of Anatomy-Anatomischer*, 186 1, 89-95.
- Singh, G.D., Levy-Bercowski, D., & Santiago, P.E. (2005). Three-dimensional nasal changes following nasoalveolar molding in patients with unilateral cleft lip and palate: geometric morphometrics. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal: Official Publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 42 4, 403-9.
- Slice, D. E. (2007). Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36(1), 261-281.
- Smith, R.J., Petersen, C.E., & Gipe, D.P. (1983). Size and shape of the mandibular condyle in primates. *Journal of Morphology*, 177 1, 59-68.
- Sperber, G. H., Sperber, S. M., Guttman, G. D. (2010). Craniofacial embryogenetics and development. Shelton, CT: People's Medical Pub. House USA
- Terhune, C.E. (2013). Dietary correlates of temporomandibular joint morphology in the great apes. *American Journal of Physical Anthropology*, 150 2, 260-72.
- Terhune, C.E., Cooke, S.B., & Otarola-Castillo, E.R. (2015). Form and function in the platyrrhine skull: a three-dimensional analysis of dental and TMJ morphology. *Anatomical Record*, 298 1, 29-47.
- Toro-Ibacache, V., & O'Higgins, P. (2016). The effect of varying jaw-elevator muscle forces on a finite element model of a human cranium. *The Anatomical Record*, 299(7), 828-839. doi:10.1002/ar.23358
- Toro-Ibacache, V., Muñoz, V.Z., & O'Higgins, P. (2016). The relationship between skull morphology, masticatory muscle force and cranial skeletal deformation during biting. *Annals of Anatomy-Anatomischer*, 203, 59-68.
- Toro-Ibacache, M.V., Manriquez, G, & Suazo, 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.
- Torrijo Boix, S. (2015). Factores evolutivos y ecológicos en la diversificación fenotípica dental de poblaciones humanas modernas a través de técnicas de morfometría geométrica. (Doctoral dissertation), Universitat d'Alacant- Universidad de Alicante.
- Trawitzki, L.V., Silva, J.B., Regalo, S.C., & Mello-Filho, F.V. (2011). Effect of class II and class III dentofacial deformities under orthodontic treatment on maximal isometric bite force. *Archives of Oral Biology*, 56 10, 972-6.
- Uribe, M., Sanhueza, L., & Bahamondes, F. (2007). La cerámica prehispánica tardía de Tarapacá, sus valles interiores y costa desértica, norte de Chile (Ca. 900-1.450 D.C.): Una Propuesta Tipológica Y Cronológica. *Chungara*, 39(2).

Vidaurre, F. (2018). Estudio mediante análisis de elementos finitos de la diferencia en la respuesta mecánica craneofacial de individuos que difieren en la intensidad y en el tipo de carga masticatoria. (Título profesional de Cirujano Dentista), Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Xiao, W., Wang, Y., Pacios, S., Li, S., & Graves, D.T. (2016). Cellular and molecular aspects of bone remodeling. *Frontiers of Oral Biology*, 18, 9-16.

Zarrinkelk, H.M., Throckmorton, G.S., Ellis, E., & Sinn, D.P. (1996). Functional and morphologic changes after combined maxillary intrusion and mandibular advancement surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery: Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 54 7, 828-37.

Zimmer, B., Jaeger, A., & Kubein-Meesenburg, D. (1991). Comparison of 'normal' TMJ-function in Class I, II, and III individuals. *European Journal of Orthodontics*, 13 1, 27-34.

12. Anexos

Anexo 1: Acta de aprobación del Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile (2 páginas).



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE MEDICINA
COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN EN SERES HUMANOS



04 ENE. 2016

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

FECHA: 04 de enero de 2016.

PROYECTO: "THE ROLE OF MASTICATORY LOAD INTENSITY AND DENTAL OCCLUSAL RELATIONSHIPS IN SHAPING THE MODERN HUMAN SKULL" (EL ROL DE LA INTENSIDAD DE LA CARGA MASTICATORIA Y LAS RELACIONES OCLUSALES DENTALES EN LA FORMA CRANEOFACIAL HUMANA MODERNA) (Fondecyt Iniciación a la Investigación)

Investigadora Responsable: **Dra. Viviana Toro-Ibacache**, quien desempeña sus labores en la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

Con fecha 22 de Diciembre de 2015, el proyecto ha sido analizado a la luz de los postulados de la Declaración de Helsinki, de la Guía Internacional de Ética para la Investigación Biomédica que involucra sujetos humanos CIOMS 1992, y de las Guías de Buena Práctica Clínica de ICH 1996.

Sobre la base de la información proporcionada en el texto del proyecto el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, estima que el estudio propuesto está bien justificado y que no significa para los sujetos involucrados riesgos físicos, psíquicos o sociales mayores o mínimos.

Cuenta con autorización de las siguientes autoridades para la adquisición de imágenes y uso de base de datos anonimizadas.

Director prof. Dr. Jean-Jacques HUBLIN, Director, Department of Human Evolution, Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie. (Institución Secundaria).

Prof. Dr. Lui Qevedo, ICOR, Instituto de Cirugía – Ortodoncia. Rehabilitación Oral y Maxilo Facial (base de datos de imágenes de tomografías computarizadas preoperatorias de pacientes ICOR)

Sebastián Krapivka F., Encargado de Colecciones Bioantropológicas, Departamento de Antropología, Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile (base de datos de resacas del Cementerio General de Santiago)

En virtud de las consideraciones anteriores el Comité otorga la aprobación ética para la realización del estudio propuesto, dentro de las especificaciones del protocolo.



UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE MEDICINA
COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN EN SERES HUMANOS



04 ENE. 2016

INTEGRANTES DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN
EN SERES HUMANOS

NOMBRE	CARGO	RELACION CON LA INSTITUCION
Dr. Manuel Oyarzún	Presidente	Sí
Prof. Gina Raineri	Secretaria Ejecutiva	Sí
Dr. Hugo Amigo	Miembro	Sí
Dra. Lucía Cifuentes	Miembro	Sí
Dra. María Eugenia Pinto	Miembro	Sí
Dra. María Angela Delucchi	Miembro	Sí
Dra. Grisel Orellana	Miembro	Sí
Prof. Ma. Julieta González	Miembro	Sí
Sra. Claudia Marshall	Miembro	No
Dr. Miguel O' Ryan	Miembro Suplente	Sí

Santiago, 04 de enero de 2016.


 Dr. Manuel Oyarzún Gómez
 PRESIDENTE CEISH

MOG/lom.
Proyecto N° 203-2015
mtoroibacache@odontología.uchile.cl