



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

**MORFOLOGÍA MANDIBULAR EN POBLACIONES ACTUALES Y**  
**ARQUEOLÓGICAS QUE EJERCEN DISTINTAS INTENSIDADES DE CARGAS**  
**MASTICATORIAS DE ACUERDO A SU DIETA**

**Francisco Ugarte Cisternas**

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

**TUTOR PRINCIPAL**  
**Prof. Dra. Viviana Toro-Ibacache**

**Adscrito a Proyecto FONDECYT 11150175**

**Santiago - Chile**

**2017**





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

**MORFOLOGÍA MANDIBULAR EN POBLACIONES ACTUALES Y**  
**ARQUEOLÓGICAS QUE EJERCEN DISTINTAS INTENSIDADES DE CARGAS**  
**MASTICATORIAS DE ACUERDO A SU DIETA**

**Francisco Ugarte Cisternas**

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

**TUTOR PRINCIPAL**  
**Prof. Dra. Viviana Toro-Ibacache**

**Adscrito a Proyecto FONDECYT 11150175**

**Santiago - Chile**

**2017**

## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia, mis padres Soledad Cisternas y Pablo Ugarte por ser los pilares fundamentales de lo que soy y quiero ser. Mis hermanas Sole y Dani, compañeras y consejeras de vida. Gracias por toda la motivación, apoyo, comprensión que me dan incondicionalmente.*

*A mis amigos y amigas, que me han acompañado durante todo este trayecto, convirtiéndolo en una experiencia única, entretenida e invaluable.*

*A mi tutora, Viviana Toro-Ibacache, por ser la mejor tutora, por acompañarme en este proceso y estar siempre dispuesta a ayudarme. Mi más profunda admiración.*

*Agradezco a los miembros del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile por permitirme realizar mi trabajo de investigación adscrito al proyecto FONDECYT 11150175, un excelente equipo y compañeros de trabajo.*

## ÍNDICE

1. Resumen.....	6
2. Marco teórico .....	8
2.1. Introducción.....	8
2.2. Anatomía de la mandíbula.....	8
2.3. Crecimiento y desarrollo mandibular .....	10
2.4. Factores que determinan la variación morfológica craneofacial.....	12
2.5. Función masticatoria y morfología mandibular .....	13
2.6. Poblaciones arqueológicas como modelo de estudio.....	16
2.7. Morfometría Geométrica.....	20
2.8. Justificación y relevancia actual .....	22
3. Hipótesis .....	24
4. Objetivo general.....	24
5. Objetivos específicos .....	24
6. Metodología .....	24
6.1. Muestra .....	25
6.2. Obtención de datos primarios.....	27
6.3. Análisis .....	31
6.3.1. Análisis preliminares.....	31
6.3.2. Análisis exploratorios y confirmatorios .....	32
7. Resultados.....	34
7.1. Análisis preliminares .....	34
7.2. Análisis exploratorios y confirmatorios .....	35
8. Discusión .....	43
9. Conclusiones .....	48
10. Bibliografía .....	49
Anexo 1.....	64
Anexo 2.....	66

## 1. Resumen

Las variaciones en la morfología craneofacial han sido atribuidas a diversos factores. Entre éstos, los cambios en la dieta durante la evolución, de una con consistencia dura y resistente a otra más blanda con un alto grado de procesamiento extraoral, lo que impactaría en las cargas experimentadas por los huesos faciales durante el desarrollo. Este factor incluso ha sido propuesto como fundamental en la aparición de maloclusiones en el hombre moderno. Comprender la relación entre masticación y forma mandibular es entonces esencial para la odontología, así como para diversas ramas de las ciencias. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar una comparación de la forma mandibular de individuos de poblaciones arqueológicas y modernas, con dietas de distinta consistencia y que por ello requieren de distinta intensidad en sus cargas masticatorias.

Esta tesis corresponde a un estudio transversal descriptivo. Se contó con un total de 90 tomografías computarizadas (TCs) de individuos arqueológicos y modernos de Chile y Argentina, los cuales fueron clasificados según su economía de subsistencia y con ello, intensidad de carga en intensa (cazadores-recolectores), moderada (agricultores) y leve (modernos/actuales). Luego de obtener un modelo virtual 3D a partir de las TCs, para cada individuo se definió la morfología mandibular a través de 32 coordenadas espaciales (hitos o *landmarks*). Estas configuraciones de hitos fueron analizadas mediante la técnica de morfometría geométrica en los software MorphoJ y Past v.3.15 para investigar la relación entre la forma mandibular y la intensidad de carga.

Nuestros resultados arrojan que el factor alométrico es responsable por el mayor porcentaje de variabilidad en la morfología mandibular, seguido por el factor carga masticatoria. Respecto este último, se encontró una relación estadísticamente significativa. Sin embargo, la separación más clara se dio entre intensidad de carga leve contra cargas moderada e intensa. En estos dos últimos grupos las mandíbulas son notoriamente más robustas, con una anatomía de mayor eficiencia mecánica.

Como conclusión, existe una relación significativa entre forma mandibular e intensidad de carga, si bien el factor alométrico es el factor más relevante. La relación entre carga masticatoria y forma mandibular es más fuertemente expresada

en hombres que en mujeres. Cargas masticatorias intensas y moderadas tienden a producir morfologías más robustas que las cargas masticatorias leves.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Introducción**

Muchas preguntas concernientes a la forma surgen en la investigación biológica: ¿Cuál es la forma promedio de un hueso/órgano estructura en una población?, ¿Cuál es el patrón de variación de forma de dicha estructura dentro de una población? ¿Cómo varía la forma de dicha estructura entre poblaciones? ¿Cuál es la importancia funcional de dicha variación?

Con el objetivo de dar luz a estas interrogantes y establecer parámetros de normalidad, describir diferencias y caracterizar distintas poblaciones, es que una gran variedad de investigadores como antropólogos físicos, biólogos y recientemente odontólogos han enfocado su interés en el área. En el caso de los éstos últimos, existe un creciente interés en el estudio de las consecuencias clínicas de la variación morfológica.

La forma mandibular se relaciona estrechamente con la función masticatoria (fuerza muscular, fuerza de mordida). En el presente trabajo analizaremos la forma de la mandíbula en poblaciones arqueológicas y modernas, con el objetivo de evaluar y describir anatómicamente la eventual relación de la morfología mandibular de cada población con la consistencia de su respectiva dieta, entendiendo ésta como la causa de un uso intenso o menos intenso del aparato masticatorio.

Para esto utilizamos herramientas de la morfometría geométrica, técnica de vanguardia que durante los últimos años ha sido de importante utilidad para responder y lograr aclarar interrogantes respecto a la forma.

### **2.2. Anatomía de la mandíbula**

La anatomía macroscópica mandibular ha sido ampliamente estudiada por distintos anatomistas (Testut y Latarjet, 1964; Rouvière y cols., 1987; Norton, 2012). A continuación se resume la información común a todos ellos. La mandíbula corresponde a un hueso impar del tercio inferior del rostro. Se distinguen en ella tres partes: el cuerpo y dos segmentos laterales, las ramas, que se alzan desde los extremos posteriores del cuerpo. El cuerpo tiene forma de herradura, posee una cara



anterior convexa y otra posterior cóncava, un borde superior o alveolar y un borde inferior libre. La cara anterior posee en su plano mediano la sincondrosis (conocida comúnmente como "sífnfisis") mandibular que es la huella de la unión de los dos segmentos laterales que conforman la mandíbula. La sincondrosis mandibular termina inferiormente en un vértice triangular. A cada lado del cuerpo mandibular se encuentra una cresta llamada línea oblicua que se dirige posterior y superiormente y se continúa con el borde anterior de la rama mandibular. Anterior a esta línea se encuentra el agujero mentoniano, orificio relativamente equidistante a ambos bordes de la mandíbula (en condiciones normales y libres de patología) y ubicado en una vertical que pasa entre los dos premolares o por uno u otro de estos dientes. Su cara posterior posee en su línea media las espinas mentonianas (superiores e inferiores o fusionadas) que sirven de inserciones musculares (músculos genioglosos y genihioideos). Desde las espinas mentonianas hacia posterior nace la línea milohioidea que termina en la rama mandibular. Las ramas mandibulares son de forma aproximadamente rectangular alargadas de superior a inferior y presentan dos caras (medial y lateral) y cuatro bordes. La cara lateral presenta rugosidades en su parte inferior donde se inserta el músculo masétero. La cara medial presenta en su parte inferior rugosidades correspondientes a las inserciones del músculo pterigoideo medial; en su parte media presenta el agujero mandibular y anteriormente a él una saliente triangular aguda, la línula mandibular. El borde anterior está delimitado a ambos lados por dos crestas, medial y lateral, que inferiormente se continúan con las líneas milohioidea y oblicua externa respectivamente, y superiormente con la cresta temporal y proceso coronoides. El borde posterior es grueso y romo, y tiene una forma de S alargada. El borde inferior se continúa con el cuerpo mandibular formando el ángulo mandibular. El borde superior presenta dos salientes, una anterior triangular que corresponde al proceso coronoides y otra posterior que corresponde al proceso condilar, ambos separados por la incisura mandibular. El proceso coronoides presenta inserciones del músculo temporal mientras que el cóndilo articulará con el hueso temporal.

### 2.3. Crecimiento y desarrollo mandibular

De acuerdo a Sadler (2011) la mandíbula, así como también su musculatura asociada, se forma entre la cuarta y sexta semana de vida intrauterina. El ectomesénquima necesario para la formación de la mandíbula, así como también del maxilar y los demás huesos de la cara proviene exclusivamente de la cresta neural (Meruane y cols., 2012). Las células de la cresta neural migran anteriormente, donde se comienzan a formar los arcos faríngeos. De estos, el principal responsable de la formación de la mandíbula es el primer arco faríngeo, específicamente en su porción inferior, las prominencias maxilares inferiores las cuales comienzan su formación en la cuarta semana de vida intrauterina y ya en la sexta ambas prominencias se fusionan formando el arco mandibular. Este arco posteriormente se osifica por osificación membranosa, con un elemento de suma importancia que le servirá de guía, el cartílago mandibular (de Meckel).

De acuerdo a Kjær y cols (1999), la mandíbula es el primer hueso craneal en osificarse y el segundo de todo el organismo, siendo la clavícula el primero. Lo hace a partir de un centro, localizado en la región donde más tarde se desarrollará el germen del canino. Desde aquí la osteogénesis progresa hacia la línea mediana, lingual y bucalmente para formar un canal alrededor del cartílago mandibular y hacia atrás a lo largo de la cara lateral del cartílago formando hueso alrededor del nervio alveolar inferior. Adicionalmente, la formación ósea se extiende hacia arriba, para dar soporte al desarrollo de los gérmenes dentarios y aparecen las láminas alveolares desde las superficies bucal y lingual del canal. La rama mandibular se forma por una extensión de la osificación desde el cuerpo, hacia atrás y debajo del foramen mandibular (Sperber y cols., 2001). La osificación del cuerpo avanza hacia atrás y se continúa en la zona que luego se va a convertir en la línula mandibular, desde donde el extremo posterior del cartílago mandibular se introduce al cráneo para formar los osículos del oído medio.

El cartílago mandibular se reabsorbe gradualmente y es reemplazado por una extensión de la osificación del hueso membranoso que está alrededor de él. Se cree que la parte anterior del cartílago participa en la formación de la sincondrosis mandibular, mientras que la posterior sirve como una guía morfológica (un esqueleto

cartilaginosa) para la mandíbula embriológica y desaparece cerca de la semana 24 (Kjær, 1975).

La mandíbula no crece por una simple adición ósea en todas las superficies sino que necesita de la reabsorción y aposición ósea para su normal crecimiento, este se puede enmarcar en dos tipos: el crecimiento cartilaginosa (en base a cartílago secundario o de crecimiento), presente en las zonas del proceso condilar, proceso coronoides y la sincondrosis mandibular, y el modelamiento periostal-endostal, que es fundamental en el crecimiento mandibular, ya que cambia el tamaño y la forma tanto del cuerpo como de la rama mandibular a lo largo del desarrollo (Sperber y cols., 2001; Meikle, 2002; Nanci, 2013).

La mandíbula puede ser dividida en unidades funcionales que determinan su desarrollo. Cada una de esas unidades funcionales está influenciada por una matriz funcional (Moss, 1968; Moss, 2007) que actúa sobre el hueso: los dientes actúan como matriz funcional de la unidad alveolar (Hutchinson y cols., 2017), la acción de los músculos temporales es esencial en el desarrollo del proceso coronoides, y los músculos masetero y pterigoideo medial en el del ángulo y la rama mandibular (Moss, 1997). El músculo pterigoideo lateral y el tejido ligamentoso retrocondíleo son importantes en el desarrollo del proceso condilar (Moss, 2007). Finalmente, el funcionamiento y crecimiento de la lengua y los músculos periorales, y la expansión de las cavidades oral y faríngea, dan un estímulo para que el crecimiento mandibular logre su máximo potencial (Sperber y cols., 2001).

La mandíbula posee numerosas zonas de modelación que están sujeta a influencias locales funcionales que involucran reabsorción selectiva y desplazamiento de elementos mandibulares individuales. Los principales sitios de crecimiento mandibular postnatal son el cartílago condilar, los bordes posteriores de la rama y los rebordes alveolares. Estos sitios son de aposición ósea llevan a cabo el crecimiento vertical, transversal y anteroposterior (Enlow, 1990).

La inserción de los músculos elevadores de la mandíbula a los lados de la rama, al ángulo mandibular y proceso coronoides tiene efecto en el tamaño y la forma de ellos (Enlow, 1990). Considerando entonces el importante rol que ejerce la función muscular en el desarrollo y modelamiento mandibular es que sería posible relacionar

la dieta, o más bien, la consistencia de ésta, como factor determinante de la variación morfológica craneofacial entre individuos.

#### **2.4. Factores que determinan la variación morfológica craneofacial**

El esqueleto craneofacial de los humanos, durante su evolución ha sufrido una serie de cambios fenotípicos, los cuales se relacionarían con diversos factores, tales como historia poblacional, geografía y clima (Vidarsdottir y O Higgins, 2003; Lieberman, 2008; Noback y cols., 2011; von Cramon-Taubadel, 2011; Menéndez y cols., 2014). Otros autores en las últimas décadas, también han postulado que la mayoría de las variaciones de la forma del cráneo del humano moderno son congruentes con un modelo de evolución neutral, es decir causadas por la deriva génica y mutaciones aleatorias (Kimura, 1983), con relativamente pocas regiones morfológicas sujetas a diversificación fenotípica asociada a factores externos o ecológicos (Relethford, 1994; Betti y cols., 2009). Sin embargo, se ha observado que varias estructuras de la cara parecen haber sido objeto de diversificación por selección natural en respuesta a las condiciones climáticas como la cavidad nasal (Franciscus y Long, 1991; Roseman, 2004; Noback y cols., 2011). Además, los patrones globales de variación mandibular no siguen un modelo de evolución neutral (Smith, 2011), y la función masticatoria tendría un fuerte impacto en el desarrollo facial, particularmente maxilar y mandibular (von Cramon-Taubadel, 2011; Toro-Ibacache y cols., 2016). Los factores ecológicos pueden ser la causa de la variación morfológica en las distintas poblaciones ya sea porque actúan generando presión selectiva durante la divergencia de las poblaciones que habitan en contextos ambientales distintos, o porque los organismos responden a influencias ambientales durante la ontogenia, lo que se conoce como plasticidad fenotípica (Roseman, 2004; Collard y Wood, 2007). El tejido óseo presenta esta capacidad de reacción. Si bien la genética es un importante factor en su formación y crecimiento, las cargas funcionales a las que se ve sometido en vida y que corresponden a una combinación de compresión, tensión, flexión, cizalla y torsión (Fig. 1) son de gran relevancia en su modelamiento y remodelamiento y con ello, los cambios en su forma (Herring y Lakars, 1981; Moss, 1997; Witzel y Preuschoft, 2002). Estos cambios de forma hacen que el hueso sea

capaz de soportar mejor el nuevo escenario de carga (Paschetta y cols., 2010; Lieberman, 2011).

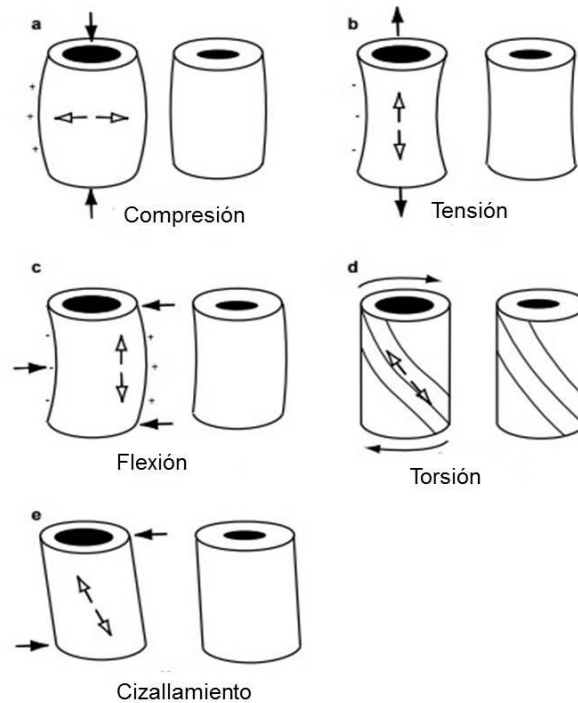


Figura 1. Fuerzas actuando sobre un segmento de hueso largo y el cambio generado en la forma del hueso para resistir la carga recibida. Imagen modificada Lieberman (2011).

## 2.5. Función masticatoria y morfología mandibular

Para entender el proceso de evolución fenotípica y desarrollo del cráneo y mandíbula humana es clave comprender cómo la función masticatoria genera cargas sobre el hueso y cómo éstas pueden afectar la forma craneal y mandibular.

Durante la oclusión y masticación, la mandíbula es sometida a fuerzas producidas por los músculos de la masticación y a fuerzas de reacción aplicadas sobre la articulación temporomandibular y los dientes (Fig. 2), las que deforman la mandíbula de manera no perceptible al ojo humano (van Eijden, 2000).

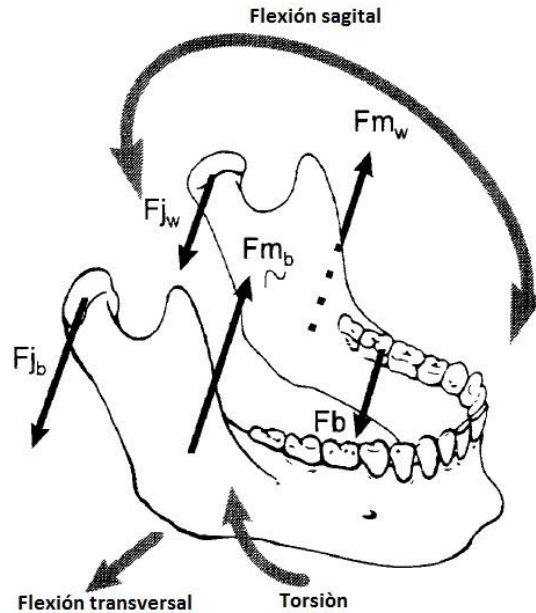


Figura 2. Vectores de fuerza que actúan sobre la mandíbula durante la masticación (unilateral molar derecha). Fb= fuerza oclusal; Fm=fuerza muscular; Fj=fuerza de reacción articular; w=lado de trabajo; b=lado de no trabajo. Modificado de van Eijden (2000).

Estas fuerzas y sus puntos de aplicación cambian continuamente durante la masticación y la magnitud y distribución de las deformaciones provocadas por estas dependen de la naturaleza de la carga externa, de las propiedades materiales del tejido óseo y de la geometría de la mandíbula, incluyendo la cantidad y distribución del tejido óseo (van Eijden, 2000). Por ejemplo en sentido sagital durante la masticación o apriete dentario, la mandíbula es sometida a fuerzas de flexión, resultante de los componentes de las fuerzas musculares, de las fuerzas de reacción en los cóndilos y de las fuerzas oclusales, en sentido frontal se traduce en una torsión, esto varía según el punto de aplicación de fuerza y el plano de referencia observado.

Ya que la mandíbula, como cualquier hueso, tiene la capacidad de reaccionar ante cargas mediante remodelamiento del tejido, las cargas generadas sobre el hueso son compensadas mediante aposición ósea en zonas de tensión y reabsorción en zonas de compresión (Hylander, 1979; Hylander y Bays, 1979; van Eijden, 2000).

La relación entre la forma de la mandíbula y la función masticatoria ha sido ampliamente estudiada en homínidos (Daegling, 1989; Gillespie, 1990; Daegling y

Grine, 1991; Uchida, 1996; Daegling, 2001; Taylor, 2003; Taylor, 2006; Daegling y McGraw, 2007; Taylor y cols., 2009; Taylor y Vinyard, 2013). Especies como *Gorilla gorilla* (gorila) y *Pongo pygmaeus* (orangután) poseen la capacidad de ingerir alimentos más desafiantes a la hora de masticar que otras especies como *Pan troglodytes* (chimpancé), humanos y otros. Tienen entonces músculos de mayor área transversal, capaz de generar mayores fuerzas y una arquitectura ósea mejor capacitada para soportar dichas cargas sin romperse (Daegling, 1989; Uchida, 1996; Daegling, 2001; Taylor, 2003; Daegling y McGraw, 2007; Taylor y cols., 2009; Taylor y Vinyard, 2013).

Uno de los procesos más importantes en la evolución humana durante el Holoceno, fue la transición de la economía basada en la caza y recolección a la producción propia de alimentos (agricultura). El aumento de la dependencia en la agricultura y el pastoreo implicó una serie de transformaciones de características biológicas de la población humana a nivel mundial (Larsen, 1995; Pechenkina y cols., 2002; Pinhasi y cols., 2008). En América del Sur, la más temprana evidencia de la agricultura apareció en Perú y Ecuador, hace aproximadamente 6.900 años (Pearsall, 1984; Cowan y cols., 2006) o inclusive antes (Smith, 1998). En Argentina, las poblaciones de agricultores se ubicaron principalmente en el centro-oeste del territorio (Gil, 2003). Las poblaciones localizadas más al sur seguían manteniendo su economía basada en la caza y recolección de alimentos, coexistiendo con agricultores de más al norte.

El cambio dietario desde un tipo basado en la caza y recolección, pasando por otro basado en la agricultura hasta hoy, con una dieta rica en alimentos procesados ha sido propuesto como un factor de variación morfológica a nivel poblacional. En un estudio realizado en poblaciones arqueológicas de la región de Baja Nubia al sur de Egipto, cuyas economías de subsistencia cambiaron del tipo cazador recolector (10.000-13.000 AP) a agricultor (2.050-1.600 AP), se encontró que los cazadores recolectores mesolíticos se caracterizaron por poseer un mayor tamaño, mandíbulas, rostros y arcos cigomáticos más robustos, (Galland y cols., 2016). von Cramon-Taubadel (2011), estudiando poblaciones arqueológicas de 11 localidades a nivel mundial, cuya base de subsistencia alimentaria difería entre cazadores recolectores y agricultores, encontró que los patrones globales de la morfología mandibular

diferían respecto a la economía de subsistencia que poseía cada población, con una tendencia a la robusticidad en la población cazadora recolectora y una morfología más grácil en la población agricultora.

Con el fin de estudiar la relación entre carga masticatoria y anatomía mandibular, en la presente tesis se comparará grupos de cazadores recolectores, agricultores, e individuos de poblaciones actuales, todos habitantes del actual territorio de Chile y Argentina.

## **2.6. Poblaciones arqueológicas como modelo de estudio**

América del Sur se caracteriza por tener una variada ecología (principalmente en clima y dieta) y por ser una de las últimas regiones en el mundo colonizadas por el humano moderno alrededor de 12.500-13.000 AP (Borrero, 1999; Lanata y cols., 2008).

La población nativa de América del Sur presenta una alta variabilidad en sus rasgos craneofaciales, y se ha sugerido que esta variabilidad tiene relación con las economías de subsistencia de las distintas poblaciones (Sardi y Ramírez Rozzi, 2005; Pucciarelli y cols., 2006; Sardi y cols., 2006; Perez y cols., 2007). En esta tesis estudiaremos algunos ejemplos de estas poblaciones que difieren en su economía de subsistencia.

**Individuos del valle del río Chubut.** Ubicados en la zona centro-sur de la Patagonia argentina, datan del Holoceno tardío (ca. 1.500–200 años AP) (Perez y Monteiro, 2009). Su subsistencia estaba basada en la caza del guanaco y de otros animales así como también de la recolección de plantas y frutos silvestres (Bernal y cols., 2006). Como consecuencia este grupo estaba caracterizado por el consumo de grandes cantidades de proteína y bajo consumo de carbohidratos, como sugieren algunos indicadores bioarqueológicos (Bernal y cols., 2007). Esta población, así como otros cazadores-recolectores de la región muestran una gran robusticidad craneofacial debido al pronunciado desarrollo de estructuras como las regiones supraorbitales y supraciliares (Lahr y Wright, 1996; Bernal y cols., 2006; Perez y cols., 2007; Baab y cols., 2010; Gonzalez y cols., 2010). Se ha revelado que los



patagónicos están morfológicamente relacionados con poblaciones vecinas y exhiben robusticidad similar a otros grupos de cazadores-recolectores (Bernal y cols., 2006).

**Individuos de Pampa Grande.** Proviene de sitios arqueológicos ubicados en las colinas de Las Pirgüas, al noroeste de Argentina (Carnese y cols., 2010; Gonzalez y cols., 2010). Los sitios se han fechado de alrededor de 1.500 AP según los objetos arqueológicos asociados con ellos (Baldini y cols., 2003; Carnese y cols., 2010). Las plantas cultivadas y silvestres fueron los principales recursos de su subsistencia (Baldini y cols., 1998). Según estudios bioarqueológicos, esta población se encontraba bajo un notable estrés nutricional debido a su dieta con alto contenido de carbohidratos pero bajo en hierro (Baffi y cols., 1996).

**Fueguinos.** Habitantes de Tierra del Fuego, ocuparon la región desde 6.400 AP hasta el siglo XIX (Orquera y Piana, 2009; Piana y Orquera, 2009). Descubiertos por primera vez en las expediciones europeas realizadas en 1.520, su desaparición se dio a principios del siglo XX debido principalmente a la colonización europea (Marangoni y cols., 2011).

La población de fueguinos estaba conformada por tres grupos. Los alacalufes, en las islas de la parte occidental del archipiélago, desde la isla de Stewart hasta la Patagonia occidental, los selknam, que se encontraban en la isla grande, y los yámanas, que se ubicaban en las islas del sur de Tierra del Fuego, entre el Canal de Beagle y las islas Hermite. Los alacalufes y yámanas pasaban una gran parte del tiempo desplazándose entre las diversas islas mediante canoas construidas por grandes segmentos de corteza. Los selknams, que vivieron en el continente, se describieron como fueguinos caminantes (Marangoni y cols., 2011).

La economía de subsistencia de los fueguinos se basaba principalmente en los recursos marinos, la pesca, la caza de focas (aunque ésta era de menor relevancia) (Snow, 1861; Bridges, 1885; Tafuri y cols., 2017). La caza del guanaco también pudo haber sido un recurso terrestre importante (Yesner y cols., 2003). Ejemplos de recursos fueron el pescado, los mariscos, erizos de mar, aves como pingüinos,

cormoranes, avutardas y patos, y mamíferos marinos como nutrias, focas y leones marinos (Marangoni y cols., 2011).

La dieta vegetal de los Fueguinos era bastante pobre y consistía principalmente en unas pocas especies de hongos y bayas de arbustos berberidáceos (Marangoni y cols., 2011).

La baja complejidad en los patrones de desgaste de superficie dentaria refleja una dieta baja en abrasivos. Esto es coherente con una dieta alta en carne y con cantidades bajas de partículas abrasivas ingeridas como resultado de técnicas más sofisticadas de preparación (El-Zaatari, 2010).

**Chonos.** Ocuparon la totalidad del archipiélago de los Chonos hasta la península de Taitao, al sur de Chiloé aproximadamente 410 ( $\pm 70$ ) AP (Aspillaga y cols., 2006). Los chonos eran transhumantes que vivían con sus familias en canoas, con las que se desplazaban por las costas del territorio. Su principal sustento eran peces, lobos de mar, ballenas y aves marinas, junto con la recolección de mariscos y especies vegetales. Los instrumentos que utilizaban eran de piedra: hachas, cuchillos y anzuelos (Zapater y Equioíz, 1998).

**Individuos del complejo Pica-Tarapacá.** El cementerio Pica 8 data de 1.050-650 AP (Nuñez Atencio, 1991a; Uribe y cols., 2007). Las comunidades de Pica-Tarapacá estaban distribuidas desde la costa hacia el interior, delimitadas por Camiña en el norte y el río Loa hacia el sur (Aguero, 2006).

Cada una de las zonas geográficas estaba relacionada con especializaciones económicas. En la costa se observan evidencias de pesca, caza de mamíferos marinos y recolección de recursos marinos, mientras que una intensificación y consolidación de actividades agrícolas y pastoriles aparentemente se produjeron en los valles y altiplanos. Estas especializaciones regionales contribuyeron al intercambio de recursos entre comunidades y zonas, intercambiando recursos marinos por artículos textiles y alimentos como el maíz, generando un clásico sistema de complementariedad económica (Moragas, 1995; Aguero, 2006; González y Westfall, 2006; Uribe y cols., 2007; Santana-Sagredo y cols., 2015).

Las comunidades de Tarapacá del interior basaban su economía de subsistencia en plantas y animales silvestres, así como en cultivos domésticos y animales. Los sitios muestran evidencia de la colección de frutos silvestres como el algarrobo, el chañar y el molle (García y Vidal, 2006; Uribe y cols., 2007). Un sistema complejo de terrazas de cultivo en la precordillera a 3.200 mt, y los restos de maíz frecuentes de los sitios en los oasis indican el cultivo de maíz como principal recurso agrario (García y Vidal, 2006). Otros alimentos vegetales encontrados incluyen quínoa, papas y zapallo. La fauna terrestre incluye camélidos y cuy. Sin embargo, la mayor parte de la evidencia del camélido está en la forma de coprolitos y pelo, señalando el uso de estos animales para la producción y el transporte de textiles en lugar del consumo (Nuñez Atencio, 1991b; Neves y cols., 1999; Torres-Rouff y Costa Junqueira, 2006; Uribe y cols., 2007).

**Mapuches.** Población que según historiadores data de 2.950 AP, y que aún habitan ciertas regiones al sur de Chile (Bengoa, 2000). Corresponden a la población indígena predominante durante la colonización española. En Chile, estos indígenas se situaban desde el valle de Aconcagua y Mapocho y se extendía su territorio hacia el sur, hasta el río Toltén, y en Argentina habitaban las provincias de Chubut, Neuquén y Río Negro (Villalobos, 1980; Zapater y Equioíz, 1998; Rothhammer y Llop, 2004). Poseían un gran sistema de agricultura en los valles de Aconcagua y Mapocho (Hidalgo y cols., 1989). Cultivando principalmente maíz. Además cultivaban zapallo, porotos, quínoa, entre otros. Su dieta era complementada con la caza y la recolección de una diversidad de especies situadas en distintos ámbitos ecológicos (De Vivar, 1979).

Para estudiar la morfología del aparato masticatorio, específicamente de la mandíbula de las poblaciones antes expuestas y las posibles variaciones que ésta pueda tener entre una población y otra se necesita una herramienta precisa que pueda analizar y comparar simultáneamente diversos factores de la forma mandibular. En esta tesis se utilizó la técnica de morfometría geométrica.

## 2.7. Morfometría Geométrica

La morfometría es el estudio de la covariación de la forma con factores subyacentes. Su desarrollo en las últimas décadas ha alcanzado áreas de la biología tradicionalmente dedicadas al estudio descriptivo, como las ciencias morfológicas, las que con las nuevas herramientas morfométricas geométricas han logrado no sólo objetivar la evaluación cuantitativa de los cambios morfológicos sino también la evaluación cualitativa a través de la recuperación de la forma en estudio (Toro Ibacache y cols., 2010).

El objetivo de la morfometría geométrica es analizar la forma independientemente de aquellos componentes que no definen la geometría intrínseca del objeto (Toro Ibacache y cols., 2010). La variable dependiente entonces es la información geométrica, que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de un objeto (Kendall, 1977).

El análisis morfométrico geométrico consta de tres etapas fundamentales: obtención de los datos primarios, obtención de las variables de la forma y análisis estadístico.

**Obtención de los datos primarios.** Estos corresponden a hitos o *landmarks* que en conjunto son representativos de la forma o geometría de un objeto a estudiar (Toro Ibacache y cols., 2010). Estos hitos tienen una posición específica en el espacio (coordenadas en dos o tres dimensiones), que además señalan la presencia de estructuras homólogas entre los individuos de la muestra (Bookstein, 1991). Cada individuo es analizado como una configuración o conjunto de hitos (Toro Ibacache y cols., 2010).

**Obtención de las variables de la forma.** Para esto es clave tener claro el concepto de forma. La forma de un objeto son las propiedades geométricas invariables a la traslación, rotación y escala de éste. En otras palabras, la forma de un objeto no es afectada por sus cambios en la posición, orientación y el tamaño (Mitteroecker y cols., 2013). Entonces, para analizar la forma de diferentes individuos, en primera instancia hay que minimizar las diferencias de forma debido a estos factores. Esto es posible mediante el análisis de Procrustes, que remueve las variaciones debido a rotación y traslación en el espacio y escala la configuración de coordenadas de los

especímenes a un mismo tamaño de centroide (es decir, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las distancias de todos los hitos del centro geométrico de la configuración) (Dryden y Mardia, 1998).

**Análisis estadístico multivariado.** Las variables de la forma, libres del efecto de la rotación, translación y escala, corresponden a datos geométricos que pueden someterse a test estadísticos multivariados con el fin de establecer relaciones entre los cambios de la forma y los factores subyacentes (O'Higgins y Jones, 1998). Entre estos análisis, uno de los más comunes en estudios anatómicos y que será utilizado en esta tesis es el análisis de componentes principales que permite ver cambios de forma entre individuos y ayudan a identificar los patrones de covariación entre la forma con otras variables (Adams y cols., 2013).

**Visualización de los cambios de la forma.** Por último, se utilizan métodos gráficos para visualizar patrones de la variación de la forma y facilitar las descripciones de los cambios, en este caso, con esquemas tridimensionales (Adams y cols., 2013). Así, la morfometría geométrica permite realizar interpretaciones de alto significado biológico, de las diferencias entre individuos, poblaciones, etc. (Toro Ibacache y cols., 2010).

## 2.8. Justificación y relevancia actual

El conocimiento de la relación entre la forma craneofacial y la función masticatoria no sólo es esencial para la mejor comprensión de la biología y ecología de poblaciones humanas extintas y actuales, sino también para fines médicos y forenses (identificación, reconstrucción del modo de vida, etc).

En el ámbito odontológico, una condición que podría estar relacionada con estos posibles cambios anatómicos a nivel maxilar y mandibular (particularmente con la gracilización asociada a dietas de menor consistencia) es la presencia de anomalías dentomaxilares (Yan-Vergnes y cols., 2013). El apiñamiento dentario y los dientes en mala posición son muy comunes entre las poblaciones del mundo, con una prevalencia media del 20% (Proffit y cols., 1997). Murrieta Pruneda y cols. (2007), refieren que la tasa de prevalencia por maloclusiones en adolescentes mexicanos fue del 96,4%, siendo el apiñamiento dental la característica más frecuente observada en este grupo; resultados similares al estudio realizado por Medina (2010). En Chile, se han reportado prevalencias de maloclusiones (de distinta severidad) de un 44% en niños de la zona central (Muelle y cols., 2015), 67 y 96% en niños y adolescentes del sur del país (Cartes-Velásquez y cols., 2010; Burgos, 2014), lo que afecta de manera significativa la calidad de vida (Cartes-Velásquez y cols., 2010) y plantea la necesidad de conocer más acerca de la etiología de las maloclusiones, y eventualmente generar estrategias de prevención. Si bien las maloclusiones tienen múltiples etiologías, en un gran número de casos es causada por la disparidad entre el tamaño de la mandíbula y la longitud total del arco dentario (Rose y Roblee, 2009).

La maloclusión ha sido descrita como un “mal de la civilización” (Hunt Jr, 1961), y se ha planteado la hipótesis de que la alta prevalencia de la maloclusión y algunos de sus afecciones relacionadas (apiñamiento dental, giroversiones) están asociados con la urbanización y, en algunos casos, la industrialización (Corruccini y Beecher, 1982; Corruccini, 1984).

El factor principal se cree que es la base de este aumento en la prevalencia de la maloclusión, es una reducción global en el estrés masticatorio derivado de los cambios en la dieta. Esta reducción de las fuerzas masticatorias actuarían especialmente durante el crecimiento mandibular y craneofacial, resultando en una

incongruencia entre el tamaño del arco dentoalveolar, que no responde de manera plástica a las fuerzas masticatorias, y tamaño de la mandíbula (Corruccinni y Whitley, 1981).

Dada la alta tasa de prevalencia de maloclusiones en individuos chilenos, es importante para el odontólogo conocer la evolución y los cambios de forma y tamaño que ha sufrido la anatomía mandibular y los factores asociados a estos cambios. Ya que se ha propuesto que una consecuencia directa de los cambios en la consistencia de la dieta sería la aparición de maloclusiones, es importante conocer primero si existen diferencias en la anatomía mandibular entre individuos con distinta economía de subsistencia y segundo, caracterizar estas diferencias con el fin de discutir cómo éstas podrían facilitar la aparición de maloclusiones.

Los posibles hallazgos de este estudio serían de gran utilidad en la medicina y odontología, y también en la antropología física y la paleontología humana, donde el vínculo entre las estrategias de alimentación y la morfología del cráneo y mandíbula proporciona información detallada sobre la historia de la población (Larsen, 1987; Menéndez y cols., 2014) y la evolución fenotípica (von Cramon-Taubadel, 2013; Noback y Harvati, 2015).

### **3. Hipótesis**

Las características de la forma mandibular en poblaciones arqueológicas y actuales se relacionan con la intensidad de las cargas masticatorias (intensa, intermedia o leve) requeridas por sus dietas.

### **4. Objetivo general**

Estudiar la relación entre la forma mandibular y la intensidad de cargas masticatorias, dada por diferencias en la consistencia de los alimentos, utilizando poblaciones arqueológicas y actuales de Chile y Argentina.

### **5. Objetivos específicos**

- Realizar reconstrucciones tridimensionales (3D) de mandíbulas humanas procedentes de colecciones antropológicas y bases de datos clínicos, a partir de sus tomografías computarizadas (TCs).
- Comparar y describir para cada grupo de individuos las variaciones de forma de la mandíbula encontradas mediante herramientas de morfometría geométrica.
- Relacionar las diferencias anatómicas entre los grupos con la intensidad de carga masticatoria.

### **6. Metodología**

El diseño del estudio corresponde a un estudio transversal descriptivo. Esta tesis realiza una comparación de la forma mandibular en individuos de poblaciones con dietas de distinta consistencia y que por ello requieren ejercer distintas magnitudes de fuerza masticatoria (denominado en este estudio como “intensidad de carga”).



## 6.1. Muestra

La muestra está compuesta por un total de 90 individuos de poblaciones arqueológicas y actuales, representando dietas que requieren distinta intensidad de cargas masticatorias.

Los individuos corresponden a adultos, sin malformaciones ni signos de trauma masivo craneofacial; con arcos dentales completos o al menos algunos molares en posición apta para la oclusión (no extruidos ni rotados hacia mesial). Individuos con pérdida periodontal apreciable no fueron incluidos. Se clasificarán en tres grupos según la carga masticatoria: "intensa", "intermedia" y "leve".

**Grupo de carga intensa.** Poblaciones de cazadores-recolectores, los que tradicionalmente son conocidos por consumir alimentos duros o resistentes, poco procesados, lo que los lleva a un uso de altas fuerzas oclusales (González-José y cols., 2005; von Cramon-Taubadel, 2011). Como se mencionó anteriormente, los cazadores-recolectores corresponden a poblaciones cuya economía de subsistencia se basa en la caza de animales y la recolección de frutos, semillas y/o mariscos (Kelly, 1983; Bernal y cols., 2006). Dentro de América del Sur, los cazadores-recolectores de la Patagonia y Tierra del Fuego se han utilizado ampliamente como ejemplos de individuos de dieta dura y resistente (González-José y cols., 2005; Bernal y cols., 2006; El-Zaatari, 2010). Para este grupo se cuenta con nueve Individuos Chonos (sur de Chile), quince individuos de Tierra del Fuego (Argentina y Chile) y once individuos del valle del río Chubut (Patagonia argentina).

**Grupo de carga intermedia.** Los agricultores son el clásico representante del cambio en la consistencia de la dieta desde estrategias de alimentación de caza-recolección a una dieta con mayor diversificación y elaboración de los alimentos (González-José y cols., 2005). Se incluirán nueve individuos mapuches de Chile y Argentina, siete individuos de Pampa Grande (Norte Grande argentino), así como quince representantes del grupo Pica Tarapacá (Norte Grande chileno).

El material esquelético de los dos grupos anteriores y/o sus TCs están alojados en diferentes colecciones de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile (Santiago de Chile), el Museo de Historia Natural de Florencia (Florencia, Italia) y el Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva (Leipzig, Alemania).

**Grupo de carga leve.** Los seres humanos modernos de poblaciones contemporáneas, urbanas, se caracterizan por tener dietas basadas en el consumo de alimentos altamente procesados fuera de la cavidad oral (Smith, 1984; Monteiro y cols., 2010). La composición de este grupo es de doce individuos recuperados del Cementerio General, y doce TCs del banco de datos de pacientes del Hospital Clínico Universidad de Chile, ambos de Santiago de Chile. Los datos están anonimizados y las TCs fueron practicadas por razones médica ajenas a los objetivos de este estudio.

El origen geográfico de las poblaciones en estudio está esquematizado en la Fig. 3.



Figura 3. Mapa esquemático de la localización geográfica de donde provienen las muestras arqueológicas de esta tesis (mapa hecho por Andrea Eyquem, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile). P8=Pica 8; PG=Pampa Grande; Ma=Mapuche; Cu=Chubut; Fu=Fueguinos; Ch=Chonos; CG=Cementerio General; HC=Hospital Clínico.

Las diferencias de origen entre los individuos de un mismo grupo servirán para separar el efecto de la intensidad masticatoria de un posible componente hereditario de ancestría.

Las TCs de los individuos de cada grupo se encuentran disponibles en el marco del proyecto FONDECYT 11150175, y su uso cuenta con la autorización de las instituciones correspondientes, así como 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).

El trabajo científico con el material arqueológico presenta algunas limitaciones, como el número de individuos disponibles y el estado de preservación de éstos, así como la posibilidad de asignar de manera correcta a todos los individuos y la presencia de una proporción equilibrada entre hombres y mujeres. Se logró una muestra total de 90 individuos, de los cuales se pudo asignar sexo a 70 ya sea porque se contaba con el dato por su origen (muestras actuales) o determinando el sexo mediante métodos osteológicos estandarizados (Buikstra y Ubelaker, 1994). Se privilegiará el análisis descriptivo de las diferencias morfológicas, ver ejemplo en Galland y cols. (2016), utilizando test estadísticos confirmatorios adecuados para el tamaño muestral (pruebas no paramétricas).

Las diferencias en la forma mandibular fueron estudiadas mediante morfometría geométrica, técnica de análisis estadístico multivariado que permite relacionar la forma de una estructura y las variables subyacentes (Toro Ibacache y cols., 2010).

## **6.2. Obtención de datos primarios**

Para estudiar la forma mandibular de cada individuo, en primer lugar (para el caso de individuos arqueológicos) se realiza una TC de su mandíbula, se genera un modelo virtual 3D a partir de su TC mediante la separación del hueso de sus tejidos circundantes (Fig. 4). Este proceso se denomina segmentación y se basa en las diferencias en radiopacidad de cada estructura. La segmentación fue realizada con el software comercial Avizo (FEI, Hillsboro, Oregon, EE.UU.). El uso

de reconstrucciones virtuales presenta grandes ventajas, ya que permite el manejo de material arqueológico sin riesgo de daño, y a la vez permite estudiar individuos vivos de manera mecánicamente no invasiva.

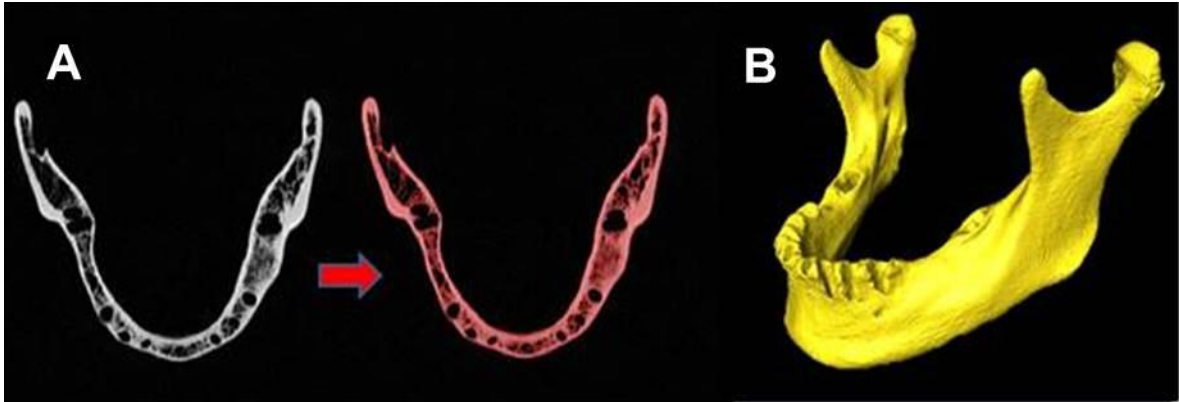


Figura 4. Ejemplo del proceso de segmentación aplicado en una mandíbula humana. (a) Corte de la tomografía computarizada, a la que se aplica un algoritmo de selección para radiopacidad ósea (en rojo). (b) Reconstrucción virtual del tejido óseo segmentado.

La forma de la mandíbula está representada a través de 32 coordenadas espaciales (hitos) de estructuras anatómicas homólogas, seleccionadas de acuerdo a su uso en estudios previos, ver por ejemplo Galland y cols. (2016), y a su importancia en la mecánica mandibular (Tabla 1 y Fig. 5). La adquisición de landmarks se realizó con el software Avizo, por un mismo operador (Francisco Ugarte), y de acuerdo a la definición en tabla 1, verificado inicialmente por la tutora de tesis (Dra. Viviana Toro-Ibacache).

Tabla 1. Descripción de hitos anatómicos seleccionados.

Hitos anatómicos	Definición anatómica
1. Infradental	El punto más superior de la línea mediana en el proceso alveolar.
2. Pogonion óseo	El punto más anterior y mediano de la eminencia mentoniana.
3. Menton	Punto más inferior en la línea mediana de la sincondrosis mandibular
4. Lingual	El punto inmediatamente superior a las espinas mentonianas.
5 y 19. Condilar superior	El punto más anterior en la superficie superior del cóndilo mandibular.
6 y 20. Condilar medial	El punto más medial en la superficie superior del cóndilo mandibular.
7 y 21. Condilar lateral	El punto más lateral en la superficie superior del cóndilo mandibular.
8 y 22. Coronoideo	El punto más superior en el proceso coronoides.
9 y 23. Incisura mandibular	El punto más inferior de la incisura mandibular.
10 y 24. Gonion	Punto de máxima curvatura en el ángulo mandibular, donde la rama y el cuerpo se cruzan.
11 y 25. Foramen mandibular	Punto más inferior, anterior en el borde medial del foramen mandibular.
12 y 26. Canino-Premolar	Punto alveolar más lateral entre el canino y primer premolar.
13 y 27. Molar (M)	Punto alveolar vestibular y distal a M1. En su ausencia (premortem), el hito corresponderá al punto alveolar vestibular mesial del molar inmediatamente presente por distal (M2 o M3).
14 y 28. Foramen mentoniano	El punto más anterior del foramen mentoniano.
15 y 29. Basilar	Punto en el borde inferior del cuerpo mandibular, definido por la línea que baja desde el punto Molar, perpendicular a la línea Menton-Gonion.
16 y 30. M-Basilar	Punto medio entre punto Basilar y punto Molar.
17 y 31. Rama anterior	Punto en la intersección del borde anterior de la rama mandibular con la línea perpendicular al punto medio de la línea que une Condilar superior y Gonion.
18 y 32. Rama posterior	Punto en la intersección del borde posterior de la rama mandibular con la línea perpendicular al punto medio de la línea que une Condilar Superior y Gonion.

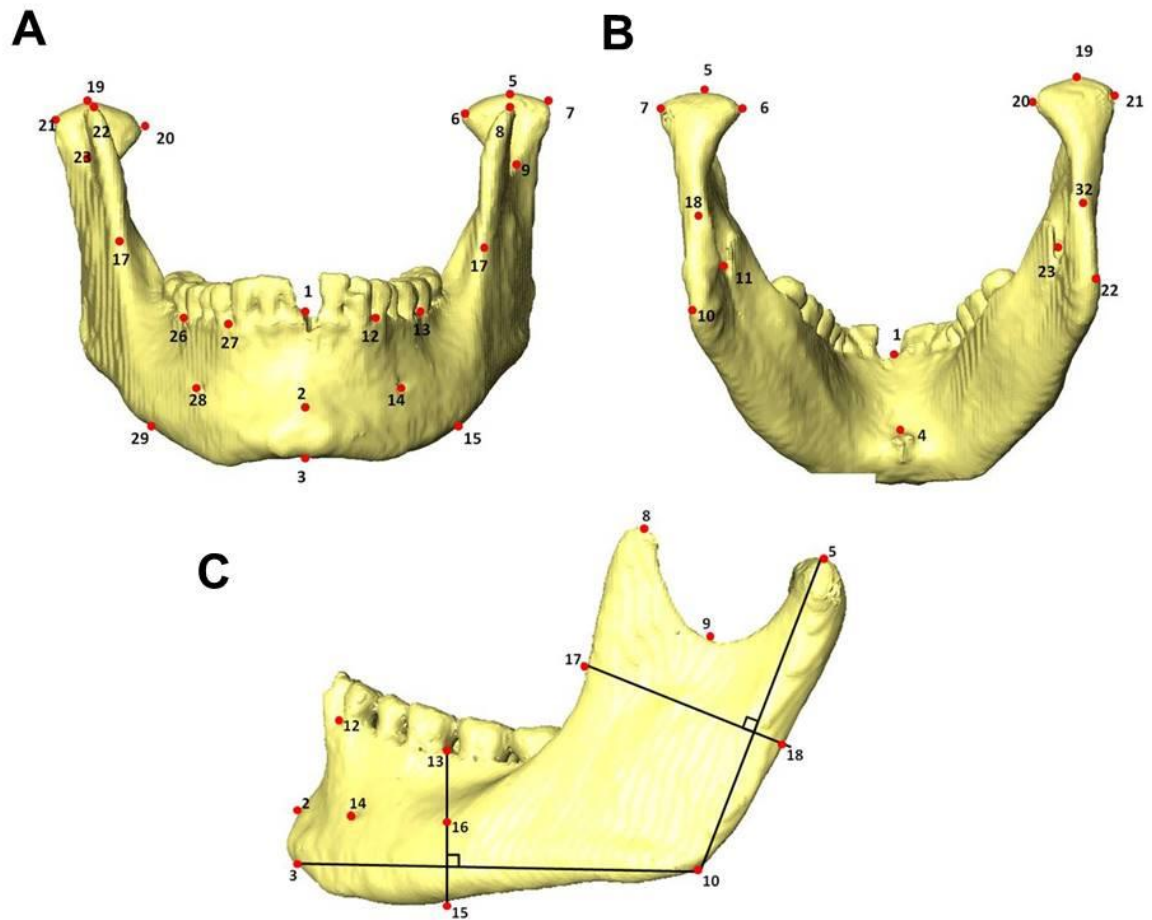


Figura 5. Hitos seleccionados. (a) Vista Frontal, (b) vista dorsal y (c) y lateral.

En algunos casos, los hitos anatómicos no pudieron ser ubicados con precisión debido a que las estructuras anatómicas correspondientes estaban destruidas o alteradas (mayoritariamente en el proceso condilar y ángulo mandibular). En estos casos, la posición estimada de los hitos fue calculada en base a un algoritmo de “relajación”, en el que los hitos se colocan en relación al promedio general de la muestra y siguiendo el principio de minimización de la energía de torsión (Gunz y cols., 2009). Así, las coordenadas del hito estimado generan la menor distorsión posible de la configuración (Mitteroecker y Gunz, 2009). El procedimiento de estimación de hitos faltantes se realizó utilizando la función `estimate.missing` del paquete `Geomorph` v.2.0 en R (Adams y Otárola-Castillo, 2013).

Nuestra muestra presenta 13 mandíbulas con alteraciones en la posición de algunos de sus hitos (14.4%), por lo que la necesidad de estimación se mantuvo al

mínimo y como es recomendado por Couette y White (2010), la cantidad de hitos alterados en cada uno de estos individuos es menor al 20%.

### 6.3. Análisis

Una vez completas las 90 configuraciones de hitos, estas son sometidas a un análisis generalizado de Procrustes (AGP) (Gower, 1975; Rohlf y Corti, 2000). El AGP consiste en la rotación, traslación y escala a tamaño de centroide=1 (es decir, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las distancias de todos los hitos del centro geométrico de la configuración) (Dryden y Mardia, 1998). Esto genera nuevas configuraciones de hitos (coordenadas de Procrustes) y una configuración promedio o consenso. La forma de cada individuo puede diferir más o menos de este consenso, y esta diferencia se mide en distancias de Procrustes. Estas variables (coordenadas de Procrustes y distancias de Procrustes) se pueden utilizar en análisis subsecuentes como variables dependientes (o variables de forma) (Toro Ibacache y cols., 2010).

#### 6.3.1. Análisis preliminares

La mandíbula es una estructura aparentemente simétrica pero que puede presentar niveles sutiles de asimetría debida a su naturaleza (diferencias consistentes, normalmente de base genética, entre los lados derecho e izquierdo o asimetría direccional) o al efecto del medio ambiente (diferencias originadas por el ambiente, distribuidas aleatoriamente entre los lados o asimetría fluctuante) (Klingenberg y cols., 2002). Otro potencial factor confundente es el error en la digitalización de hitos, el cual puede llevar a que la geometría de un individuo se altere de tal manera que quede como un dato atípico (*outlier*) o bien que su forma se confunda con la de un grupo al que no pertenece.

La estimación del efecto de la asimetría y el error de medición se realizó mediante la función análisis de varianza (ANOVA) de Procrustes en MorphoJ (Klingenberg, 2011), sobre una submuestra de 20 individuos en los que se practicó doble digitalización de hitos en días no consecutivos. El ANOVA de Procrustes permite

cuantificar la varianza (cuadrados medios) generada por las diferencias individuales de la forma, el efecto de la asimetría direccional, de la asimetría fluctuante, y por la variación generada por la doble digitalización (Klingenberg y McIntyre, 1998). Estos factores se analizan de manera anidada, de modo que la asimetría fluctuante corresponde al término de error de la variable “individual” y de la variable “lado”, y el error de medición es el término de error de la asimetría fluctuante (Klingenberg y cols., 2002). Ya que el objetivo de este estudio no se centra en el análisis de las asimetrías, sino más bien en la variación general de la forma mandibular, las configuraciones fueron sometidas a un proceso de simetrización de cada configuración con su configuración espejular (lados invertidos). Así, este estudio se basa en el componente simétrico de la variación de la forma, con el fin de eliminar la asimetría como factor confundente sobre los resultados (Klingenberg y cols., 2002).

### **6.3.2. Análisis exploratorios y confirmatorios**

Las variables del componente simétrico de la forma fueron luego estudiadas mediante análisis de componentes principales (PCA), el cual muestra los patrones de variación general de los datos para observar: (1) si existe o no un patrón de ordenamiento de los datos que coincida con los grupos a los que fueron asignados y (2) la importancia relativa de cada cambio de forma en relación a la variación total de la muestra (Slice, 2007).

Los análisis confirmatorios para la variable intensidad de carga se realizaron sobre los valores de cada componente principal, utilizando el test de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia estadística menor a 0,05. En esta tesis además se evaluó si los cambios de forma eran dependientes del sexo y origen (como variables confundentes) o del tamaño (presencia de alometría). En el caso de los dos primeros se utilizó el test de Kruskal-Wallis incluyendo los 70 individuos con sexo asignado para evaluar la presencia de dimorfismo sexual, y los 90 la muestra completa para el efecto del origen, además de un test por pares de grupos con corrección de Bonferroni. El efecto alométrico implica que los individuos más grandes no son una versión a escala de los más pequeños, sino que su geometría



es distinta (Klingenberg, 1998). La presencia de alometría fue evaluada usando una regresión lineal entre los valores de los componentes principales como variable dependiente y el tamaño de centroide como variable independiente.

Estos análisis se realizaron con el software MorphoJ y Past v.3.15 (Hammer y cols., 2001). En todos estos análisis se pueden visualizar los cambios de la forma mandibular asociados a la variable “intensidad de carga masticatoria” o al tamaño de centroide mediante herramientas de visualización 3D mediante el paquete Geomorph para R.

Todos los procedimientos fueron realizados en dependencias del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

## 7. Resultados

### 7.1. Análisis preliminares

El ANOVA de Procrustes mostró que la variación de la forma mandibular debido a la digitalización repetida de hitos (landmarks) repetidos es menor a la variación debida a las diferencias intrínsecas entre los individuos, a la asimetría direccional y significativamente menor al “error natural” (asimetría fluctuante) (Tabla 2). Así, el error intraobservador no actúa como factor confundente en este estudio.

Tabla 2. ANOVA de Procrustes para 20 configuraciones de hitos originales y sus repeticiones. Valores de P en negrita significativos luego de aplicar corrección de Bonferroni.

Effect	SC	CM	g.l.	F	P
Individual	0,20	$2,26 \times 10^{-4}$	874	5,67	<b>&lt;,0001</b>
Lado	$4 \times 10^{-3}$	$1,03 \times 10^{-4}$	43	2,57	<b>&lt;,0001</b>
Ind x Lado	0,03	$4 \times 10^{-5}$	817	5,46	<b>&lt;,0001</b>
Error de medición	0,01	$7,33 \times 10^{-6}$	1780		

SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrados medios; g.l.=grados de libertad; F: estadístico ANOVA de procrustes; Individual=Variación entre individuos; Lado=asimetría direccional; Ind x Lado=asimetría fluctuante.

Adicionalmente, se realizó un PCA para explorar la posición de las configuraciones originales y sus repeticiones en el espacio morfométrico. Puede apreciarse que los datos de la mayoría de los individuos se agrupan y distinguen entre sí (Fig. 6).

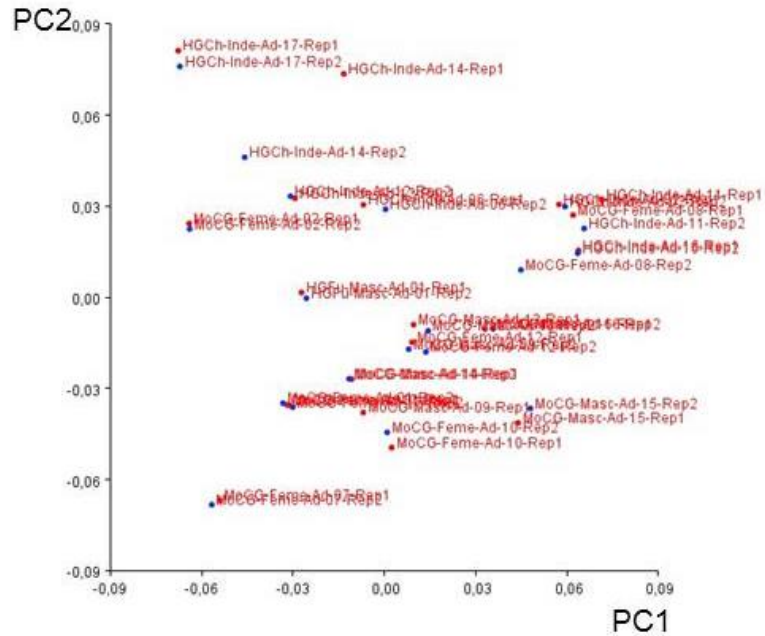


Figura 6. Análisis de componentes principales de las 20 configuraciones iniciales y sus repeticiones. Se puede observar la posición cercana entre las dos configuraciones de cada individuo. En rojo se observan los nombres codificados de cada individuo seguido por el sufijo “-Rep1” o “-Rep2” correspondientes a cada individuos y su repetición.

## 7.2. Análisis exploratorios y confirmatorios

Los primeros siete componentes principales (CPs) explican un 75% de la variación de la forma mandibular (Fig. 7 y Tabla 3). Dentro de estos, los primeros tres CPs concentran el mayor porcentaje de variación: CP1 explica un 26,56% de la variación de forma; el CP2, un 15,76% y el CP3, un 14,21%. A partir del cuarto componente principal la varianza explicada baja drásticamente a valores entre 7,26% y 3,79%. De los tres primeros componentes principales, el segundo muestra una tendencia a la separación de los individuos de carga leve con respecto a los individuos de carga intermedia e intensa (Fig. 7).

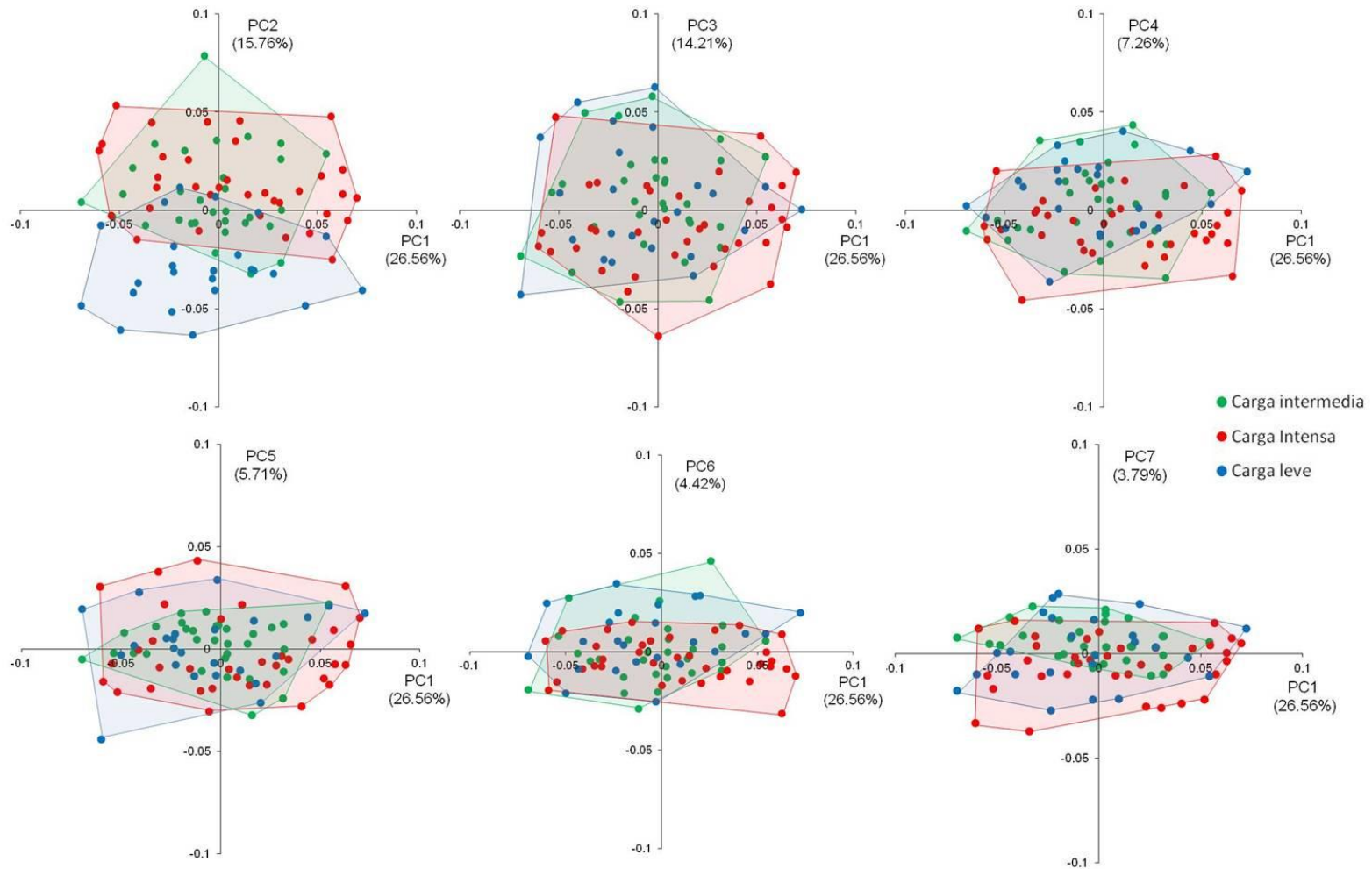


Figura 7. Análisis de componentes principales. Gráficos de dispersión de los valores para los primeros siete componentes principales y el porcentaje de la varianza total explicada por cada uno de ellos (entre paréntesis).

Para cada uno de los siete primeros CPs se realizó un test de Kruskal-Wallis para las variables carga, origen y sexo, y una regresión de sus valores contra el tamaño de centroide de las distintas configuraciones (test de alometría). Los resultados de esos análisis se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis de los siete primeros CPs. Valores de P en negrita significativos luego de aplicar corrección de Bonferroni.

CP	% var	Efecto	N	H	R <sup>2</sup>	P
CP1	26,56	Carga	90	2,45	0,19	0,29
		Origen	90	11,7		0,11
		TC	90			<b>1,42x10<sup>-5</sup></b>
		Sexo	70	6,73		<b>9,49x10<sup>-3</sup></b>
CP2	15,76	Carga	90	35,9	1,14 x10 <sup>-2</sup>	<b>1,60x10<sup>-5</sup></b>
		Origen	90	43,57		<b>2,59x10<sup>-4</sup></b>
		TC	90			0,32
		Sexo	70	1,39x10 <sup>-4</sup>		0,99
CP3	14,21	Carga	90	2,45	2,01x10 <sup>-2</sup>	0,29
		Origen	90	18,8		<b>0,01</b>
		TC	90			0,18
		Sexo	70	2,22x10 <sup>-3</sup>		0,96
CP4	7,26	Carga	90	11,02	3,03x10 <sup>-5</sup>	<b>4x10<sup>-3</sup></b>
		Origen	90	18,83		<b>8,73x10<sup>-3</sup></b>
		TC	90			0,96
		Sexo	70	1,53		0,21
CP5	5,71	Carga	90	3,54	2,66x10 <sup>-2</sup>	0,17
		Origen	90	24,19		<b>1,06x10<sup>-3</sup></b>
		TC	90			0,12
		Sexo	70	6,97		<b>0,01</b>
CP6	4,42	Carga	90	7,80	6,99x10 <sup>-3</sup>	0,02
		Origen	90	22,3		<b>2,25x10<sup>-3</sup></b>
		TC	90			0,43
		Sexo	70	1,10		0,29
CP7	3,79	Carga	90	9,15	7,07x10 <sup>-2</sup>	<b>0,01</b>
		Origen	90	15,16		0,03
		TC	90			<b>0,01</b>
		Sexo	70	3,04		0,08

% var=porcentaje de la varianza total explicada por cada CP; H=estadístico de Kruskal-Wallis para las variables carga, origen y sexo; R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación para el test de alometría; TC=tamaño de centroide;

Como se puede apreciar en la Tabla 3, la variable de interés en este estudio (carga), es de importancia en los CPs 2,4,6 y 7 (aunque deja de serlo en los dos últimos luego de aplicar corrección de Bonferroni). En estos componentes es además relevante el efecto de la variable origen. Sin embargo, al comparar los grupos de origen entre sí, no hay un patrón que sugiera que las diferencias en origen explican las diferencias por carga. Es decir, las diferencias se dan entre pares de grupos aislados (Tabla 4). Esto último también aplica para el CP3 (datos no mostrados).

Tabla 4. Test pareado de Mann-Whitney para los valores del CP2 respecto de la variable origen. Valores de P en negrita significativos luego de aplicar corrección de Bonferroni.

	CG	Ch	Fu	HC	P8	Cu	Ma
Ch	<b><math>3,32 \times 10^{-4}</math></b>						
Fu	0,02	0,95					
HC	0,02	0,03	<b><math>4,3 \times 10^{-4}</math></b>				
P8	0,06	0,91	0,8	$7,83 \times 10^{-3}$			
Cu	0,06	0,07	$5,95 \times 10^{-3}$	<b><math>9,3 \times 10^{-5}</math></b>	0,05		
Ma	<b><math>3,32 \times 10^{-4}</math></b>	0,54	0,51	0,05	0,47	0,01	
PG	<b><math>4,52 \times 10^{-4}</math></b>	1	0,94	0,03	0,83	0,05	0,46

P8=Pica 8; PG=Pampa Grande; Ma=Mapuche; Cu=Chubut; Fu=Fueguinos; Ch=Chonos; CG=Cementerio General; HC=Hospital Clínico.

Considerando los resultados anteriores, se detallarán a continuación los resultados para los CP1 y CP2, que explican los mayores porcentajes de varianza observada.

En el CP1 se observa una influencia significativa de la variable tamaño de centroide, lo que indica que en la medida que existan cambios de tamaño habrá cambios de forma de la mandíbula. A su vez, existe una relación con la variable sexo, ya que mandíbulas más grandes tienden a pertenecer a individuos masculinos mientras que mandíbulas de menor tamaño tienden a pertenecer a individuos de sexo femenino (Fig. 8). Esto es congruente con Plavcan (2001), quien plantea que gran parte de las

variaciones en forma son dependientes de la variación de tamaño; es decir, son alométricas (Gould, 1966; Klingenberg, 1998).

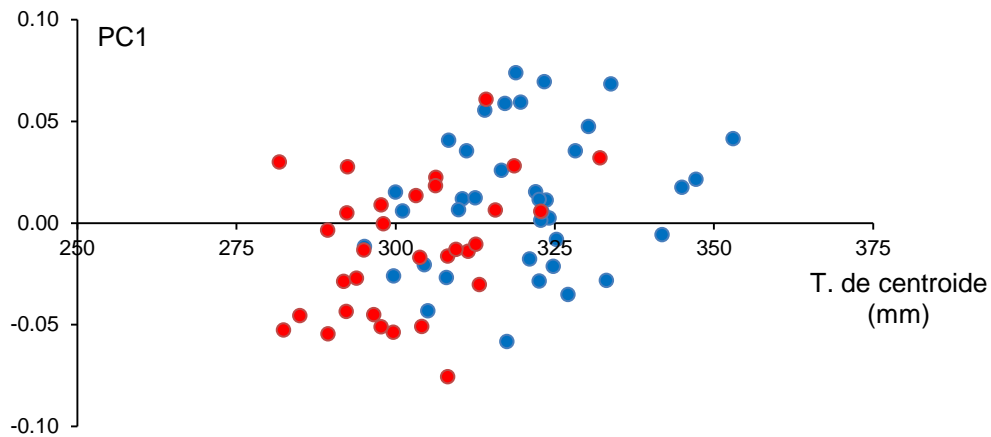


Figura 8. Regresión de valores del CP1 contra el tamaño de centroide de las configuraciones. En azul se observan los individuos de sexo masculino y en rojo individuos de sexo femenino.

Como se mencionó anteriormente, en CP2 se observa un efecto significativo de la variable carga. El análisis del gráfico de componentes principales muestra una tendencia a la separación de grupos en relación a esta variable (Fig. 9). El test por pares de Mann-Whitney muestra que esta diferencia entre grupos es significativa entre los individuos arqueológicos de carga intensa e intermedia con respecto a los de carga leve, mas no es significativa entre los grupos de carga intensa e intermedia (Tabla 5).

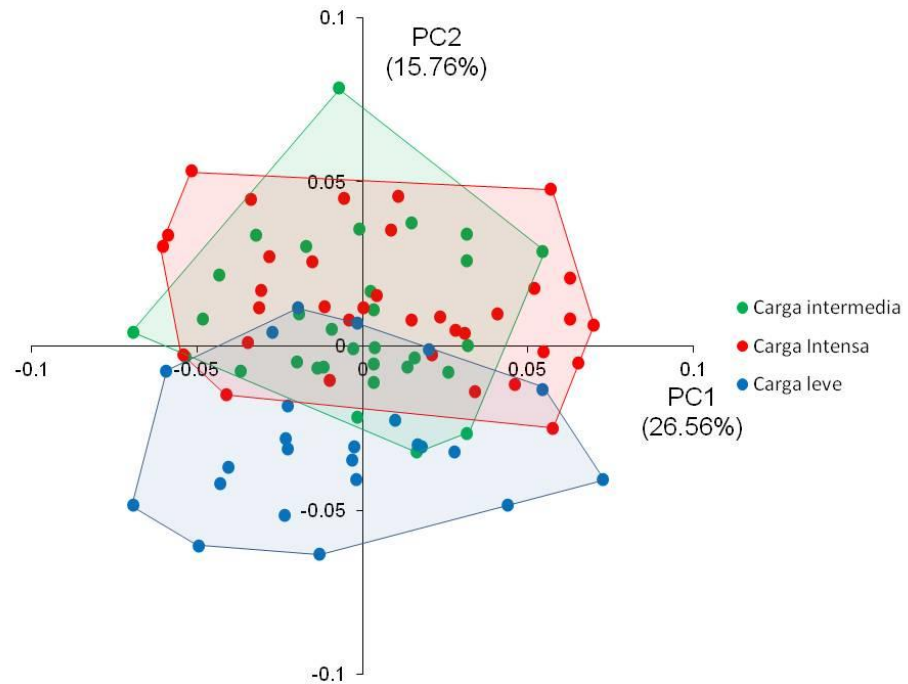


Figura 9. Análisis de componentes principales. Gráficos de dispersión de valores para los CPs 1 y 2 y el porcentaje de la varianza total explicada por cada uno de ellos (entre paréntesis). Los grupos de carga han sido codificados por color.

Tabla 5. Test pareado de Mann-Whitney para los valores del CP2 respecto de la variable carga. Valores de P en negrita significativos luego de aplicar corrección de Bonferroni.

	Leve	Intensa
Intensa	<b><math>3,17 \times 10^{-8}</math></b>	
Moderada	<b><math>1,38 \times 10^{-6}</math></b>	0,17

Los cambios de la forma asociados al CP2 se muestran en la Fig. 10 y se detallan en la Tabla 6.



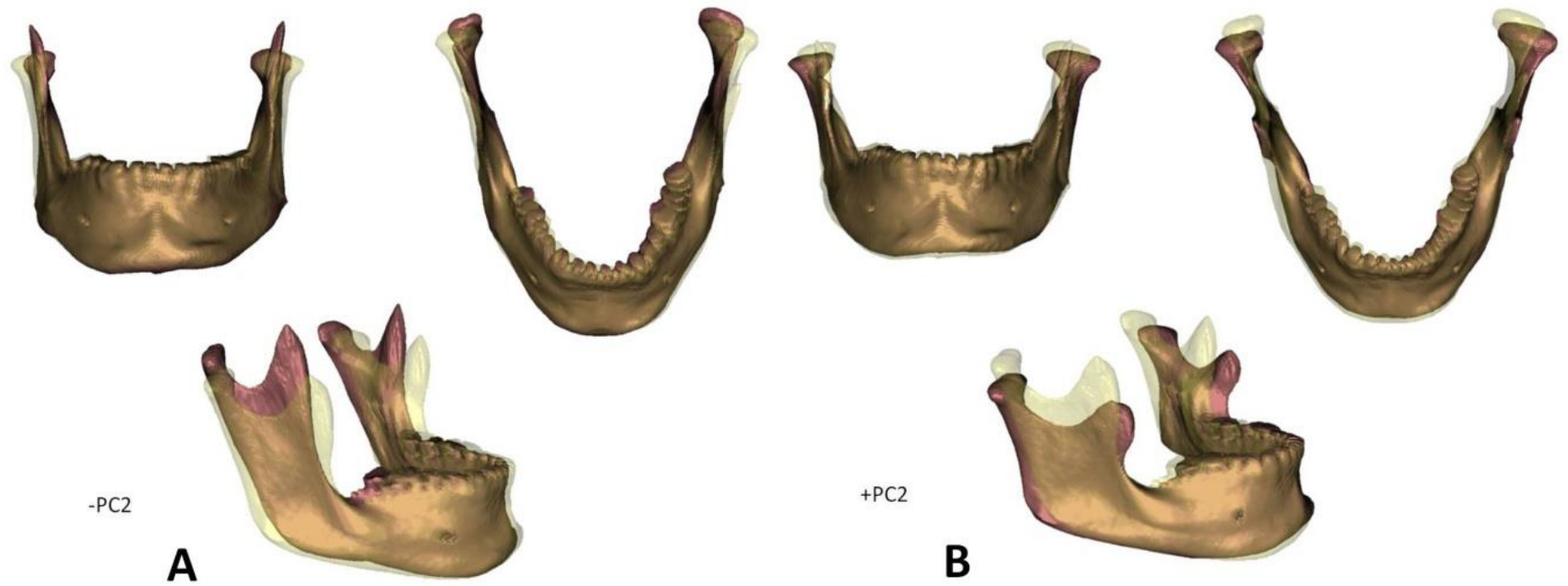


Figura 10. Cambios de la forma mandibular relacionadas con el CP2. Forma mandibular hacia los valores negativos (A) y positivos (B) del CP2, en el que se encuentran los individuos de carga leve, y los de carga moderada e intensa agrupados respectivamente. En transparencia se muestra la mandíbula de referencia o promedio.

Tabla 6. Variaciones morfológicas para cada segmento mandibular asociados a la variable carga.

Estructura	Carga intensa e intermedia	Carga leve
Rama mandibular	Expansión anteroposterior Contracción en sentido vertical Mayor robustez	Contracción anteroposterior Expansión vertical Rama más grácil
Cóndilo	Expansión mediolateral	Contracción mediolateral
Incisura mandibular	Menos profunda Más divergente	Más profunda Menos divergente
Proceso coronoides	Inclinación anterior y acortamiento Proceso más robusto	Verticalización y elongación Proceso más grácil
Ángulo mandibular	Ángulo más cerrado	Ángulo más abierto
Cuerpo mandibular	Expansión anteroposterior	Contracción anteroposterior
Eminencia mentoniana	Proyectada hacia anterior	Proyectada hacia anterior e inferior
Divergencia de las ramas	Mayor divergencia	Menor divergencia
Posición hito M	Más alejado del cóndilo en sentido anteroposterior	Más cercano al cóndilo en sentido anteroposterior
Posición hito incisivo	Más cercano al cóndilo en sentido anteroposterior	Más alejado del cóndilo en sentido anteroposterior

## 8. Discusión

El estudio de las variaciones morfológicas de las estructuras biológicas ha sido de gran interés para los investigadores, especialmente para los profesionales ligados a la Antropología Física. En los últimos años se han incluido en estos equipos de trabajo algunos odontólogos que han fortalecido el desarrollo de la Antropología Dental.

El presente estudio enfocó su interés en dos puntos principales: la influencia de un factor ambiental (fuerza masticatoria) en la variación morfológica craneofacial, específicamente en la mandíbula, y la localización y descripción de los cambios en las estructuras que se ven mayormente afectadas por este factor. Para esto se utilizaron herramientas de vanguardia como es la reconstrucción tridimensional virtual de mandíbulas a partir de sus TC, y técnicas de análisis estadístico multivariado de la forma (morfometría geométrica) sumado a herramientas de visualización de cambios. Estos últimos son muy importantes ya que permiten reconsiderar el uso de medidas lineales que ha sido utilizado tradicionalmente en odontología para el estudio de variaciones morfológicas en relación a factores ambientales o metabólicos, como podría ser la longitud o el ángulo entre estructuras (Pae y cols., 2008; van Spronsen, 2010). De esta manera se pueden abordar algunos problemas de forma más completa y estadísticamente más rigurosa.

La hipótesis de este estudio es que las características de la forma mandibular en poblaciones arqueológicas y actuales se relacionan con la intensidad de las cargas masticatorias (intensa, intermedia o leve) requeridas por sus dietas. Las herramientas de morfometría geométrica fueron usadas para cuantificar, caracterizar y comparar las morfologías mandibulares en términos de la variación general de la forma, diferencias entre formas promedio, efectos alométricos y covariaciones de la forma. Nuestros resultados confirman la hipótesis de trabajo, en cuanto se observó una clara distinción en cuanto a la forma mandibular entre poblaciones con distinta carga masticatoria. A modo general, estos resultados son congruentes con estudios previos los cuales investigan las formas craneofaciales y mandibulares y su relación

con la dieta (Barbeito-Andrés y cols., 2011; Galland y cols., 2016). Es necesario sin embargo hacer algunas disquisiciones.

Diversos estudios han caracterizado la variación de forma craneofacial de las poblaciones y su relación con sus respectivas dietas (von Cramon-Taubadel, 2011; Pinhasi y von Cramon-Taubadel, 2012; Galland y cols., 2016). Como conclusión, éstos establecen que las regiones asociadas con el proceso de la masticación (cara y mandíbula) son las que poseen mayor variación y que en general, poblaciones de dieta más dura/resistente, sujetas a mayor estrés masticatorio, presentan mayores grados de robusticidad craneofacial (González-José y cols., 2005; Paschetta y cols., 2010; Barbeito-Andrés y cols., 2011).

Galland y cols. (2016), luego de estudiar poblaciones que habitaron una misma región en un período de 11.000 años y sufrieron la transición de patrón cazador recolector a agricultor, concluyen que la morfología mandibular en poblaciones cazadoras recolectoras difiere de manera significativa respecto a poblaciones agricultoras, caracterizándose estas últimas por una anatomía más grácil, sobretodo en cuerpo y rama mandibular, con ramas mandibulares menos divergentes, de mayor longitud, menor diámetro y mayor ángulo goniaco. A su vez, von Cramon-Taubadel (2011), encontró en su estudio que la forma de la mandíbula en individuos de distintas poblaciones a nivel mundial no posee una correlación significativa con patrones genéticos, pero que esta sí responde fuertemente a factores ambientales como la economía de subsistencia. Sus resultados indican que en población cazadora recolectora, la forma mandibular tiende a ser más robusta, con ramas mandibulares más anchas y de menor longitud y cuerpos mandibulares más cortos.

En comparación con los estudios previos, la presente tesis extiende la muestra a población urbana, actual. Así, nuestros resultados separan de manera estadísticamente significativa a los individuos de carga leve respecto al conjunto formado por la población sujeta a carga intensa (cazadora recolectora) y a carga moderada (agricultores). Nuestros resultados indican que los individuos sometidos a un estrés masticatorio mayor (carga intensa/moderada), tienden a tener mandíbulas robustas, principalmente la rama y cuerpo mandibular, con amplias zonas de inserción muscular (cuerpo mandibular, proceso coronoides), lo que sugiere la

existencia de músculos de mayor tamaño capaces de ejercer mayor fuerza (Carlson y Van Gerven, 1977; Sardi y cols., 2006).

La similitud morfológica entre los grupos de carga intensa y moderada podría deberse a que estas poblaciones poseen una ancestría común amerindia (Rothhammer y cols., 2009), en comparación con la población actual, cuya ancestría es mixta con un alto componente europeo (Valenzuela Yuraidini y cols., 1987; Fuentes y cols., 2014). Además si bien a las estrategias de subsistencia “cazadora-recolectora” y “agricultora” se les ha asignado tradicionalmente alimentos duros y blandos respectivamente (González-José y cols., 2005; von Cramon-Taubadel, 2011), siempre es posible que ambos tipos de dieta tengan elementos en común del punto de vista de las propiedades materiales de los alimentos.

Sin embargo, si bien los valores del segundo componente principal no se ven afectados por la variable sexo, siempre es posible que haya una interacción entre las variables sexo y carga, de manera que la falta de separación entre los grupos de carga intensa y moderada no se manifieste de manera estadísticamente significativa. Al realizar un análisis post-hoc de los grupos diferentes cargas, pero separados por sexo, la diferencia entre los grupos de carga intensa y moderada se hace significativa en hombres, pero en valor crítico ( $p=0,016$ ) luego de aplicar corrección de Bonferroni (en el que el valor de significancia de 0,05 debe dividirse por el número de tests pareados, bajando a 0,016) (Tabla A1, Anexo 2). Esto no ocurre con las mujeres, donde los resultados originales se mantienen, aunque no luego de aplicar corrección de Bonferroni (Tabla A2, Anexo 2). Es posible entonces que, de aumentar el número de hombres en la muestra, las diferencias si se hagan significativas. Estos resultados son congruentes con lo obtenido por Perez y cols (2007). Estas diferencias entre sexos se pueden deber a una diferencia natural en la extensión temporal del crecimiento entre hombres y mujeres, denominado escalamiento ontogénico, en el cual existe diferencias en las tasas de crecimiento debido a factores promotores sistémicos. Así, los hombres crecen por un tiempo más prolongado que las mujeres (Shea, 1992; Bogin, 1996). Es esta extensión del desarrollo y crecimiento, y por ende un mayor tiempo de exposición a factores ambientales durante el desarrollo (Anzelmo y cols., 2012) la que podría estar

explicando el por qué al ser sometidos a la misma carga masticatoria, los hombres tienden a reflejar cambios morfológicos de manera más distintiva que las mujeres.

La anatomía robusta, con un cuerpo mandibular acortado y mayor grosor corresponde a una anatomía optimizada para reducir el estrés mecánico en sentido vertical y disminuir las flexiones del cuerpo mandibular en sentido sagital y horizontal (van Eijden, 2000).

Además analizando desde el punto de vista biomecánico y puntos de aplicación de las fuerzas, en el plano sagital, si consideramos la inserción del masetero como el punto de aplicación de fuerza y el primer molar o incisivos como puntos máximos de los vectores de resistencia (considerando como fulcrum la ATM), cabe notar que en las poblaciones con carga intensa, el brazo de palanca ejercido es más favorable que en las poblaciones con carga leve, con un brazo de potencia mayor y la tendencia a disminuir el brazo de resistencia (distancia cóndilo-incisiva) (van Eijden, 2000). Por lo que podemos decir que sus mandíbulas contaban con una anatomía de mayor eficiencia para ejercer y para soportar cargas intensas y triturar objetos de mayor resistencia mecánica.

La reducción de la duración e intensidad de la masticación también se sospecha que estén relacionadas con una mayor prevalencia de maloclusiones como es el apiñamiento dental en poblaciones modernas (Corruccini, 1984), donde fuerzas masticatorias inadecuadas y leves, generan tensiones insuficientes para un crecimiento adecuado del maxilar y mandíbula en relación al tamaño dentario general (Kaifu y cols., 2003). Congruentemente con esto, una comparación entre dos poblaciones, una con una alta y otra con una baja atrición dental (Varrela, 1990), sugirió que una fuerza masticatoria intensa lleva a una mandíbula con una mayor rotación anterior, cuerpo más largo, menor longitud de la rama, y un prognatismo mayor. Esto también es apoyado por estudios hechos en primates alimentados en base a dietas blandas, los cuales presentan un mayor porcentaje de maloclusiones (Corruccini y Beecher, 1982). Los resultados obtenidos en este estudio son congruentes con estas ideas, en los cuales una de las mayores diferencias en la morfología mandibular de la población moderna (con carga leve) es que poseen

mandíbulas con un proceso alveolar y cuerpo mandibular de menor tamaño, en detrimento del espacio para tener una completa y correcta erupción dental.

Esto también nos proporciona importantes perspectivas a la hora de pensar en medidas biomecánicas para prevenir y tratar problemas de maloclusión sufridos por un gran porcentaje de la población moderna (Hunt Jr, 1961; Proffit y cols., 1997; Rose y Roblee, 2009). Información adicional es necesaria en base a la incidencia de apiñamiento dental y maloclusiones en poblaciones actuales sometidas a una carga oclusal intensa.

En el estudio actual una de las principales dificultades fue controlar el número de individuos por grupo, origen y sexo. Esto ya que se utilizó material arqueológico, cuya disponibilidad es restringida, y además el estado de conservación de éste limita el número de individuos disponible. Sin embargo, cabe destacar que los individuos de este estudio fueron seleccionados en base a un estricto criterio de inclusión que consideraba la presencia de dientes posteriores, y la asignación de sexo en los casos posibles, lo que no fue considerado en estudios previos similares (von Cramon-Taubadel, 2011; Galland y cols., 2016). A nuestro conocimiento, este es el primer estudio en Chile que compara la morfología mandibular en poblaciones locales con distintas dietas. Su aporte al estudio de casos odontológicos es potencialmente alto. Además, en el medio odontológico chileno, el conocimiento y uso de la técnica de morfometría geométrica para la descripción de las formas esqueléticas aún no es extendido (Díaz Muñoz y Manríquez Soto, 2014; Toro-Ibacache y cols., 2014), a pesar de que la cefalometría y otras técnicas basadas en morfometría lineal han sido criticadas desde hace ya varias décadas (Moyers y Bookstein, 1979; Toro Ibacache y cols., 2010).

Entonces, desde el punto de vista técnico queda claro que la morfometría geométrica se presenta como una importante y eficaz herramienta a la hora de estudiar la morfología craneofacial y mandibular y describir sus variaciones entre poblaciones sujetas a distintos factores que pueden ser genéticos o ambientales, lo que es de gran utilidad clínica. Es labor nuestra como odontólogos e investigadores difundir este método entre colegas, con el fin de fomentar su uso interdisciplinariamente.

## 9. Conclusiones

1. Existe una relación significativa entre forma mandibular e intensidad de carga. Esta relación es sin embargo de menor importancia que el efecto alométrico.
2. Población con carga masticatoria intensa y moderada tienden a tener morfologías mandibulares más robustas, y de mayor eficiencia mecánica, tanto en la producción como en la resistencia a las fuerzas masticatorias.
3. Los hitos de mayor participación en la variación de forma mandibular entre poblaciones que ejercen diferentes intensidades de carga masticatoria son los que tienen relación con la contracción y expansión anteroposterior de la rama y cuerpo mandibular.
4. La relación entre carga masticatoria y forma mandibular es más fuertemente expresada en hombres que en mujeres.



## 10. Bibliografía

- Adams, D. C., & Otárola-Castillo, E. (2013). Geomorph: An R Package for the Collection and Analysis of Geometric Morphometric Shape Data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(4), 393-399.
- 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.
- Anzelmo, M., Sardi, M. L., Barbeito-Andrés, J., & Pucciarelli, H. M. (2012). Alometrías Ontogénicas Y Dimorfismo Sexual Facial En Dos Poblaciones Humanas Modernas. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 14(1), 89-100.
- Aspillaga, E., Castro, M., Rodriguez, M., & Ocampo, C. (2006). Paleopatología Y Estilo De Vida: El Ejemplo De Los Chonos. *Magallania (Punta Arenas)*, 34, 77-85.
- Baab, K. L., Freidline, S. E., Wang, S. L., & Hanson, T. (2010). Relationship of Cranial Robusticity to Cranial Form, Geography and Climate in Homo Sapiens. *American Journal of Physical Anthropology*, 141(1), 97-115.
- Baffi, E. I., Torres, M. F., & Cocilovo, J. A. (1996). La Población Prehispánica De Las Pirguas (Salta, Argentina). *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 1.
- Baldini, M., Baffi, E., Salaberry, M., & Torres, M. (2003). Candelaria: Una Aproximación Desde Un Conjunto De Sitios Localizados Entre Dos Cerros De Las Pirguas Y El Alto Del Rodeo (Dto. Guachipas, Salta, Argentina). In U. N. d. Jujuy (Ed.), *La Mitad Verde Del Mundo Andino. Estado Actual De Las Investigaciones Arqueológicas En La Vertiente Oriental De Los Andes Y Las Tierras Bajas De Bolivia Y Argentina*. (pp. 131-152). Jujuy: EdiUnju.
- Baldini, M., Baffi, E., & Togo, J. (1998). Abrigos Y Cavernas Que Hacen Historia: Los Hallazgos De Las Pirguas (Pampa Grande, Salta). In U. d. B. A.

- Fundación Argentina de Antropología (Ed.), *Homenaje a Alberto Rex González* (Vol. 50, pp. 343-359). Buenos Aires: Fundación Argentina de Antropología.
- Barbeito-Andrés, J., Pucciarelli, H. M., & Sardi, M. L. (2011). An Ontogenetic Approach to Facial Variation in Three Native American Populations. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 62(1), 56-67.
- Bengoa, J. (2000). *Historia Del Pueblo Mapuche: (Siglo Xix Y Xx)* (Vol. 7). Santiago de Chile: Lom Ediciones.
- Bernal, V., Novellino, P., Gonzalez, P. N., & Perez, S. I. (2007). Role of Wild Plant Foods among Late Holocene Hunter-Gatherers from Central and North Patagonia (South America): An Approach from Dental Evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(4), 1047-1059.
- 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.
- Betti, L., Balloux, F., Amos, W., Hanihara, T., & Manica, A. (2009). Distance from Africa, Not Climate, Explains within-Population Phenotypic Diversity in Humans. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1658), 809-814.
- Bogin, B. (1996). Human Growth and Development from an Evolutionary Perspective. *Long-term Consequences of Early Environment: Growth, Development and the Lifespan Developmental Perspective*, 37, 7.
- Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge: University Press.
- Borrero, L. A. (1999). The Prehistoric Exploration and Colonization of Fuego-Patagonia. *Journal of World Prehistory*, 13(3), 321-355.
- Bridges, T. (1885). The Yahgans of Tierra Del Fuego. *Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 14, 288-289.
- Buikstra, J. E., & Ubelaker, D. H. (1994). Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains: Proceedings of a Seminar at the Field Museum of Natural History.

- Burgos, D. (2014). Prevalencia De Maloclusiones En Niños Y Adolescentes De 6 a 15 Años En Frutillar, Chile. *International Journal of Odontostomatology*, 8, 13-19.
- Carlson, D. S., & Van Gerven, D. P. (1977). Masticatory Function and Post-Pleistocene Evolution in Nubia. *American Journal of Physical Anthropology*, 46(3), 495-506.
- 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.
- Cartes-Velásquez, R., Araya, E., & Valdés, C. (2010). Maloclusiones Y Su Impacto Psicosocial En Estudiantes De Un Liceo Intercultural. *International Journal of Odontostomatology*, 4, 65-70.
- Collard, M., & Wood, B. (2007). Hominin Homoiology: An Assessment of the Impact of Phenotypic Plasticity on Phylogenetic Analyses of Humans and Their Fossil Relatives. *Journal of Human Evolution*, 52(5), 573-584.
- Corruccini, R., & Beecher, R. (1982). Occlusal Variation Related to Soft Diet in a Nonhuman Primate. *Science*, 218(4567), 74-76.
- Corruccini, R. S. (1984). An Epidemiologic Transition in Dental Occlusion in World Populations. *American Journal of Orthodontics*, 86(5), 419-426.
- Corruccini, R. S., & Whitley, L. D. (1981). Occlusal Variation in a Rural Kentucky Community. *American Journal of Orthodontics*, 79(3), 250-262.
- Couette, S., & White, J. (2010). 3d Geometric Morphometrics and Missing-Data. Can Extant Taxa Give Clues for the Analysis of Fossil Primates? *Comptes Rendus Palevol*, 9(6), 423-433.
- Cowan, C. W., Watson, P. J., & Benco, N. L. (2006). *The Origins of Agriculture: An International Perspective*. Tuscaloosa: University of Alabama Press.
- Daegling, D. J. (1989). Biomechanics of Cross-Sectional Size and Shape in the Hominoid Mandibular Corpus. *American Journal of Physical Anthropology*, 80(1), 91-106.

- Daegling, D. J. (2001). Biomechanical Scaling of the Hominoid Mandibular Symphysis. *Journal of Morphology*, 250(1), 12-23.
- Daegling, D. J., & Grine, F. E. (1991). Compact Bone Distribution and Biomechanics of Early Hominid Mandibles. *American Journal of Physical Anthropology*, 86(3), 321-339.
- Daegling, D. J., & McGraw, W. S. (2007). Functional Morphology of the Mangabey Mandibular Corpus: Relationship to Dental Specializations and Feeding Behavior. *American Journal of Physical Anthropology*, 134(1), 50-62.
- De Vivar, J. (1979). *Crónica Y Relación Copiosa Y Verdadera De Los Reinos De Chile*. Santiago: Instituto Geográfico Militar.
- Díaz Muñoz, A., & Manríquez Soto, G. (2014). Skeletodental Diagnosis Using a Geometric Morphometric Approach. *International Journal of Odontostomatology*, 8, 05-11.
- Dryden, I., & Mardia, K. (1998). *Statistical Shape Analysis*. Chichester: Wiley.
- El-Zaatari, S. (2010). Occlusal Microwear Texture Analysis and the Diets of Historical/Prehistoric Hunter-Gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 20(1), 67-87.
- Enlow, D. (1990). *Facial Growth*. Philadelphia: WB Saunders.
- Franciscus, R. G., & Long, J. C. (1991). Variation in Human Nasal Height and Breadth. *American Journal of Physical Anthropology*, 85(4), 419-427.
- Fuentes, M., Pulgar, I., Gallo, C., Bortolini, M.-C., Canizales-Quinteros, S., Bedoya, G., González-José, R., Ruiz-Linares, A., & Rothhammer, F. (2014). Geografía Génica De Chile: Distribución Regional De Los Aportes Genéticos Americanos, Europeos Y Africanos. *Revista Médica de Chile*, 142(3), 281-289.
- Galland, M., Van Gerven, D. P., Von Cramon-Taubadel, N., & Pinhasi, R. (2016). 11,000 Years of Craniofacial and Mandibular Variation in Lower Nubia. *Scientific reports*, 6, 31040.
- García, M., & Vidal, A. (2006). *Distribución Y Contexto De Uso De Las Plantas Arqueológicas Del Asentamiento Camiña-1 (1250-1450 Años Dc), Región*

- De Tarapacá*. Paper presented at the Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena. Valdivia: Ediciones Kultrún.
- Gil, A. (2003). Zea Mays on the South American Periphery: Chronology and Dietary Importance. *Current Anthropology*, 44(2), 295-300.
- Gillespie, B. R. (1990). Assessment and Treatment of Tmj Muscles, Fascia, Ligaments, and Associated Structures. *CRANIO®*, 8(1), 51-54.
- González-José, R., Ramírez-Rozzi, F., Sardi, M., 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.
- González, C., & Westfall, C. (2006, 9th-14th October 2006). *Cementerio Regimiento Chorrillos De Calama: Testimonios Funerarios Formativos En El Loa Medio, Región De Antofagasta*. Paper presented at the Actas del XVI Congreso de Arqueología Chilena, Valdivia, Chile.
- Gonzalez, P. N., Perez, S. I., & Bernal, V. (2010). Ontogeny of Robusticity of Craniofacial Traits in Modern Humans: A Study of South American Populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 142(3), 367-379.
- Gould, S. J. (1966). Allometry and Size in Ontogeny and Phylogeny. *Biological Reviews*, 41(4), 587-638.
- Gower, J. C. (1975). Generalized Procrustes Analysis. *Psychometrika*, 40(1), 33-51.
- Gunz, P., Bookstein, F. L., Mitteroecker, P., Stadlmayr, A., Seidler, H., & Weber, G. W. (2009). Early Modern Human Diversity Suggests Subdivided Population Structure and a Complex out-of-Africa Scenario. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(15), 6094-6098.
- Hammer, Ø., Harper, D., & Ryan, P. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(4), 9.
- Herring, S. W., & Lakars, T. C. (1981). Craniofacial Development in the Absence of Muscle Contraction. *Journal of Craniofacial Genetics and Developmental Biology*, 1, 341-357.

- Hidalgo, J., Schiappacasse, V., Niemeyer, H., Aldunate, C., & Solimano, I. (Eds.). (1989). *Culturas De Chile: Prehistoria, Desde Sus Orígenes Hasta Los Albores De La Conquista* (Vol. 1). Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello.
- Hunt Jr, E. E. (1961). Malocclusion and Civilization. *American Journal of Orthodontics*, 47(6), 406-422.
- Hutchinson, E. F., Farella, M., Hoffman, J., & Kramer, B. (2017). Variations in Bone Density across the Body of the Immature Human Mandible. *Journal of Anatomy*, 230, 679-688.
- Hylander, W. L. (1979). The Functional Significance of Primate Mandibular Form. *Journal of Morphology*, 160(2), 223-239.
- Hylander, W. L., & Bays, R. (1979). An in Vivo Strain-Gauge Analysis of the Squamosal-Dentary Joint Reaction Force During Mastication and Incisal Biting in *Macaca Mulatta* and *Macaca Fascicularis*. *Archives of Oral Biology*, 24(9), 689-697.
- Kaifu, Y., Kasai, K., Townsend, G. C., & Richards, L. C. (2003). Tooth Wear and the "Design" of the Human Dentition: A Perspective from Evolutionary Medicine. *American Journal of Physical Anthropology*, 122(S37), 47-61.
- Kelly, R. L. (1983). Hunter-Gatherer Mobility Strategies. *Journal of Anthropological Research*, 39(3), 277-306.
- Kendall, D. G. (1977). The Diffusion of Shape. *Advances in Applied Probability*, 428-430.
- Kimura, M. (1983). *The Neutral Theory of Molecular Evolution*: Cambridge University Press.
- Kjær, I. (1975). Histochemical Investigations on the Symphysis Menti in the Human Fetus Related to Fetal Skeletal Maturation in the Hand and Foot. *Cells Tissues Organs*, 93(4), 606-633.
- Kjær, I., Keeling, J. W., & Fischer, B. H. (1999). *The Prenatal Human Cranium- Normal and Pathologic Development*. Copenhagen: Munksgaard.
- Klingenberg, C. P. (1998). Heterochrony and Allometry: The Analysis of Evolutionary Change in Ontogeny. *Biological Reviews*, 73(1), 79-123.

- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An Integrated Software Package for Geometric Morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357.
- Klingenberg, C. P., Barluenga, M., & Meyer, A. (2002). Shape Analysis of Symmetric Structures: Quantifying Variation among Individuals and Asymmetry. *Evolution*, 56(10), 1909-1920.
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric Morphometrics of Developmental Instability: Analyzing Patterns of Fluctuating Asymmetry with Procrustes Methods. *Evolution*, 1363-1375.
- Lahr, M. M., & Wright, R. V. (1996). The Question of Robusticity and the Relationship between Cranial Size and Shape in Homo Sapiens. *Journal of Human Evolution*, 31(2), 157-191.
- Lanata, J., Martino, L., Osella, A., & Garcia-Herbst, A. (2008). Ambiente Y Demografía Durante La Dispersión Humana Inicial En Sudamérica. In C. E. López & G. A. Ospina (Eds.), *Ecología Histórica: Interacciones Sociedad-Ambiente En Distintas Escalas Espacio Temporales*. Dosquebradas: Postergraph.
- Larsen, C. S. (1987). Bioarchaeological Interpretations of Subsistence Economy and Behavior from Human Skeletal Remains. *Advances in Archaeological Method and Theory*, 10, 339-445.
- Larsen, C. S. (1995). Biological Changes in Human Populations with Agriculture. *Annual Review of Anthropology*, 24, 185-213.
- Lieberman, D. E. (2008). Speculations About the Selective Basis for Modern Human Craniofacial Form. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 17(1), 55-68.
- Lieberman, D. E. (2011). *The Evolution of the Human Head*. Harvard: University Press.
- Marangoni, A., Belli, M. L., Caramelli, D., Moggi-Cecchi, J., 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*, 5(1-2), 88-96.

- Medina, C. (2010). Prevalencia De Maloclusiones Dentales En Un Grupo De Pacientes Pediátricos. *Acta Odontológica Venezolana*, 48(1), 1-19.
- Meikle, M. C. (2002). *Craniofacial Development, Growth and Evolution*. Norfolk: Bateson.
- Menéndez, L., Bernal, V., Novellino, P., & Perez, S. I. (2014). Effect of Bite Force and Diet Composition on Craniofacial Diversification of Southern South American Human Populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 155(1), 114-127.
- Meruane, M., Smok, C., & Rojas, M. (2012). Desarrollo De Cara Y Cuello En Vertebrados. *International Journal of Morphology*, 30, 1373-1388.
- Mitteroecker, P., & Gunz, P. (2009). Advances in Geometric Morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2), 235-247.
- 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.
- Monteiro, C. A., Levy, R. B., Claro, R. M., Castro, I. R. R. d., & Cannon, G. (2010). A New Classification of Foods Based on the Extent and Purpose of Their Processing. *Cadernos de Saúde Pública*, 26, 2039-2049.
- Moragas, C. (1995). Desarrollo De Las Comunidades Prehispánicas Del Litoral Iquique-Desembocadura Río Loa. *Hombre y Desierto*, 9(2), 65-84.
- Moss, M. L. (1968). A Theoretical Analysis of the Functional Matrix. *Acta Biotheoretica*, 18(1), 195-202.
- Moss, M. L. (1997). The Functional Matrix Hypothesis Revisited. 1. The Role of Mechanotransduction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 112(1), 8-11.
- Moss, M. L. (2007). The Differential Roles of Periosteal and Capsular Functional Matrices in Orofacial Growth. *The European Journal of Orthodontics*, 29(suppl 1), i96-i101.
- Moyers, R. E., & Bookstein, F. L. (1979). The Inappropriateness of Conventional Cephalometrics. *American Journal of Orthodontics*, 75(6), 599-617.



- Muente, R., Aburto, R., & Tapia, P. (2015). Prevalencia De Maloclusiones Y Necesidad De Tratamiento De Ortodoncia En Niños De Octavo Básico De La Comuna De Viña Del Mar. *Rev Chil Ortod Vol 32 (2); 2015, 32(2)*, 82-88.
- Murrieta Pruneda, J., Cruz Díaz, P., López Aguilar, J., Marques Dos Santos, M., & Zurita Murillo, V. (2007). Prevalencia De Maloclusiones Dentales En Un Grupo De Adolescentes. *Acta Odontológica Venezolana, 45(1)*.
- Nanci, A. (2013). *Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function* (8th ed.). St. Louis: Elsevier Health Sciences.
- Neves, W. A., Barros, A. M., & Costa, M. A. (1999). Incidence and Distribution of Postcranial Fractures in the Prehistoric Population of San Pedro De Atacama, Northern Chile. *American Journal of Physical Anthropology, 109(2)*, 253-258.
- Noback, M. L., & Harvati, K. (2015). The Contribution of Subsistence to Global Human Cranial Variation. *Journal of Human Evolution, 80(0)*, 34-50.
- Noback, M. L., Harvati, K., & Spoor, F. (2011). Climate-Related Variation of the Human Nasal Cavity. *American Journal of Physical Anthropology, 145(4)*, 599-614.
- Norton, N. S. (2012). *Netter. Anatomía De Cabeza Y Cuello Para Odontólogos*: Elsevier Masson.
- Núñez Atencio, L. (1991a). *Vida Y Cultura En El Oasis De San Pedro De Atacama*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Núñez Atencio, L. (1991b). *Vida Y Cultura En El Oasis De San Pedro De Atacama. Editorial Universitaria, Santiago, Chile*.
- O'Higgins, P., & Jones, N. (1998). Facial Growth in *Cercocebus Torquatus*: An Application of Three-Dimensional Geometric Morphometric Techniques to the Study of Morphological Variation. *Journal of Anatomy, 193(2)*, 251-272.
- Orquera, L. A., & Piana, E. L. (2009). Sea Nomads of the Beagle Channel in Southernmost South America: Over Six Thousand Years of Coastal Adaptation and Stability. *The Journal of Island and Coastal Archaeology, 4(1)*, 61-81.

- Pae, E.-K., Quas, C., Quas, J., & Garrett, N. (2008). Can Facial Type Be Used to Predict Changes in Hyoid Bone Position with Age? A Perspective Based on Longitudinal Data. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 134(6), 792-797.
- Paschetta, C., de Azevedo, S., Castillo, L., Martínez-Abadías, N., Hernández, M., Lieberman, D. E., & González-José, R. (2010). The Influence of Masticatory Loading on Craniofacial Morphology: A Test Case across Technological Transitions in the Ohio Valley. *American Journal of Physical Anthropology*, 141(2), 297-314.
- Pearsall, D. M. (1984). *The Origins of Plant Cultivation in South America*.
- Pechenkina, E. A., Benfer, R. A., & Zhijun, W. (2002). Diet and Health Changes at the End of the Chinese Neolithic: The Yangshao/Longshan Transition in Shaanxi Province. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(1), 15-36.
- Perez, S. I., Bernal, V., & Gonzalez, P. N. (2007). Morphological Differentiation of Aboriginal Human Populations from Tierra Del Fuego (Patagonia): Implications for South American Peopling. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(4), 1067-1079.
- 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*, 63(4), 978-993.
- Piana, E. L., & Orquera, L. A. (2009). The Southern Top of the World: The First Peopling of Patagonia and Tierra Del Fuego and the Cultural Endurance of the Fuegian Sea-Nomads. *Arctic Anthropology*, 46(1-2), 103-117.
- Pinhasi, R., Eshed, V., & Shaw, P. (2008). Evolutionary Changes in the Masticatory Complex Following the Transition to Farming in the Southern Levant. *American Journal of Physical Anthropology*, 135(2), 136-148.
- Pinhasi, R., & von Cramon-Taubadel, N. (2012). A Craniometric Perspective on the Transition to Agriculture in Europe. *Human Biology*, 84(1), 45-66.
- Plavcan, J. M. (2001). Sexual Dimorphism in Primate Evolution. *American Journal of Physical Anthropology*, 116(S33), 25-53.

- Proffit, W., Fields Jr, H., & Moray, L. (1997). Prevalence of Malocclusion and Orthodontic Treatment Need in the United States: Estimates from the Nhanes Iii Survey. *The International Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery*, 13(2), 97-106.
- Pucciarelli, H. M., Neves, W. A., González-José, R., Sardi, M. L., Rozzi, F. R., Struck, A., & Bonilla, M. Y. (2006). East–West Cranial Differentiation in Pre-Columbian Human Populations of South America. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 57(2), 133-150.
- Relethford, J. H. (1994). Craniometric Variation among Modern Human Populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 95(1), 53-62.
- Rohlf, F. J., & Corti, M. (2000). Use of Two-Block Partial Least-Squares to Study Covariation in Shape. *Systematic Biology*, 49(4), 740-753.
- Rose, J. C., & Roblee, R. D. (2009). Origins of Dental Crowding and Malocclusions: An Anthropological Perspective. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 30(5), 292-300.
- Roseman, C. C. (2004). Detecting Interregionally Diversifying Natural Selection on Modern Human Cranial Form by Using Matched Molecular and Morphometric Data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(35), 12824-12829.
- Rothhammer, F., & Llop, E. (Eds.). (2004). *Poblaciones Chilenas: Cuatro Décadas De Investigaciones Bioantropológicas*. Santiago: Editorial Universitaria.
- Rothhammer, F., Santoro, C. M., Poulin, E., Arriaza, B. T., Moraga, M., & Standen, V. J. (2009). Archeological and Mtdna Evidence for Tropical Lowland Migrations During the Late Archaic/Formative in Northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(4).
- Rouvière, H., Delmas, A., & Delmas, V. (1987). *Anatomía Humana: Descriptiva, Topográfica Y Funcional* (Vol. 1). Barcelona: Masson Barcelona:.
- Sadler, T. W. (2011). *Langman's Medical Embryology* (Twelfth ed.). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- 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.
- Sardi, M. L., Novellino, P. S., & Pucciarelli, H. M. (2006). Craniofacial Morphology in the Argentine Center-West: Consequences of the Transition to Food Production. *American Journal of Physical Anthropology*, 130(3), 333-343.
- Sardi, M. L., & Ramírez Rozzi, F. V. (2005). A Cross-Sectional Study of Human Craniofacial Growth. *Annals of Human Biology*, 32(3), 390-396.
- Shea, B. T. (1992). Developmental Perspective on Size Change and Allometry in Evolution. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 1(4), 125-134.
- Slice, D. E. (2007). Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36(1), 261-281.
- Smith, B. D. (1998). *The Emergence of Agriculture*. New York: W H Freeman & Co.
- Smith, B. H. (1984). Patterns of Molar Wear in Hunter–Gatherers and Agriculturalists. *American Journal of Physical Anthropology*, 63(1), 39-56.
- Smith, H. F. (2011). The Role of Genetic Drift in Shaping Modern Human Cranial Evolution: A Test Using Microevolutionary Modeling. *International Journal of Evolutionary Biology*, 2011, 11.
- Snow, W. P. (1861). A Few Remarks on the Wild Tribes of Tierra Del Fuego from Personal Observation. *Transactions of the Ethnological Society of London*, 1, 261-267.
- Sperber, G. H., Guttman, G. D., & Sperber, S. M. (2001). *Craniofacial Development (Book for Windows & Macintosh)* (Vol. 1): PMPH-USA.
- Tafari, M. A., Zangrando, A. F. J., Tessone, A., Kochi, S., Moggi Cecchi, J., Di Vincenzo, F., Profico, A., & Manzi, G. (2017). Dietary Resilience among Hunter-Gatherers of Tierra Del Fuego: Isotopic Evidence in a Diachronic Perspective. *PLoS ONE*, 12(4), e0175594.
- Taylor, A. B. (2003). Ontogeny and Function of the Masticatory Complex in Gorilla: Functional, Evolutionary, and Taxonomic Implications. In A. B. Taylor & M. L. Goldsmith (Eds.), *Gorilla Biology: A Multidisciplinary Perspective* (pp. 132-193). Cambridge: University Press.

- Taylor, A. B. (2006). Feeding Behavior, Diet, and the Functional Consequences of Jaw Form in Orangutans, with Implications for the Evolution of Pongo. *Journal of Human Evolution*, 50(4), 377-393.
- Taylor, A. B., Eng, C. M., Anapol, F. C., & Vinyard, C. J. (2009). The Functional Correlates of Jaw-Muscle Fiber Architecture in Tree-Gouging and Nongouging Callitrichid Monkeys. *American Journal of Physical Anthropology*, 139(3), 353-367.
- Taylor, A. B., & Vinyard, C. J. (2013). The Relationships among Jaw-Muscle Fiber Architecture, Jaw Morphology, and Feeding Behavior in Extant Apes and Modern Humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 151(1), 120-134.
- Testut, L., & Latarjet, A. (1964). *Tratado De Anatomía Humana* (Vol. 9). Barcelona: Salvat.
- Toro-Ibacache, V., Cortés Araya, J., Díaz Muñoz, A., & Manríquez Soto, G. (2014). Morphologic Variability of Nonsyndromic Operated Patients Affected by Cleft Lip and Palate: A Geometric Morphometric Study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(3), 346-354.
- Toro-Ibacache, V., Zapata Muñoz, V., & O'Higgins, P. (2016). The Relationship between Skull Morphology, Masticatory Muscle Force and Cranial Skeletal Deformation During Biting. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 203, 59-68.
- Toro Ibacache, M. V., Manriquez Soto, G., & Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría Geométrica Y El Estudio De Las Formas Biológicas: De La Morfología Descriptiva a La Morfología Cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977-990.
- Torres-Rouff, C., & Costa Junqueira, M. A. (2006). Interpersonal Violence in Prehistoric San Pedro De Atacama, Chile: Behavioral Implications of Environmental Stress. *American Journal of Physical Anthropology*, 130(1), 60-70.
- Uchida, A. (1996). *Craniodental Variation among the Great Apes*. Cambridge: Harvard University Press.

- Uribe, M., Sanhueza, L., & Bahamondes, F. (2007). La Cerámica Prehispánica Tardía De Tarapaca, Sus Valles Interiores Y Costa Desértica, Norte De Chile (Ca. 900-1.450 D.C.): Una Propuesta Tipológica Y Cronológica. *Chungará (Arica)*, 39, 143-170.
- Valenzuela Yuraidini, C., Acuña, M. P., Harb, D., & Zuraiya, A. (1987). Gradiente Sociogenético En La Población Chilena. *Rev. Med. Chile*, 115(4), 295-299.
- van Eijden, T. M. (2000). Biomechanics of the Mandible. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 11(1), 123-136.
- van Spronsen, P. H. (2010). Long-Face Craniofacial Morphology: Cause or Effect of Weak Masticatory Musculature? *Seminars in Orthodontics*, 16(2), 99-117.
- Vidarsdottir, U. S., & O Higgins, P. (2003). Developmental Variation in the Facial Skeleton of Anatomically Modern Homo Sapiens. *Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology*, 114-143.
- Villalobos, S. (1980). *Historia Del Pueblo Chileno* (Vol. 4). Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- von Cramon-Taubadel, N. (2011). Global Human Mandibular Variation Reflects Differences in Agricultural and Hunter-Gatherer Subsistence Strategies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19546-19551.
- von Cramon-Taubadel, N. (2013). Evolutionary Insights into Global Patterns of Human Cranial Diversity: Population History, Climatic and Dietary Effects. *Journal of Anthropological Sciences*, 91, 1-36.
- Witzel, U., & Preuschoft, H. (2002). Function-Dependent Shape Characteristics of the Human Skull. *Anthropologischer Anzeiger*, 113-135.
- Yan-Vergnes, W., Vergnes, J.-N., Dumoncel, J., Baron, P., Marchal-Sixou, C., & Braga, J. (2013). Asynchronous Dentofacial Development and Dental Crowding: A Cross-Sectional Study in a Contemporary Sample of Children in France. *Journal of physiological anthropology*, 32(1), 22.
- Yesner, D. R., Torres, M. J. F., Guichon, R. A., & Borrero, L. A. (2003). Stable Isotope Analysis of Human Bone and Ethnohistoric Subsistence Patterns in Tierra Del Fuego. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22(3), 279-291.

Zapater, H., & Equioíz, H. Z. (1998). *Aborígenes Chilenos a Través De Cronistas Y Viajeros*. Santiago de Chile: Andrés Bello.

## Anexo 1

### Acta de aprobación de Proyecto de Investigación.



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



#### 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 Quevedo, 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@odontologia.uchile.cl

## Anexo 2

Tabla A1. Test pareado de Mann-Whitney para los valores del CP2 para el género masculino, respecto de la variable carga. Valores de P en negrita significativos luego de aplicar corrección de Bonferroni.

	Leve	Intensa
Intensa	<b>5,66 x10<sup>-3</sup></b>	
Moderada	<b>3,30 x10<sup>-3</sup></b>	0,02

Tabla A2. Test pareado de Mann-Whitney para los valores del CP2 para el género femenino, respecto de la variable carga. Valores de P son no significativos luego de aplicar corrección de Bonferroni.

	Leve	Intensa
Intensa	1,85 x10 <sup>-2</sup>	
Moderada	1,72 x10 <sup>-2</sup>	0,58