



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

**RELACIÓN ENTRE LA FUERZA MASTICATORIA OCLUSAL Y LA FORMA**  
**DEL ARCO MAXILAR UTILIZANDO MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA**

**Mario Francisco Hernández Corvalán**

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

**TUTORA PRINCIPAL**  
**Dra. Viviana Toro Ibacache**

**Adscrito a Proyecto “Estudio Piloto: Forma y Función del esqueleto Craneofacial,**  
**Forma del Arco Dental, Grado de Movilidad Mandibular y Fuerza de Mordida”**  
**Santiago – Chile**  
**2020**





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

**RELACIÓN ENTRE LA FUERZA MASTICATORIA OCLUSAL Y LA FORMA**  
**DEL ARCO MAXILAR UTILIZANDO MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA**

**Mario Francisco Hernández Corvalán**

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

**TUTORA PRINCIPAL**  
**Dra. Viviana Toro Ibacache**

**Adscrito a Proyecto “Estudio Piloto: Forma y Función del esqueleto Craneofacial,**  
**Forma del Arco Dental, Grado de Movilidad Mandibular y Fuerza de Mordida”**  
**Santiago – Chile**  
**2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer en primer lugar a mi tutora de tesis Dra. Viviana Toro por la paciencia y dedicación en esta última etapa. En segundo lugar, a un gran número de docentes por los cuales siento gran admiración, entre los que destaco a Dra. León, Dra. San Pedro, Dr. López, Dr. Torrealba, Dra. Torres y Dr. Peñafiel. En tercer lugar, a mi grupo de amigos y grandes compañeros de carrera como Edgar, Mauricio, Camila y Joel; y para finalizar, pero aun así no menos importante quiero agradecer a mi grupo familiar que me apoyó durante todo este proceso.

# 1. TABLA DE CONTENIDO

2.	RESUMEN .....	7
3.	INTRODUCCIÓN.....	8
4.	MARCO TEÓRICO .....	9
4.1	Anatomía maxilar .....	9
4.1.1	Hueso Maxilar .....	9
4.1.2	Hueso palatino .....	10
4.1.3	Paladar duro.....	10
4.2	Características generales del arco dental .....	11
4.3	Desarrollo del arco dental.....	12
4.4	Forma de Arco.....	12
4.5	Mecánica cráneo facial y su influencia en la morfología .....	14
4.6	Remodelación ósea .....	16
4.7	Función masticatoria.....	18
4.8	Morfometría geométrica .....	21
4.9	Justificación y relevancia actual .....	23
5.	HIPÓTESIS.....	25
6.	OBJETIVO GENERAL.....	25
7.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
8.	METODOLOGÍA .....	26
8.1	Muestra .....	26
8.2	Criterios de exclusión.....	26
8.3	Obtención de los datos .....	27
8.4	Adquisición de datos para análisis .....	27
8.5.	Análisis .....	31
8.5.1.	Análisis preliminares .....	31
8.5.2.	Análisis exploratorios y confirmatorios .....	32
9.	RESULTADOS .....	33
9.1.	Análisis preliminares .....	33
9.2.	Análisis exploratorios y confirmatorios .....	34
9.2.1.	Análisis de componentes principales.....	34
9.2.2.1	Morfología del hemiarco maxilar derecho. Primer componente principal .....	35
9.2.2.2	Morfología del hemiarco maxilar derecho. Segundo componente principal .....	37

9.2.2.3	Morfología del hemiarco maxilar derecho. Tercer componente principal.....	39
9.2.2.4	Morfología del hemiarco maxilar derecho. Cuarto componente principal .....	41
9.2.2.5	Morfología del hemiarco maxilar derecho. Quinto componente principal.....	43
9.2.2.6	Morfología del hemiarco maxilar derecho. Sexto componente principal .....	45
9.2.3.1	Análisis de covariación entre hemiarco maxilar derecho y la fuerza de mordida. ....	47
9.2.3.2	Análisis de covariación entre hemiarco maxilar derecho y las diferentes fuerzas de mordida promedio en MIC, protrusión y lateralidad.....	48
10.	DISCUSIÓN .....	52
11.	CONCLUSIONES .....	56
12.	REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS .....	57
13.	ANEXOS .....	64

## 2. RESUMEN

La forma de arco dental posee distintas variaciones interindividuales asociadas a género, ancestría, influencias ambientales, entre otros; y a lo largo del crecimiento en un mismo individuo. Existen diferentes formas y tamaños de los arcos dentales entre los distintos grupos humanos, generalmente asociados a la configuración del hueso de soporte, posición de los dientes, musculatura perioral y las fuerzas funcionales intraorales. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la relación entre la magnitud de la fuerza máxima de mordida y la forma del hemiarco maxilar, que definiremos como arco dental más su proceso alveolar. Esta tesis corresponde a un estudio transversal de tipo descriptivo, en el cual se analizaron 16 modelos virtuales tridimensionales creados a partir de impresiones de silicona. La forma del hemiarco maxilar fue capturada mediante la digitalización de hitos tridimensionales, y mediante el análisis de morfometría geométrica se analizó la variación general de la forma del hemiarco maxilar, y su covariación con la fuerza de mordida de los mismos individuos en máxima intercuspidad, protrusión y en lateralidad izquierda y derecha. Al analizar la variación del hemiarco maxilar se obtuvieron dos formas: un arco dental oval relacionado a procesos alveolares con una dimensión vestíbulo palatina de mayor tamaño principalmente en áreas de premolares y molares; y también se obtuvo un arco dental de forma triangular asociado a un proceso alveolar de mayor longitud vertical y menor dimensión vestíbulo palatina. En los resultados del análisis de covariación a través del *Partial least square* entre hemiarco maxilar y la fuerza de mordida, solo en la fuerza de mordida en lateralidad se obtuvo una alta correlación, con valores de P estadísticamente significativos.

Como conclusión, se obtuvo que existe una relación estadísticamente significativa entre forma del arco dental superior derecho y la fuerza de mordida en lateralidad. Como hallazgo encontrado, el grupo en el cual difiere en mayor medida su morfología respecto del promedio es el que presenta una menor fuerza de mordida en lateralidad, presentando un arco dental de tipo triangular y un proceso alveolar más angosto en el sector anterior y sector de premolares principalmente.

### 3. INTRODUCCIÓN

La forma de arco ha presentado variaciones interindividuales asociadas a género, ancestría, influencias ambientales, entre otros, y a lo largo del crecimiento en un mismo individuo. Existe una considerable variedad en la forma y tamaño de los arcos dentales, entre los diferentes grupos humanos (Escobar et al., 2000), generalmente por la configuración del hueso de soporte, la posición de los dientes, musculatura perioral y las fuerzas funcionales intraorales. Estos cambios han sido progresivos y han sucedido en un lapso de miles de años, ocurriendo tanto por mutaciones genéticas como por adaptación a su hábitat y estilos de vida.

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

En el presente estudio se analiza la relación entre magnitud de la fuerza máxima de mordida, la forma del arco dental maxilar y su proceso alveolar, y que, según lo observado en estudios previos, sufre de microdeformaciones durante la masticación, particularmente en cráneos estructuralmente débiles (Vidaurre, 2018). El objetivo es evaluar la existencia de relación entre la intensidad de la carga masticatoria (a través de la fuerza máxima de mordida), la forma de los arcos dentales y su proceso alveolar, considerando tanto la variación general de la forma como la covariación de esta con las magnitudes de fuerza ejercidas.

Para esto se utilizó como herramienta la morfología geométrica, herramienta que permite abstraer la forma mediante el uso de “marcas o puntos”, donde la información sobre el tamaño, la posición y la orientación se ajustan en un contexto matemáticamente analizable; es una técnica que ha sido de mucha utilidad para estudiar y resolver interrogantes respecto a las variaciones de la forma y sus factores asociados.



## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Anatomía maxilar

La porción superior del esqueleto facial está formada por 13 huesos, de los cuales sólo uno es mediano e impar, el vómer. Los restantes son pares y laterales, y se sitúan simétricamente a ambos lados de la línea media. Estos huesos son los maxilares, los huesos lagrimales, los huesos palatinos, los cornetes nasales inferiores, los huesos nasales y los huesos cigomáticos (Rouvière et al., 2005) (Figura 1).

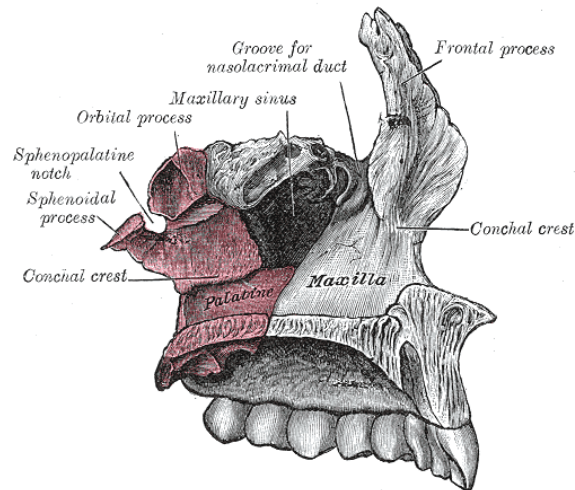


Figura 1. Anatomía maxilar, flechas indican hitos anatómicos. Editado de Rouvière (Rouvière et al., 2005).

#### 4.1.1 Hueso Maxilar

El maxilar está situado superior a la cavidad oral, inferior a la cavidad orbitaria y lateral a las cavidades nasales, y participa en la formación de las paredes de estas tres cavidades. Se articula con el del lado opuesto para formar la mayor parte del maxilar. El maxilar es voluminoso y sin embargo ligero, debido a la existencia de una cavidad, el seno maxilar, que ocupa los dos tercios superiores del espesor del hueso. La configuración externa del maxilar es muy irregular. No obstante, se puede reconocer en él una forma cuadrilátera y distinguir dos caras, una lateral y otra medial, y cuatro bordes (Rouvière et al., 2005).

### 4.1.2 Hueso palatino

El hueso palatino es una lámina ósea delgada e irregular, situada posteriormente al maxilar. Su forma puede compararse con la de un ángulo diedro recto. Este hueso se compone de una lámina horizontal y una lámina perpendicular, que se unen en ángulo recto siguiendo una arista de dirección anteroposterior (Rouvière et al., 2005).

### 4.1.3 Paladar duro

El paladar duro está rodeado anteriormente y a ambos lados por el arco gíngivo dental superior. Posteriormente, se continúa, sin límites precisos, con el velo del paladar (Figura 2).

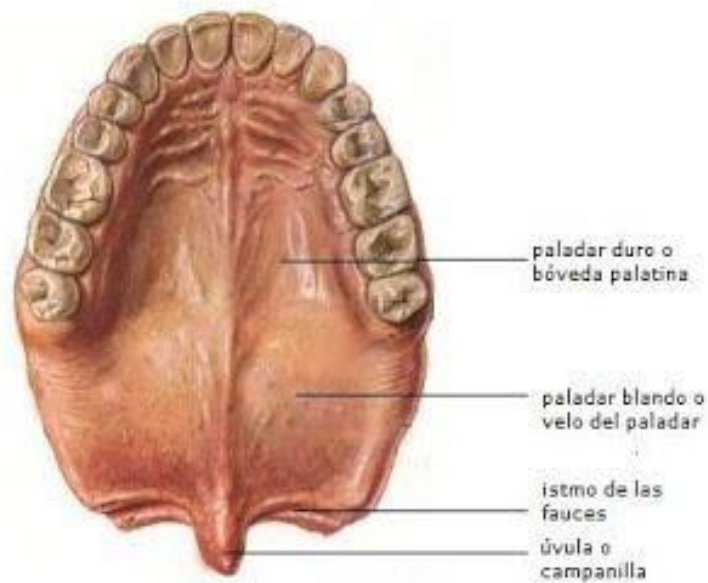


Figura 2. Anatomía maxilar. Flechas indican regiones anatómicas. Editado de Netter (Netter, 2003).

La parte ósea del paladar duro está formado por el proceso palatino del hueso maxilar y la lámina horizontal del hueso palatino. El paladar duro es cóncavo en sentido transversal y de anterior a posterior. Presenta en la línea mediana un rafe blanquecino, que se prolonga por el velo del paladar. Este rafe frecuentemente hace

relieve, aunque a veces está deprimido en forma de un surco estrecho. En el extremo anterior del rafe se encuentra una eminencia alargada de anterior a posterior; se trata de la papila incisiva, que está en relación con el orificio inferior del conducto incisivo que da paso al nervio nasopalatino y a vasos esfenopalatinos. A ambos lados de esta papila, la bóveda palatina presenta un número variable de crestas transversales u oblicuas, denominadas pliegues palatinos transversos o rugosidades palatinas (Rouvière et al., 2005).

#### **4.2 Características generales del arco dental**

La forma del arco dental se obtiene del hueso de soporte, la posición de los dientes, la musculatura perioral y las fuerzas funcionales intraorales. Las dimensiones del arco dental se pueden calcular, el ancho del arco dental a nivel de las cúspides de los primeros molares, y la longitud del arco corresponde a la distancia entre el punto medio de los bordes incisales de los cuatro incisivos y una línea a la cúspide vestibular del primer molar.

Las dimensiones de los arcos dentales cumplen un papel importante en la determinación de la alineación de los dientes, estabilidad de la forma de arco y alivio del apiñamiento, para así lograr una oclusión funcional estable, equilibrando el perfil facial con la sobremordida vertical y horizontal (Escobar et al., 2000). Neff, en 1957, trata de establecer la influencia en la variación del tamaño de los dientes y la integridad del arco dental (Neff, 1957). Por lo que desde esa fecha se han analizado las relaciones de acuerdo con el grado de apiñamiento, llegando a la conclusión de que el tamaño de los dientes es un factor determinante para la presencia o no del apiñamiento. Otros autores mencionan que este no se debe al tamaño de los dientes, sino al tamaño del arco dental. Escobar en el año 2000 menciona que no encontró una relación significativa entre la forma de hueso basal mandibular y la presencia o ausencia de apiñamiento (Escobar et al., 2000).

### **4.3 Desarrollo del arco dental**

Existen cambios en el arco dental durante el crecimiento, los cuales se deben tomar en cuenta en la planificación del tratamiento de ortodoncia, puesto que el éxito de este se basa, en parte, en el desarrollo de la dentición que está relacionado con la dinámica de la formación del arco dentario.

El perímetro del arco en la mandíbula alcanza su tamaño final en el momento de la erupción de los incisivos centrales y los primeros molares. Y la forma de estos se define tempranamente durante la vida fetal (Leighton, 2007). Sillman menciona que desde el nacimiento hasta los 2 años hay un incremento en el ancho intercanino de 5 mm en el maxilar y 3.5 mm en la mandíbula (Sillman, 1964), sin embargo, el ancho de los arcos dentarios no varía esencialmente durante la dentición primaria. Otros autores mencionan que, durante el crecimiento natural, ocurren variaciones de forma de arco, en general con tendencia al aumento del ancho intermolar durante el cambio de dentadura primaria por la permanente, y continúa cambiando en el transcurso de la adolescencia a la edad adulta, aumentando principalmente la distancia transversal en la zona de molares. Otros factores asociados a la modificación de la forma del arco dental son los hábitos como: respiración bucal, succión del dedo o interposición lingual (Moorrees et al., 1963).

### **4.4 Forma de Arco**

El arco dental puede presentar variaciones individuales en su configuración. En 1885, Bonwill intentó establecer ciertos postulados para construir dentaduras artificiales; observó que la forma trípode de la mandíbula se asemeja a un triángulo equilátero, con los procesos condilares y el vértice entre los incisivos centrales, haciendo hincapié en el principio de que la anatomía humana se encuentra en consonancia perfecta con la geometría física y mecánica (Bonwill, 1985).

Hawley, en 1905, modificó la tesis de Bonwill, y postuló que la anchura combinada de los dientes anteriores sirve como el radio de un círculo. A partir de ese círculo construyó un triángulo equilátero, con la base representando la dimensión intercondiliar (Hawley, 1905).

Angle reconoció la curva parabólica del arco dental, considerando, además, la predeterminación del arco dental de Hawley solo como una aproximación (Joondeph et al., 1970). Se han realizado otros intentos de establecer métodos de predeterminación del arco dental por diversos investigadores, como Williams, Stanton y Gilpatric (Graber et al., 2017).

Stanton, después de un año de investigación, pudo definir la oclusión normal como:

1. Los bordes incisales y las cúspides externas se encuentran sobre una curva suave.
2. La forma del arco dental es cerrado y abierto, es decir con forma de elipse, parábola, parábola cúbica y “herradura”.
3. Gran parte de los arcos dentales humanos varían solo 5 mm de anchura (de un lado de la sutura palatina mediana).
4. Gran parte de los arcos dentales humanos varían 13 mm de longitud (del surco vestibular al borde incisal superior).

Izard creía que los métodos de predeterminación existentes de los arcos dentales no tomaban en cuenta la variación natural de estos, y que la oclusión no interfiere en su forma, recomendó el uso de las dimensiones de la cara fijando una relación constante entre el ancho del arco dental y la profundidad de la cara (Graber et al., 2017). Además, postuló que el 75 % de los arcos dentales pueden ser descritos por una elipse, 20% por una parábola y solo 5% por una “U” o forma cuadrada. Además, utilizó la anchura bicigomática y la distancia auriculoincisal para establecer elipses de la forma del arco dental. Las descripciones de la forma han sido parte de investigaciones subsecuentes realizadas por MacConnail y Scher, Wheeler, Sved, Scott, Burdi y Lillie, entre otros (Graber et al., 2017). Currier, utilizando radiografías de moldes de yeso, esbozó la formación del arco dental con ayuda de una computadora, demostrando que la elipse ajustaba mejor al arco dental superior e inferior que la parábola. Como la circunferencia exterior (facial), o sea, la de las superficies vestibulares y labiales es de mayor importancia para los ortodoncistas, la elipse se consideró una mejor guía para la forma del arco dental.

Así se propusieron diversas formas de arco con el paso de los años, como la elipse trifocal, la curva catenaria, la parábola, forma de U, la esfera modificada, ovoide, triangular, cuadrada, entre otras.

En 1934 Chuck destacó las variaciones en la forma de arco dental y fue el primero en clasificarla como cuadrada, redonda, oval y estrecha. Este autor concluye que hay una considerable variedad en la forma y tamaño de los arcos dentales entre diferentes ancestrías (Chuck, 1934).

En distintas investigaciones se ha tratado de definir una forma de arco en distintos grupos étnicos específicos basándose en las formas promedio del arco normal sin tratamiento de ortodoncia y, debido a las discordias entre las investigaciones en cuanto al criterio de normalidad, es imposible guiarse por un solo parámetro para describir la forma de arco alveolar correctamente (Graber et al., 2017).

#### **4.5 Mecánica cráneo facial y su influencia en la morfología**

Según Bruner, en 1960, se propuso el término craneología funcional para explicar un innovador enfoque para el estudio del cráneo humano en función de las relaciones estructurales y funcionales entre sus componentes. El cráneo está formado por estructuras anatómicas dispuestas en una red física, en la cual el resultado de la evolución de los caracteres morfológicos y, por lo tanto, de su anatomía, depende tanto de los campos de crecimiento genéticamente determinados, como de la interacción de las fuerzas y de las restricciones entre las partes involucradas. Según el autor, en términos de la interacción física, la morfología craneal es el resultado de presiones y tensiones asociadas con órganos en expansión (como el cerebro), tejidos conectivos de unión, suturas en contacto, desplazamientos óseos e influencias musculares (Bruner, 2007).

Se ha visto que los músculos elevadores de la mandíbula juegan un rol importante en las magnitudes de la fuerza de mordida, así como también en la generación de fuerzas de reacción en la articulación temporomandibular, por lo que el tipo de alimentación y las propiedades mecánicas de la dieta son imprescindibles de tomar en cuenta a la hora de determinar las magnitudes de fuerza de mordida (y

por lo tanto la actividad muscular) a las que han estado sometidos los cráneos de los individuos a lo largo del tiempo (Sellers & Crompton, 2004; Toro-Ibacache & O'Higgins, 2016). En poblaciones más antiguas, los cazadores-recolectores se alimentaban básicamente de productos animales (con un nivel muy básico de procesamiento), plantas salvajes y semillas; alimentos duros y tenaces, mecánicamente más resistentes que exigían gran trabajo por parte de los músculos masticatorios (Crittenden & Schnorr, 2017). Más adelante surgieron las poblaciones de agricultores, y con éstas, las plantaciones de frutas, verduras y cereales varios, con una disminución de productos animales y un grado mayor de procesamiento (González-José et al., 2005). Finalmente, en la actualidad contamos con muchos alimentos altamente procesados química y mecánicamente de consistencia más blanda, disminuyendo así el trabajo de trituración que realizan los músculos masticatorios, dientes y huesos (Monteiro et al., 2010).

Estudios avalan que la fuerza ejercida por los músculos y la morfología ósea se encuentran relacionados a través del proceso de remodelación ósea. Los músculos al contraerse provocan microdeformaciones en el hueso en que se insertan, y el aumento o la disminución de estas tensiones generadas por los músculos provocan cambios en la cantidad de hueso formado y reabsorbido, así como también modulan la dirección de su crecimiento, proceso que se conoce como remodelación ósea (Toro-Ibacache et al., 2016). Cuando las microdeformaciones del tejido óseo superan el umbral de remodelado del hueso, la remodelación ósea se activa para fortalecer el tejido. Contrariamente, cuando las microdeformaciones se mantienen por debajo del umbral, ocurre la "remodelación ósea en modo desuso", este tipo de remodelación remueve hueso trabecular y endocortical en un rango de mantención para que la estructura ósea sea capaz de deformarse ante las cargas disminuidas (Frost, 2004).

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

extremos de alteraciones de la oclusión, como las clases II y III esqueléticas (Eyquem et al., 2019).

La relación maxilomandibular es entonces un factor que podría afectar las cargas masticatorias, pues se ha visto que pacientes con tipos esqueléticos clase II y III presentan alteraciones en la forma del maxilar y del paladar, cuando se comparan con individuos con tipo esquelético clase I (Eyquem et al., 2019).

#### **4.6 Remodelación ósea**

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

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



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

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

formación ósea dentro de la UMB (Andersen et al., 2013; Raggatt & Partridge, 2010).

En la fase de formación, la estimulación mecánica y la señal endocrina de la PTH pueden ejercer señales de formación ósea a través de los osteocitos. Al estar en reposo, los osteocitos expresan esclerostina, una molécula soluble que bloquea la vía de señalización Wnt, la cual induce la formación de tejido óseo. La estimulación mecánica y la señalización de la PTH inhiben la expresión de esclerostina en los osteocitos, permitiendo la formación de hueso por la vía de señalización Wnt (Bellido, 2014; Raggatt & Partridge, 2010). Esta vía establece la densidad mineral ósea basal. Una vez que las células mesenquimales o los progenitores osteoblásticos han regresado a las lagunas de reabsorción, se diferencian y secretan moléculas que finalmente generarán hueso: colágeno tipo I, proteoglicanos, proteínas glicosiladas, lípidos, entre otras. Para que el hueso asuma su forma final, se incorpora hidroxapatita al tejido osteoide recién depositado (Raggatt & Partridge, 2010).

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

#### **4.7 Función masticatoria**

La masticación es el proceso sensomotor llevado a cabo por el aparato masticatorio que tiene como fin romper y disminuir los alimentos. Si bien son los dientes y la lengua los agentes que entran en contacto directo con los alimentos, son diversas estructuras las que participan en este proceso, incluyendo los músculos faciales, craneomandibulares y suprahioides (Andries van der Bilt, 2002; Lieberman, 2011). La masticación es el primer paso en la digestión, por lo mismo, un mecanismo vital en la vida de los individuos. Pero la importancia de ésta no es

sólo nutricional, sino que también es relevante en el crecimiento y desarrollo del cráneo (Lieberman, 2011; A. Van der Bilt et al., 2006).

En humanos, la masticación puede realizarse directamente con los dientes posteriores (distales a los caninos), o bien precedida de incisión. La incisión se realiza con las piezas anteriores, ocurriendo por lo general de forma bilateral (en ambos lados de la mandíbula) y mediante protrusión mandibular. La masticación, que se realiza con los dientes postcaninos, es en mamíferos casi siempre unilateral, con un lado de trabajo y otro de balance. Los músculos cráneo mandibulares de ambos costados se contraen para generar la fuerza de trabajo en un lado, balanceando la mandíbula en el otro lado (o lado de balance). Durante la oclusión dental se concentran fuerzas de grandes magnitudes en áreas pequeñas, generando así alto estrés mecánico sobre los dientes y el hueso. Además, la masticación es un proceso repetitivo y frecuente, donde la precisión que se requiere es muy alta y errores en el movimiento generan una mordida inefectiva (Lieberman, 2011).

La masticación se puede dividir en dos grandes etapas: apertura y cierre; donde los músculos que participan en ella (Figura 3) permiten realizar cinco movimientos esenciales: elevación, depresión, protrusión, retrusión y lateralización de la mandíbula. En la etapa de apertura, la mandíbula desciende gracias a la contracción de los músculos suprahioides de origen/inserción mandibular, generando una rotación alrededor del eje medio lateral de los procesos condilares, lo que conlleva a su vez una protrusión de estos por la contracción de los músculos pterigoideos laterales y mediales. En la masticación bilateral el movimiento de los procesos condilares es simétrico y sincronizado y el cierre contiene a su vez dos etapas consecutivas: el cierre rápido y el cierre lento. El cierre rápido inicia con la contracción de los músculos pterigoideos mediales y del masetero profundo, lo que genera tanto una elevación de la mandíbula. El cambio del cierre rápido al lento ocurre cuando las piezas posteriores mandibulares se ubican a lateral de los dientes superiores. El cierre lento consiste en la subsecuente contracción de los músculos pterigoideos mediales, maseteros y temporales, llevando la mandíbula hacia la línea mediana. El punto de máxima contracción de estos músculos se llama *power stroke*, donde los dientes superiores e inferiores no solo se encuentran en contacto, sino

que también ha un movimiento de los dientes inferiores hacia la línea mediana, sobre todo en la zona del masetero (Lieberman, 2011).

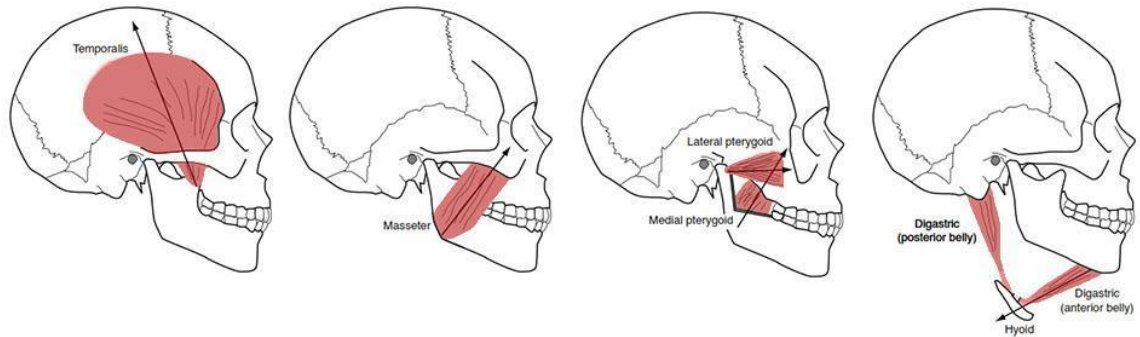


Figura 3. Los músculos principales de la masticación. Las flechas indican los vectores de la fuerza. Imagen adaptada de Lieberman (Lieberman, 2011).

Estudios han mostrado que la masticación requiere una cantidad relativamente constante de fuerza para los movimientos básicos, pero que debe aumentar para romper los alimentos (A. Van der Bilt et al., 2006). Se puede observar que los músculos que participan en este proceso se insertan tanto en la mandíbula como en el cráneo, sometiendo a estrés la estructura craneal en general, lo que es compatible con una relación de la cabeza ósea completa con las cargas generadas durante la función masticatoria, y no sólo la mandíbula o el maxilar, (von Cramon-Taubadel, 2011).

Un factor importante que hay que tener en cuenta durante la masticación es la comida ingerida y sus propiedades mecánicas. Durante la interacción y fragmentación con los dientes, la resistencia mecánica de los alimentos juega un rol importante, siendo críticas las propiedades elásticas y plásticas de los alimentos, dado que determinarán el trabajo necesario para transmitir una fractura a lo largo del objeto (Agrawal et al., 1997; Lieberman, 2011). En un primer momento ocurre una deformación inicial de la comida, donde dependiendo de su elasticidad (la cual es definida como la capacidad de recuperar la forma y dimensiones parcial o totalmente tras cesar la fuerza aplicada) sucederá una deformación plástica, donde el alimento ya no vuelve a su forma original, rompiéndose o fracturándose (Hombre-Morgado & Castro Montero, 2007; Morales & Toro-Ibacache, 2018) Los alimentos *force-limited*, duros o muy firmes, como zanahorias crudas o semillas, requieren una

gran cantidad de fuerza para iniciar la fractura, pero esta se propaga rápidamente, poseyendo una baja resistencia a la deformación plástica (Hombre-Morgado & Castro Montero, 2007). Por su parte, los alimentos *displacement-limited*, altamente elásticos o tenaces, poseen una mayor resistencia a esta deformación, requiriendo fuerzas más altas y prolongadas para propagar la fractura (Lieberman, 2011). El nivel de tenacidad se relaciona por lo general con la presencia de colágeno y/o celulosa, como es por ejemplo en la carne y verduras como la acelga y espinaca (Lieberman, 2011). El desempeño o *performance* masticatoria lo que corresponde al grado de trituración del alimento que se logra durante la masticación, está determinado por las características del alimento, pero también por la cantidad y estado de los dientes presentes distales a los caninos, a la fuerza de la mordida, el sexo, la edad, la retroalimentación sensorial, entre otros (Andries van der Bilt, 2002). Diferentes investigaciones han encontrado un gran rango de valores en la fuerza de mordida. Se ha reportado en adultos valores medios para la fuerza máximas de mordida, con valores que varían entre 216 y 740 Newton (N). Se han informado valores menores, entre 108 a 293 N para la región incisal (He et al., 2013).

#### **4.8 Morfometría geométrica**

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

**Obtención de los datos primarios.** Los datos utilizados para el análisis mediante morfología geométrica corresponden a hitos (o “*landmarks*”) que en conjunto son representativos de una forma o geometría de un objeto. Un hito es un punto en el espacio al cual se le da un nombre y coordenadas cartesianas (“X, Y”

en forma bidimensional y “X, Y, Z” en forma tridimensional). Las coordenadas cartesianas determinan la posición de los hitos en el espacio, y son estas coordenadas las que constituyen los datos primarios que luego son sometidos a análisis. Los hitos pueden ser obtenidos de fotografías, radiografías, reconstrucciones virtuales, entre otros (Toro-Ibacache et al., 2010).

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

**Análisis estadístico multivariado.** Una vez que se obtiene la información que describe la forma en estudio, ésta puede ser analizada mediante estadística multivariada (análisis de variantes canónicas, análisis de componentes principales, análisis de deformación relativa, entre otros). Así, las morfocoordenadas permiten evaluar la diferencia entre formas promedio, probar el grado de correlación y covariación de la forma con el tamaño; y la covariación de la forma con factores subyacentes (Toro-Ibacache et al., 2010).

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

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

#### **4.9 Justificación y relevancia actual**

La especie humana ha sufrido cambios en la morfología del cráneo a lo largo de la historia. Estos cambios se pueden resumir en acortamiento de este en sentido anteroposterior y supero-inferior, disminución de tamaño, adopción de una forma más rectangular de las órbitas, entre otros (Lieberman, 2011).

Se debe destacar que la posición relativa y la longitud del arco dental pueden influir en la distribución del estrés (Witzel & Preuschoft, 2002). Estudios recientes en monos capuchinos (Makedonska et al., 2012) y humanos modernos (Noback & Harvati, 2015) mostraron que la forma del arco dental (en contraste con el tamaño y la posición) es, en gran parte, independiente de la fuerza de mordida (Corruccini, 1984; Morales & Toro-Ibacache, 2018), y se ha propuesto que el apiñamiento dental podría ocurrir por una discordancia entre el tamaño dental (determinado casi en su

totalidad genéticamente), y el tamaño del proceso alveolar, cuyo hueso no recibiría las cargas masticatorias que le permiten crecer en su completo potencial. Cabe entonces la interrogante de si existe una relación entre la morfología del arco dental, el tamaño y forma del proceso alveolar y la fuerza masticatoria. Para efectos de esta tesis se definirá como arco maxilar tanto al arco dental con su proceso alveolar.

Conocer la relación entre la forma del arco dental maxilar y su relación con la fuerza de mordida puede entregar herramientas para una correcta planificación del tratamiento ortodóncico y ortopédicos, además para la planificación de tratamientos rehabilitadores.



## **5. HIPÓTESIS.**

Existe una relación entre la fuerza máxima de mordida, la forma del hemiarco dental maxilar y hemiarco alveolar maxilar.

Será definido para efectos de esta tesis como hemiarco maxilar al conjunto de hemiarco dental maxilar y hemiarco alveolar maxilar.

## **6. OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la relación entre magnitud de la fuerza máxima de mordida y la forma del hemiarco maxilar (hemiarco dental y su hemiarco alveolar).

## **7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Describir la variación morfológica del hemiarco maxilar en sus aspectos generales.
2. Caracterizar y cuantificar la relación entre la forma del hemiarco maxilar (dental y alveolar) y la magnitud de la fuerza máxima de mordida.

## **8. METODOLOGÍA**

El diseño metodológico de este estudio será de tipo transversal, descriptivo. En este estudio se buscará una relación entre la forma del hemiarco dental maxilar, proceso alveolar y la fuerza máxima de mordida.

### **8.1 Muestra**

La adquisición de datos base (archivos de superficie de impresiones de silicona y registros de fuerza de mordida) fue realizada en la Escuela de Odontología de la Universidad de Leipzig, Alemania, en una etapa previa a la realización de esta tesis. Para la muestra se seleccionaron 16 personas (6 hombres y 10 mujeres) que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión:

- Edad entre 23 y 30 años.
- Índice de Masa Corporal entre 20 y 24,9 para hombres y 19 a 23,9 para mujeres.
- Dentición completa (sin incluir terceros molares en el cálculo).

### **8.2 Criterios de exclusión**

Se consideraron como criterios de exclusión:

- Patrones extremos de oclusión alterada (protrusión o retrusión dental marcada, mordida cruzada).
- Historia de cirugía ortognática.
- Historia de tratamiento ortodóncico.
- Presencia de restauraciones de consideración (que ocupen gran parte de la corona).

Los participantes fueron reclutados mediante firma de consentimiento informado aprobado por la autoridad correspondiente (Anexos 1 y 2).

### 8.3 Obtención de los datos

Brevemente, la obtención de los modelos de yeso del arco dental y el proceso alveolar de los participantes se realizó mediante impresiones de silicona. Luego, Los modelos en cada posición fueron escaneados mediante el equipo Organizational Scan D250 ® (3Shape, Berlín, Alemania) para generar archivos de superficie (formato .stl), que puedan ser analizados de manera virtual. Los registros de fuerza de mordida en máxima intercuspidad (MIC), en protrusión y en lateralidad izquierda y derecha (con contactos oclusales) fueron realizados con el BiteFork System ® (Vimes, Igel, Alemania) para su utilización en esta tesis. Como se mencionó antes, la adquisición de datos fue realizada en una etapa previa a esta tesis.

### 8.4 Adquisición de datos para análisis

En este trabajo debido a la presencia de problemas con las superficies virtuales de algunos modelos escaneados, algunos individuos perderían hitos del fondo de vestíbulo. Así, de manera posterior a la presentación del anteproyecto de esta tesis, se decidió trabajar con el hemiarco derecho. La adquisición de *landmarks* se realizó sobre los archivos de superficie de los modelos de yeso. Estos archivos fueron trabajados con el *software* comercial Avizo ® (Science Visualization Group, Burlington, EE.UU.), en el cual, se colocaron *landmarks* que representen la forma del arco dental y el paladar (definidos en Tabla 1 y graficados en Figura 4). Además, estos hitos fueron utilizados para generar un modelo tridimensional en formato *polygon* (.ply) que representa, de manera simplificada, la geometría del arco (Figura 4) y que permite visualizar las variaciones de la forma.

Tabla 1. Descripción de hitos anatómicos seleccionados.

N°	Abr.	Landmark	Definición	M o D
1	M2	Molar 2	Punto en el centro de la fosa oclusal mesial del segundo molar superior.	D
2	M1	Molar 1	Punto en el centro de la fosa oclusal mesial del primer molar superior.	D
3	PM2	Premolar 2	Punto en el centro del surco principal oclusal del segundo premolar superior.	D
4	PM1	Premolar 1	Punto en el centro del surco principal oclusal del primer premolar.	D
5	V/M1-M2	Vestibular molar 1-molar 2	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer molar y segundo molar, por vestibular.	D
6	V/M1-P2	Vestibular molar 1-premolar 2	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer molar y segundo premolar, por vestibular.	D
7	V/P1-P2	Vestibular premolar 1-premolar 2	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer premolar y segundo premolar, por vestibular.	D
8	V/P1-C	Vestibular premolar 1–canino	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer premolar y canino, por vestibular.	D
9	V/C-IL	Vestibular canino– incisivo lateral	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre canino e incisivo lateral, por vestibular.	D
10	V/IL-IC	Vestibular incisivo lateral–incisivo central	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre incisivo lateral e incisivo central, por vestibular.	D/
11	V/IC-IC	Vestibular incisivo central–incisivo central	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre incisivo central derecho e incisivo central superior izquierdo, por vestibular.	M
12	CV/M1-M2	Cortical vestibular molar 1-molar	Punto a 7 mm desde el punto V/M1-M2 hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/M1-M2 y P/M1-M2.	D
13	CV/M1-P2	Cortical vestibular molar 1-premolar 2	Punto a 7 mm desde el punto V/M1-P2 hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/M1-P2 y P/M1-P2.	D
14	CV/P1-P2	Cortical vestibular premolar 1-premolar 2	Punto a 7 mm desde el punto V/P1-P2 hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/P1-P2 y P/P1-P2.	D
15	CV/P1-C	Cortical vestibular premolar 1–canino	Punto a 7 mm desde el punto V/P1-C hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/P1-C y P/P1-C.	D
16	CV/C-IL	Cortical vestibular canino–incisivo lateral	Punto a 7 mm desde el punto V/C-IL hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/C-IL y P/C-IL.	D
17	CV/IL-IC	Cortical vestibular incisivo lateral–incisivo central	Punto a 7 mm desde el punto V/IL-IC hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/IL-IC y P/IL-IC.	D

## Continuación Tabla 1.

18	CV/IC-IC	Cortical vestibular incisivo central–incisivo central	Punto a 7 mm desde el punto V/IC-IC hacia el fondo de vestíbulo, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/ICR-IC y P/ICR-IC.	M
19	P/M1-M2	Palatino molar 1-molar 2	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer molar y segundo molar, por palatino.	D
20	P/M1-P2	Palatino molar 1-premolar	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer molar y segundo premolar, por palatino.	D
21	P/P1-P2	Palatino premolar 1-premolar 2	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer premolar y segundo premolar, por palatino.	D
22	P/P1-C	Palatino premolar 1–canino	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre primer premolar y canino, por palatino.	D
23	P/C-IL	Palatino canino–incisivo lateral	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre canino e incisivo lateral, por palatino.	D
24	P/IL-IC	Palatino incisivo lateral–incisivo central	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre incisivo lateral e incisivo central, por palatino.	D
25	P/IC-IC	Palatino incisivo central–incisivo central	Punto en el extremo más oclusal del área/punto de contacto entre incisivo central derecho e incisivo central superior izquierdo, por palatino.	M
26	CP/M1-M2	Cortical palatina molar 1-molar 2	Punto a 7 mm desde el punto P/M1-M2 hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/M1-M2 y P/M1-M2, palatino.	D
27	CP/M1-P2	Cortical palatina molar 1-premolar 2	Punto a 7 mm desde el punto P/M1-P2 hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/M1-P2 y P/M1-P2, palatino.	D
28	CP/P1-P2	Cortical palatina premolar 1-premolar 2	Punto a 7 mm desde el punto P/P1-P2 hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/P1-P2 y P/P1-P2, palatino.	D
29	CP/ P1-C	Cortical palatina premolar 1–canino	Punto a 7 mm desde el punto P/P1-C hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/P1-C y P/P1-C, palatino.	D
30	CP/C-IL	Cortical palatina canino–incisivo lateral	Punto a 7 mm desde el punto P/C-IL hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/C-IL y P/C-IL, palatino.	D
31	CP/IL-IC	Cortical palatina incisivo lateral–incisivo central	Punto a 7 mm desde el punto P/IL-IC hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/IL-IC y P/IL-IC, palatino.	D
32	CP/IC-IC	Cortical palatina incisivo central–incisivo central	Punto a 7 mm desde el punto P/IC-IC hacia el paladar, siguiendo la dirección de la recta entre los <i>landmarks</i> V/IC-IC y P/IC-IC, palatino.	M
33	PAP	Papila incisiva	Punto ubicado en el centro de la papila incisiva.	M

\* *Abr.:* Abreviación del landmark; *M:* Medial; *D:* Derecha; *N°:* Número designado al landmark

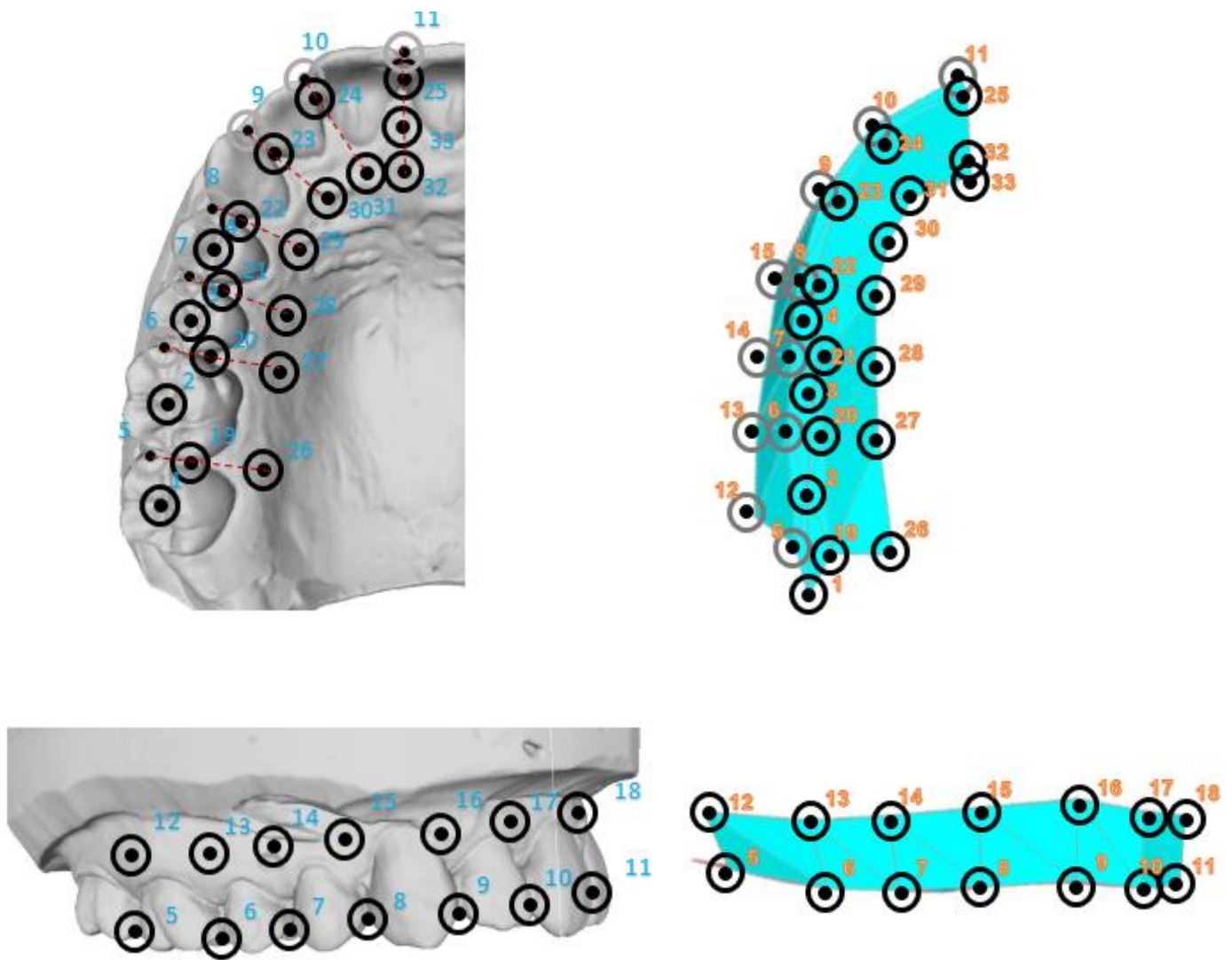


Figura 4. Vista ántero lateral y oclusal de los modelos del maxilar que muestra la posición de los *landmarks* definidos en Tabla 1. Al lado izquierdo se presentan los modelos en 3D correspondientes a los modelos de yeso tanto en una vista oclusal (arriba) y una vista ántero lateral (abajo). En el lado derecho se muestra un modelo en 3D representativo de las formas de la izquierda fabricado en base a los mismos *landmarks*, enumerados según Tabla 1.

## **8.5. Análisis**

Para el análisis de datos se utilizó el software MorphoJ (Klingenberg, 2011). Luego de digitalizar las 32 configuraciones de hitos, éstas fueron sometidas a un análisis generalizado de Procrustes (AGP). Primero, se centra cada configuración de hitos al origen, restando las coordenadas de su centroide, luego se escalan las configuraciones de hitos a tamaño de centroide (CS) =1 y finalmente se elige una configuración de referencia (la media) y se rotan para minimizar la suma de las distancias cuadradas entre hitos homólogos (Torrijo Boix, 2015). El AGP permite obtener nuevas configuraciones de hitos (coordenadas de Procrustes) y una configuración promedio. La forma de cada individuo puede diferir de la configuración promedio, y esta diferencia se mide en distancias de Procrustes. Este método permite minimizar las discrepancias de la forma dadas por el tamaño, posición y rotación, y las variables obtenidas pueden ser utilizadas posteriormente como variables dependientes en análisis estadísticos multivariados (Toro-Ibacache et al., 2010). Para todas las pruebas de hipótesis, se utilizó un alfa de 0,05.

### **8.5.1. Análisis preliminares**

Se utilizó la función de análisis de varianza (ANOVA) de Procrustes para estudiar el efecto del factor sexo sobre la morfología del hemiarco maxilar derecho de la muestra. El ANOVA es una prueba de hipótesis que busca cuantificar la varianza y comparar las medias de una variable continua en dos o más grupos independientes (Klingenberg & McIntyre, 1998).

Se realizó a su vez el ANOVA de Procrustes para estudiar el efecto del error de medición. El procedimiento se realizó sobre una muestra de 16 individuos. Se practicó la doble digitalización de hitos por el mismo operador (M. Hernández), en dos sesiones distintas, y se cuantificó la varianza interindividuos. Además, se evaluó mediante análisis discriminante el efecto del dimorfismo sexual.

### 8.5.2. Análisis exploratorios y confirmatorios

Para estudiar la variación de la forma del arco maxilar, se realizó primero un análisis de componentes principales (PCA). Este análisis muestra de manera decreciente y progresiva el patrón de covariación entre las variables de la forma (Slice, 2007), constituyendo los dos o tres primeros componentes principales (PC) la mayor porción de variación.

Mediante el uso de modelos 3D en formato .ply se visualizaron los cambios asociados a los PC. Para la descripción de las formas de los arcos dentales utilizaremos como guía de terminología las tres siguientes definiciones: los arcos dentales de tipo cuadrados, ovoides y estrechos o triangulares (Figura 6).

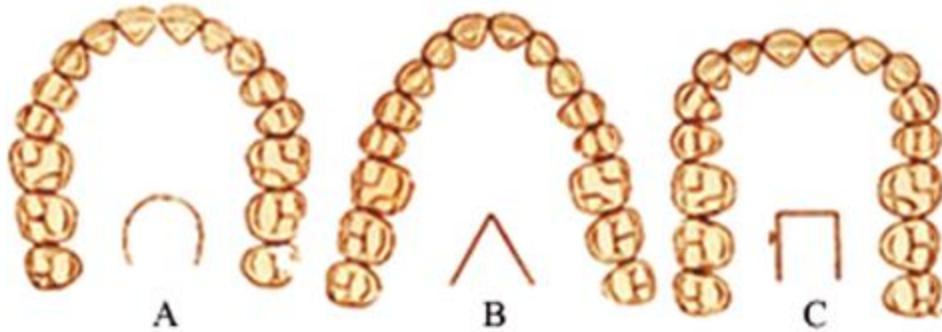


Figura 6. Guía de terminología usada para la descripción de los arcos dentales, se observa A: tipo ovoide; B: tipo estrechas o triangulares; C: tipo cuadrada.

Para poder cuantificar y caracterizar el grado de covariación entre la morfología del hemiarco maxilar derecho y la fuerza de mordida (FM), dicha fuerza tanto en MIC, lateralidad y protrusión, se realizó un análisis de *partial least squares* (PLS).

Todos los procedimientos se realizaron en las dependencias del Laboratorio de Investigación Traslacional Craneofacial de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.



## 9. RESULTADOS

### 9.1. Análisis preliminares

El resultado del ANOVA de Procusto para estudiar el efecto del error de medición, reveló que la variación de la forma del hemiarco maxilar derecho, debido al error de medición por la doble digitalización de hitos (*landmarks*), es significativamente menor a la variación debida a las diferencias intrínsecas entre los individuos (Tabla 2). En consecuencia, el error intraobservador no actúa como factor confundente en esta tesis.

Tabla 2. ANOVA de Procusto para 16 configuraciones de hitos originales y sus repeticiones. Valores de P estadísticamente significativos  $p < 0,05$ . SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrados medios; g.l.=grados de libertad; F: estadístico ANOVA de procusto.

<b>Efecto</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>g.l.</b>	<b>F</b>	<b>Valor de P</b>
Individual	0,10	$7,56 \times 10^{-5}$	1380	4,53	<0,0001
Error	0,02	$1,67 \times 10^{-5}$	1472		

Para estudiar si existe una diferencia significativa entre ambos sexos, las configuraciones de hitos del hemiarco maxilar derecho fueron sometidas al análisis de función discriminante (DFA). No existe diferencia estadísticamente significativa entre ambos sexos al realizar el DFA con 10.000 rondas de permutaciones (Tabla 3) por esta razón, no se considera la variable sexo como relevante en los siguientes análisis.

Tabla 3. Análisis de función discriminante (DFA) para hemiarco maxilar derecho.

<b>Distancia de Procusto</b>	<b>Valor de P</b>
0,04	0,99

## 9.2. Análisis exploratorios y confirmatorios

### 9.2.1. Análisis de componentes principales

En el PCA, los resultados muestran que los primeros seis componentes principales explican el 73,97% de la variación de la forma del hemiarco maxilar derecho. Los primeros seis componentes principales reúnen el mayor porcentaje de variación: PC1 explica un 22,57% de la variación de la forma; PC2 un 14,59%, PC3 un 11,86%, PC4 un 10,07%, PC5 un 8,58% y PC6 un 6,27%. (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del PCA de la forma del hemiarco maxilar derecho. PC=componente principal; VP= valor propio; % Var= porcentaje de la varianza total explicado por cada PC; %VA= porcentaje acumulado de la varianza.

PC	VP	%Var	%VA
PC1	8,31 x10 <sup>-4</sup>	22,57	22,57
PC2	5,37 x10 <sup>-4</sup>	14,59	37,17
PC3	4,36 x10 <sup>-4</sup>	11,86	49,03
PC4	3,71 x10 <sup>-4</sup>	10,07	59,11
PC5	3,16 x10 <sup>-4</sup>	8,58	67,70
PC6	2,30 x10 <sup>-4</sup>	6,27	73,97
PC7	2,25 x10 <sup>-4</sup>	6,13	80,10
PC8	1,66 x10 <sup>-4</sup>	4,53	84,64
PC9	1,37 x10 <sup>-4</sup>	3,73	88,37
PC10	1,21 x10 <sup>-4</sup>	3,29	91,66
PC11	1,04 x10 <sup>-5</sup>	2,82	94,49
PC12	9,41 x10 <sup>-5</sup>	2,55	97,05
PC13	7,08 x10 <sup>-5</sup>	1,92	98,97
PC14	3,77 x10 <sup>-5</sup>	1,02	100








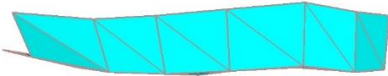
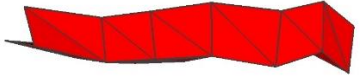
Con los datos obtenidos de los primeros seis componentes principales se realizó una reconstrucción en 3D de la morfología correspondiente a sus valores

extremos (es decir, el rango de variación morfológica de cada componente principal). Estas variaciones se describen respecto a la reconstrucción 3D del individuo promedio de toda la muestra.

#### **9.2.2.1 Morfología del hemiarco maxilar derecho. Primer componente principal**

El primer componente principal (PC1) explica un 22,57% de la varianza total. Las reconstrucciones 3D representan los cambios de la forma asociados a los valores extremos (positivos y negativos) de cada componente principal. Las principales variaciones del PC1 se encontraron en la forma del hemiarco y en el sector anterior del mismo. Los individuos en el extremo negativo del PC1 muestran una forma del hemiarco compatible con una forma ovoide, con el punto de contacto entre el incisivo central e incisivo lateral ubicado más hacia incisal. A su vez el punto de contacto entre el incisivo lateral y canino se encuentra más hacia cervical. Los individuos en el extremo positivo del PC1 presentan un hemiarco dental más alargado en sentido anteroposterior, con una forma del hemiarco dental compatible con una forma triangular, además presentan un punto de contacto entre el incisivo central y lateral en una posición más oclusal. Para ambas reconstrucciones en 3D no se aprecian grandes diferencias en el sector posterior desde una vista lateral. (Tabla 5)

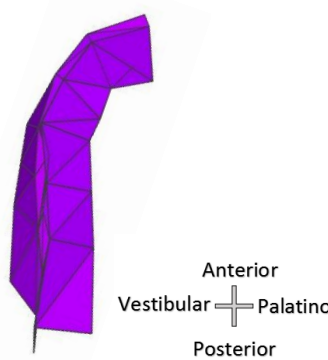
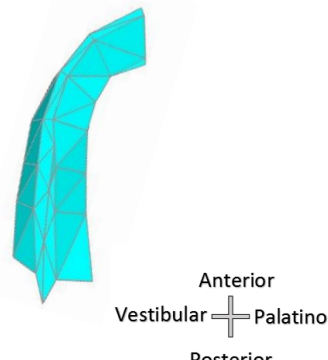
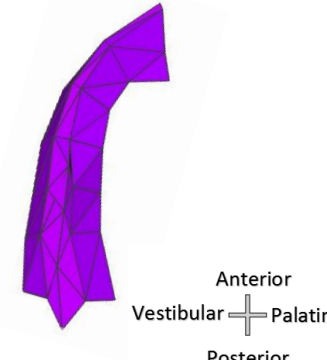
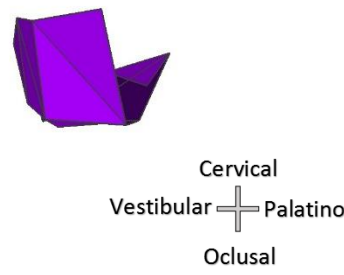
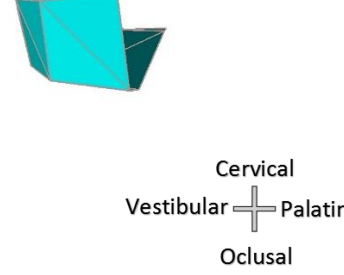
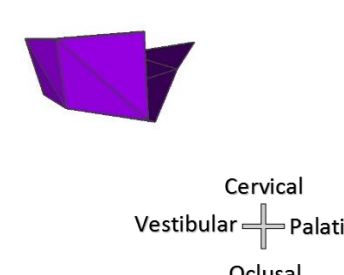
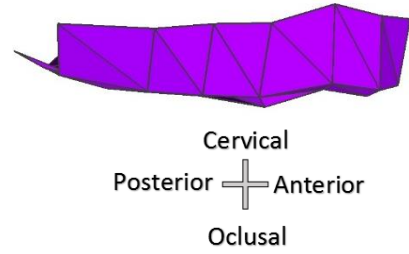
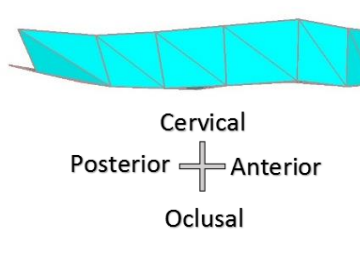
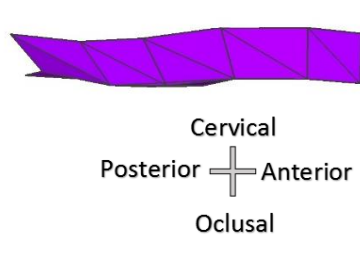
Tabla 5. Representación del PC1 mediante reconstrucciones en formato .ply mostrando los individuos extremos de la muestra como al individuo promedio.

PC1		
Valor -0,12	Valor promedio	Valor 0,08
 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>
 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>
 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>

### **9.2.2.2 Morfología del hemiarco maxilar derecho. Segundo componente principal**

El segundo componente principal (PC2) corresponde a un 14,59% de la varianza total. Las principales variaciones del PC2 se encontraron en la forma del hemiarco y en el ancho vestíbulo palatino del hemiarco dental en el sector de premolares y molares. Los individuos en el extremo negativo del PC2 muestran una forma del hemiarco compatible con una forma ovoide y presentan un menor tamaño vestíbulo palatino en los dientes tanto premolares y molares, el reborde alveolar presenta una mayor altura desde la visa lateral y más angosto respecto del promedio, además de un punto de contacto entre el incisivo lateral y canino más hacia cervical. Los individuos en el extremo positivo del PC2 presentan un hemiarco dental más alargado en sentido anteroposterior, con una forma del hemiarco dental compatible con una forma triangular, además de presentar la papila incisiva con mayor distancia respecto del punto de contacto del incisivo central con su homólogo y un ancho vestíbulo palatino de los dientes mayor respecto al promedio principalmente en premolares y molares (Tabla 6).

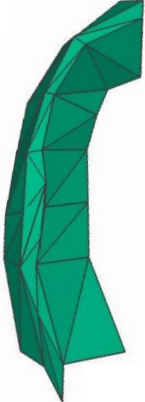
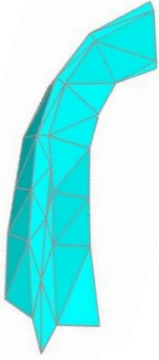
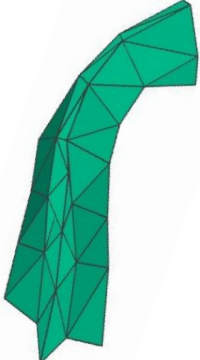


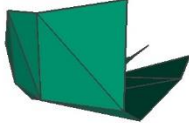
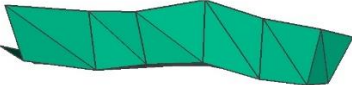

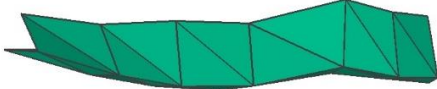
Tabla 6. Representación del PC2 mediante reconstrucciones en formato .ply mostrando los individuos extremos de la muestra como al individuo promedio.

PC2		
Valor -0,12	Valor promedio	Valor 0,08
 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>
 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>
 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>

### **9.2.2.3 Morfología del hemiarco maxilar derecho. Tercer componente principal**

El tercer componente principal (PC3) corresponde a un 11,86 % de la varianza total. Las principales variaciones del PC3 se encontraron en la forma del hemiarco y en la angulación de los dientes anteriores. Los individuos en el extremo negativo del PC3 muestran una forma del hemiarco compatible con una forma ovoide y presenta una angulación hacia palatino principalmente en el incisivo central, incisivo lateral y canino, además un punto de contacto entre el primer y segundo premolar más a cervical. Asimismo, desde una vista lateral se observa una curvatura dada por puntos de contacto más cervicales para canino y premolares. Los individuos en el extremo positivo del PC3 presentan una forma del hemiarco dental compatible con una forma triangular, la papila incisiva posee una mayor distancia respecto del punto de contacto del incisivo central con su homólogo, además, presentan una angulación hacia vestibular principalmente en el incisivo central, incisivo lateral y canino, por último, un punto de contacto entre el canino y primer premolar más a cervical. Asimismo, desde una vista lateral se observa una curvatura dada por puntos de contacto más cervicales del incisivo lateral y primer premolar (Tabla 7).

Tabla 7. Representación del PC3 mediante reconstrucciones en formato .ply mostrando los individuos extremos de la muestra como el individuo promedio.

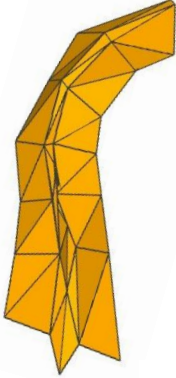

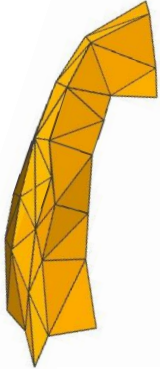
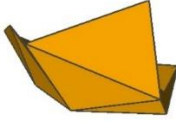

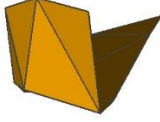
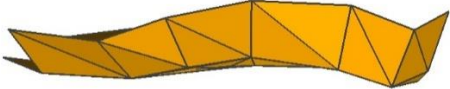


<b>PC3</b>		
Valor -0,12	Valor promedio	Valor 0,08
 Anterior Vestibular + Palatino Posterior	 Anterior Vestibular + Palatino Posterior	 Anterior Vestibular + Palatino Posterior
 Cervical Vestibular + Palatino Oclusal	 Cervical Vestibular + Palatino Oclusal	 Cervical Vestibular + Palatino Oclusal
 Cervical Posterior + Anterior Oclusal	 Cervical Posterior + Anterior Oclusal	 Cervical Posterior + Anterior Oclusal



#### **9.2.2.4 Morfología del hemiarco maxilar derecho. Cuarto componente principal**

El cuarto componente principal (PC4) corresponde a un 10,07% de la varianza total. Las principales variaciones del PC4 se encontraron en la forma del hemiarco y en una vista lateral de este. Los individuos en el extremo negativo del PC4 muestran una forma del hemiarco compatible con una forma ovoide y presentan una constricción vestíbulo-palatina en los dientes premolares, el reborde alveolar presenta una mayor altura en el sector anterior y está inclinado hacia vestibular, asimismo, desde una vista lateral se observa una curvatura dada por puntos de contacto más cervicales para canino y premolares. Los individuos en el extremo positivo del PC4 presentan un hemiarco dental más alargado en sentido anteroposterior, con una forma del hemiarco dental compatible con una forma triangular, asimismo, presentan la papila incisiva más distante respecto del punto de contacto del incisivo central con su homólogo, un ancho vestíbulo palatino de los dientes mayor respecto al promedio principalmente en premolares (Tabla 8).

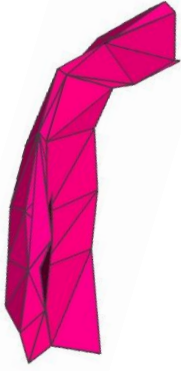

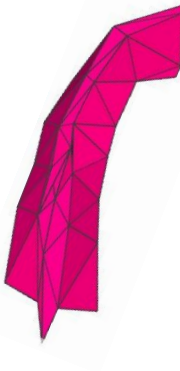

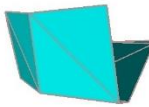

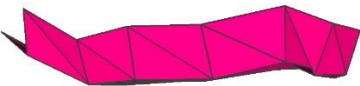
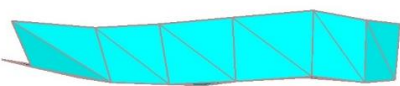

Tabla 8. Representación del PC4 mediante reconstrucciones en formato .ply mostrando los individuos extremos de la muestra como el individuo promedio.

PC4		
Valor -0,12	Valor promedio	Valor 0,08
 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>
 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>
 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>

### **9.2.2.5 Morfología del hemiarco maxilar derecho. Quinto componente principal**

El quinto componente principal (PC5) corresponde a un 8,58% de la varianza total. Las principales variaciones del PC5 se encontraron en la forma desde una vista lateral y en el ancho vestíbulo palatino del hemiarco dental en el sector anterior. Los individuos en el extremo negativo del PC5 muestran una forma del hemiarco compatible con una forma ovoide y presentan un menor tamaño vestíbulo palatino en los dientes incisivos, a su vez desde una vista lateral el punto de contacto entre incisivo lateral y canino es más cervical, pero en el sector posterior en el punto de contacto entre primer y segundo molar estaría ubicado más hacia oclusal. Los individuos en el extremo positivo del PC5 presentan un hemiarco dental más alargado en sentido anteroposterior, con una forma del hemiarco dental compatible con una forma ovoide sin mayores diferencias con el promedio desde un punto de vista oclusal, pero desde una vista lateral se observa un leve cambio dado por el punto de contacto entre el primer y segundo premolar más hacia oclusal respecto del promedio (Tabla 9).

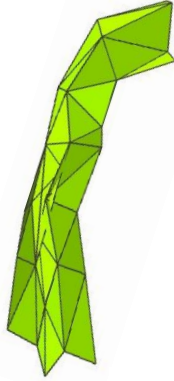

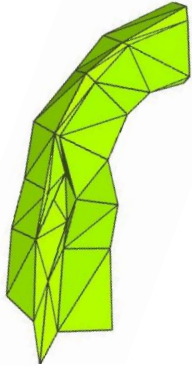
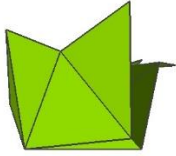


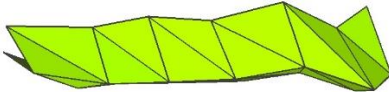

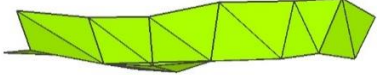
Tabla 9. Representación del PC5 mediante reconstrucciones en formato .ply mostrando los individuos extremos de la muestra como el individuo promedio.

PC5		
Valor -0,12	Valor promedio	Valor 0,08
 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>
 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>
 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>

#### **9.2.2.6 Morfología del hemiarco maxilar derecho. Sexto componente principal**

El sexto componente principal (PC6) corresponde a un 6,27% de la varianza total. Las principales variaciones del PC6 se encontraron en la forma vestíbulo palatina tanto del vestíbulo como del paladar, dando a entender diferencias en el ancho del proceso alveolar. Los individuos en el extremo negativo del PC6 muestran una forma del hemiarco compatible con una forma ovoide y presentan un proceso alveolar más angosto tanto en el sector anterior y posterior, con una inclinación del proceso alveolar hacia vestibular. Los individuos en el extremo positivo del PC6 presentan un hemiarco dental más alargado en sentido anteroposterior, con una forma del hemiarco dental compatible con una forma ovoide, un proceso alveolar menos alto y más ancho en todo el arco dental en comparación al promedio (Tabla 10).

Tabla 10. Representación del PC6 mediante reconstrucciones en formato .ply mostrando los individuos extremos de la muestra como el individuo promedio.

PC6		
Valor -0,12	Valor promedio	Valor 0,08
 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>
 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>
 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>

### 9.2.3.1 Análisis de covariación entre hemiarco maxilar derecho y la fuerza de mordida.

Para cuantificar el grado de covariación entre la morfología del hemiarco maxilar derecho respecto de la fuerza de mordida (FM), dicha FM incluiría tanto máxima intercuspidad (MIC), lateralidad y protrusión, en este caso FM en MIC y en lateralidad fue considerada como el promedio de los valores de ambos hemiarcos dentales. Con esto se realizó un análisis de cuadrados mínimos parciales (*Partial least squares*; PLS). Como una medida general de asociación entre morfología y FM, se proporciona el coeficiente RV, este es un análogo multivariado de la correlación al cuadrado (Escoufier, 1973). Toma valores de 0 (covarianza nula) a 1 (las variables son prácticamente idénticas). Para este caso el valor de RV fue de 0,36 dando una baja correlación entre FM y la forma del hemiarco maxilar derecho. Luego de 10.000 rondas de permutación, se proporciona la probabilidad de que ocurra la hipótesis nula de independencia entre morfología y FM. Los resultados obtenidos no fueron significativos ( $p > 0,05$ ), por lo que existe una independencia entre la morfología del hemiarco maxilar y FM. El bloque inicial de información contiene estadísticas para cada variable del PLS. En estas se incluyen los valores singulares (SV) y el valor de P de la prueba de permutación asociada, además de la correlación entre los puntajes de cada PLS para cada variable (en este caso corresponde a los valores de FM en cada posición), estos valores de P de la prueba de permutación asociada tampoco fueron significativos ( $p > 0,05$ ).

Tabla 11. PLS del hemiarco maxilar respecto a la fuerza de mordida.

Grupo	PLS	SV	Valor de P	Covariación total (%)	Correlación	Valor de P	RV	Valor de P
Hemiarco maxilar contra FM	PLS 1	2,14	0,08	70,97	0,77	0,63	0,36	0,10
	PLS 2	1,21	0,43	22,71	0,76	0,56		
	PLS 3	0,63	0,56	6,31	0,74	0,56		

Al no tener un grado de covariación estadísticamente significativo, ni un valor de P significativo tanto para la hipótesis nula de independencia entre las FMs en conjunto y la forma del hemiarco maxilar derecho, se analizó la covariación entre el hemiarco maxilar derecho y cada tipo de FM de forma independiente.

### 9.2.3.2 Análisis de covariación entre hemiarco maxilar derecho y las diferentes fuerzas de mordida promedio en MIC, protrusión y lateralidad.

Para cuantificar el grado de covariación entre la morfología del hemiarco maxilar derecho respecto de las fuerzas de mordida promedio en MIC, protrusión y lateralidad, se realizó un análisis de cuadrados mínimos parciales (*Partial least square*; PLS). Para todos los casos analizados se analizó la correlación existente y luego de 10.000 rondas de permutación, se calculó el valor de P para probar la hipótesis de nula independencia y si es significativa ( $p > 0,05$ ) y el valor RV correspondiente. Para el caso de MIC existió una baja correlación entre la FM y la forma del hemiarco maxilar derecho, con un valor de P no fue significativo y un valor de RV de 0,67. En el siguiente caso de protrusión existió una baja correlación entre la FM y la forma del hemiarco maxilar derecho con un valor de P no significativo y un valor de RV de 0,77. En el último caso analizado correspondiente a lateralidad existió una mayor correlación entre la FM promedio y la forma del hemiarco maxilar derecho, con un valor de RV de 0,80 y un valor de P estadísticamente significativo 0,02 ( $p < 0,05$ ).

Tabla12. PLS del hemiarco maxilar respecto a la fuerza de mordida promedio en MIC, protrusión y lateralidad respectivamente.

Variable 1	Variable 2	PLS			
		SV	Correlación	RV	Valor de P
Hemiarco maxilar	FM en Promedio MIC	1,17	0,67	0,18	0,53
Hemiarco maxilar	FM en Protrusión	1,20	0,77	0,18	0,51
Hemiarco maxilar	FM en Promedio lateralidad	1,90	0,80	0,32	0,02

Puesto que la forma del hemiarco maxilar y FM promedio en lateralidad mostraron una mayor correlación respecto a las otras FMs comparadas y un valor de P estadísticamente significativo, se decidió mostrar los cambios morfológicos asociados para los individuos de mayor y menor fuerza de mordida promedio en



lateralidad. (Tabla 12). Primero se graficaron los datos mediante los valores del PLS (que no corresponden a los valores originales de las variables sino a valores derivados del análisis) para hacer más fácil la visualización del grado de covariación de la forma del hemiarco maxilar con la FM promedio en lateralidad (Figura 7).

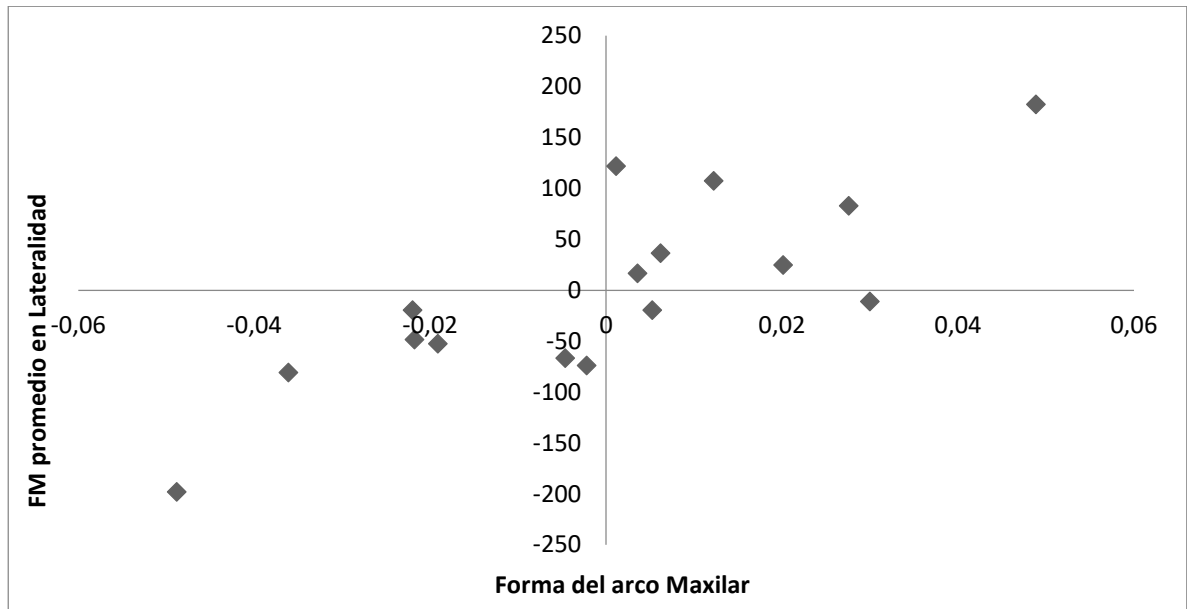
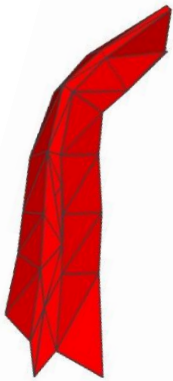

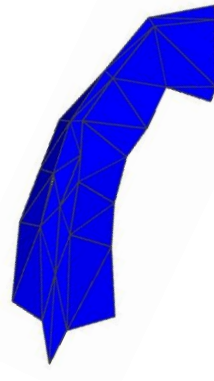
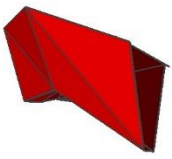


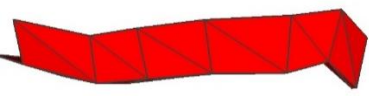
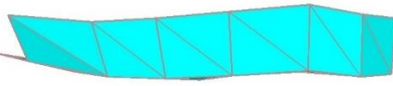
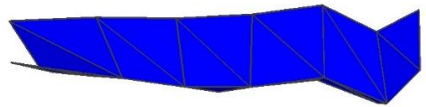


Figura 7. Gráfico que representa el grado de covariación de la forma del hemiarco con la FM promedio en lateralidad. Valores tanto en eje X como en eje Y corresponden a valores que representan la forma y los rangos de variación de FM respectivamente.

La variación morfológica presentada por el PLS del hemiarco maxilar derecho y la FM promedio en lateralidad entregaron como resultado que los individuos con una menor FM promedio en lateralidad presentarían un arco dental maxilar más alargado, con una forma del hemiarco compatible con una forma triangular, un reborde alveolar de mayor altura y delgado sobre todo en el sector anterior; además desde una vista lateral el punto de contacto entre el incisivo central y su homólogo estaría más hacia oclusal pero el punto de contacto entre el incisivo central y el incisivo lateral por lo contrario estaría más hacia cervical. Por otro lado los individuos con una mayor FM promedio en lateralidad presentarían un arco dental maxilar superior más corto en sentido antero posterior y más ancho en sentido lateral,

compatible con una forma ovoide; un reborde alveolar de menor altura, desde un punto de vista lateral, al contrario del otro caso, encontrarían un punto de contacto entre el incisivo central y su homólogo más cervical y el punto de contacto entre el incisivo lateral y el central estaría más hacia oclusal (Tabla 13).

Tabla 13. Muestra las reconstrucciones en 3D en formato .ply mostrando las características morfológicas para individuos de baja FM promedio en lateralidad (valor -0,1) y de los individuos de mayor FM promedio en lateralidad (valor 0,1).

Reconstrucción en 3D obtenida del PLS		
Valor -0,1	Valor promedio	Valor 0,1
 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>	 <p>Anterior Vestibular + Palatino Posterior</p>
 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>	 <p>Cervical Vestibular + Palatino Oclusal</p>
 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>	 <p>Cervical Posterior + Anterior Oclusal</p>

## 10. DISCUSIÓN

La variación de la morfología del arco dental ha sido ampliamente estudiada por la comunidad científica. Esta variación se debe tanto a factores genéticos como a las fuerzas mecánicas y restricciones anatómicas entre las partes involucradas; también se sabe que parte de las fuerzas a las que está sometido el cráneo se deben a la acción muscular, la cual a través de la masticación genera cargas y tensiones que pueden inducir cambios morfológicos en las diferentes estructuras (Bruner, 2007).

Este trabajo se enfocó en el arco maxilar (definido aquí como el conjunto del arco dental más el proceso alveolar) y en cómo la carga masticatoria puede modificar la morfología de este. Para esto, se utilizó como objeto representativo de la forma del arco maxilar el hemiarco. Se realizaron diferentes análisis con morfometría geométrica, la cual permitió describir la forma del arco maxilar no respecto a sus dimensiones, sino que tomando en cuenta la relación espacial entre sus partes. Esto permitió visualizar cómo varía la estructura y luego determinar si existe una relación entre la forma del hemiarco maxilar y la fuerza de mordida. La hipótesis de este estudio plantea que existe una relación entre la magnitud de la fuerza de mordida y la forma del hemiarco maxilar en la población actual.

El análisis de la variación general de la forma no evidencia una separación clara de los individuos por sexo según las configuraciones de hitos del hemiarco maxilar derecho, hecho que se contrapone a lo que se ha concluido en otros estudios (Escalante et al., 2020), quien postula un 83,72% de precisión en la estimación de dimorfismo sexuales en bóvedas palatinas de los cráneos estudiados, utilizando como parámetro de comparación el diámetro entre los bordes internos de las cavidades de los segundos molares. Esta metodología, sin embargo, en el presente estudio no es aplicada, puesto que utiliza morfometría geométrica para el análisis, eliminando las diferencias por tamaño de las muestras, y tomando como variable principal la forma de estas.

Agurto en 2011 menciona que existen variaciones en la distribución de las formas de arco, tanto en una persona como en la población general, diferencias principalmente dadas por su ancestría (Agurto S & Sandoval V, 2011). En el

presente estudio las formas del hemiarco dental son concordantes con las reportadas en la literatura siendo las más frecuentes la ovoide y la triangular. En el año 2011, Bayome mostró que la forma del arco maxilar se distribuye entre triangular, ovoide y cuadrado, siendo la forma cuadrada poco frecuente (Bayome et al., 2011). De forma similar, en otro estudio realizado por Pérez ese mismo año, se encontraron resultados similares, mencionando que la forma principal es la ovoide, seguida por la triangular y en menor cantidad la cuadrada (Covarrubias et al., 2011).

Al analizar y comparar los resultados del análisis de componentes principales (PCA) obtenidos en la presente tesis, se puede observar que las formas del hemiarco maxilar en los individuos varían entre formas ovoides y triangulares. Al analizar la morfología promedio encontrada en todos los PC, en general se observa que el patrón que más se repite es la forma ovoide, no encontrándose en este estudio formas de arco maxilar cuadradas, lo cual se correlaciona con la evidencia científica que se posee en el área.

Según los resultados obtenidos del PLS para el análisis de covariación entre la forma del hemiarco maxilar derecho y la fuerza de mordida, se obtuvo una baja covariación entre la FM y la forma del hemiarco, con valores de P estadísticamente no significativos (Tabla 11). Se realizó un nuevo análisis de covariación entre el hemiarco maxilar derecho para cada tipo de FM de forma independiente y se obtuvo una baja covariación en general entre la FM promedio y la forma del hemiarco derecho, y valores de P no significativos, con excepción de la FM promedio en lateralidad, la cual arrojó una alta correlación, con un valor de P estadísticamente significativo (Tabla 12).

Evidencia científica respalda la relación entre malos hábitos orales como onicofagia, succión no nutritiva, interposición de labio, respiración bucal, entre otras, y su relación con la modificación del arco dental; teniendo esta certeza se podría plantear si existe una relación entre malos hábitos orales y variaciones de la fuerza de mordida, particularmente en movimientos excéntricos.

Thongudomporn mencionó que la relación entre la FM y medidas del hueso alveolar ha sido estudiada principalmente usando criterios microscópicos y se ha demostrado que cuando la función masticatoria se incrementa, el hueso se fortalece

por medio de incremento de la aposición permitiendo que el hueso soporte mejor las fuerzas, pero también mencionaron que una excesiva FM produce deformaciones por esfuerzo en el hueso alveolar y alrededor de él. (Thongudomporn et al., 2009); estos resultados se condicen con lo observado en la Tabla 13, donde sujetos con una menor FM promedio en lateralidad, poseen un proceso alveolar más angosto y quienes obtuvieron un mayor FM promedio en lateralidad tenía un proceso alveolar más ancho en sentido vestíbulo palatino. Dicho cambio se observa principalmente en el sector anterior hasta premolares.

En otra investigación, Miyaura estableció que en adultos, sí hay una correlación positiva entre la FM y la altura del proceso alveolar (Miyaura et al., 2000), resultados que no son posibles de comprobar en esta tesis, debido a que los *Landmarks* fueron colocados a una distancia de 7 mm desde el punto de contacto, lo cual no permite conocer la verdadera altura del proceso alveolar.

Un factor importante que se asocia con la disfunción temporomandibular es el bruxismo. Durante mucho tiempo se aseguró que la FM en sujetos bruxistas era mucho mayor que en los no bruxistas; sin embargo, en 2005 Cosme concluyó que no había diferencias entre ambos grupos. Estas aparentes contradicciones pueden ser debidas a la severidad del bruxismo o a los criterios diagnósticos empleados (Cosme et al., 2005). Con los antecedentes anteriores mencionados por Cosme es difícil dilucidar si el bruxismo tuvo alguna incidencia en los resultados obtenidos en este estudio.

Dentro de las limitaciones que se encontraron en el estudio se cuenta el tamaño muestral que posee solo 16 pacientes, lo cual podría causar alguna limitación en el rango de morfologías de los hemiarcos maxilares encontrados, sobre todo considerando que en este estudio no se obtuvieron arcos dentales cuadrados.

Como análisis final, es importante destacar la importancia de este tipo de investigación en el conocimiento de ciencias básicas odontológicas, puesto que nos presenta las bases para futuras investigaciones, planteando nuevas interrogantes como la importancia del análisis de la FM de pacientes que serán sometidos a tratamientos de ortodoncia. Esto ya que como plantea Felton, tras su investigación en este campo concluyó que el 70% de los casos en que se hacen cambios en la forma de arco durante el tratamiento de ortodoncia tienden a presentar recidiva y

volver a su forma normal. (Felton et al., 1987). Reyes a su vez en el año 2011 realizó un estudio comparativo de medidas transversales de población española, proponiendo que la poca personalización de arcos preformados utilizados en los tratamientos de ortodoncia con respecto a la forma de arco de cada paciente puede subir la probabilidad de recaída y dar una sonrisa poco natural (Del Socorro et al., 2011). Esto nos plantea que tanto la FM en lateralidad, como las fuerzas parafuncionales, estarían influenciando la forma de los arcos dentales, algo que los resultados de esta tesis apoyan al menos parcialmente. Un análisis de una muestra con más individuos ofrecería quizás más información al respecto.

## 11. CONCLUSIONES

1. La forma de arco dental de tipo ovoide es la más frecuente.
2. Los hitos de mayor participación en la variación de la forma del hemiarco superior se encontrarían en el sector anterior y el sector de premolares, y la menor variación morfológica se encontraría en el sector circundante a los molares.
3. El análisis de covariación entre la forma del hemiarco maxilar derecho y la fuerza de mordida solo es estadísticamente significativo en la FM promedio en lateralidad, donde arrojó una alta correlación con la forma del hemiarco maxilar.
4. Pacientes con una mayor FM presentan un proceso alveolar más ancho, por lo contrario, pacientes con una menor FM tienen un hueso alveolar más estrecho, estas diferencias se observan principalmente en el sector anterior hasta el sector de premolares.



## 12. REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS

- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2013). A field comes of age: Geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix*, 24(1), 7–14. <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6283>
- Agrawal, K. R., Lucas, P. W., Prinz, J. F., & Bruce, I. C. (1997). Mechanical properties of foods responsible for resisting food breakdown in the human mouth. *Archives of Oral Biology*, 42(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0003-9969\(96\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9969(96)00102-1)
- Agurto S, P., & Sandoval V, P. (2011). Morfología del Arco Maxilar y Mandibular en Niños de Ascendencia Mapuche y no Mapuche. *International Journal of Morphology*, 29(4), 1104–1108. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022011000400005>
- Andersen, T. L., Abdelgawad, M. E., Kristensen, H. B., Hauge, E. M., Rolighed, L., Bollerslev, J., Kjærsgaard-Andersen, P., & Delaisse, J.-M. (2013). Understanding Coupling between Bone Resorption and Formation. *The American Journal of Pathology*, 183(1), 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2013.03.006>
- Bayome, M., Sameshima, G. T., Kim, Y., Nojima, K., Baek, S. H., & Kook, Y. A. (2011). Comparison of arch forms between Egyptian and North American white populations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(3). <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.11.012>
- Bellido, T. (2014). Osteocyte-Driven Bone Remodeling. *Calcified Tissue International*, 94(1), 25–34. <https://doi.org/10.1007/s00223-013-9774-y>
- Bilt, Andries van der. (2002). Human oral function: a review. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, 1(1), 7–18. <https://doi.org/10.20396/bjos.v1i1.8640964>
- Bonwill, W. (1985). *Geometrical and mechanical laws of articulation: Anatomical circulation*. (Tr Odont S).
- Bruner, E. (2007). Cranial shape and size variation in human evolution: Structural and functional perspectives. *Child's Nervous System*, 23(12), 1357–1365. <https://doi.org/10.1007/s00381-007-0434-2>
- Chuck, G. (1934). Ideal Arch Form. *Angle Orthod.*, 4((4)), 312–327.

- Corruccini, R. S. (1984). An epidemiologic transition in dental occlusion in world populations. *American Journal of Orthodontics*, 86(5), 419–426. [https://doi.org/10.1016/S0002-9416\(84\)90035-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9416(84)90035-6)
- Cosme, D. C., Baldisserotto, S. M., Canabarro, S. de A., & Shinkai, R. S. (2005). Bruxism and voluntary maximal bite force in young dentate adults. *The International journal of prosthodontics*, 18(4), 328–332. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16052788>
- Covarrubias, F. S. P., García, A. R. R., Gutiérrez, R. R., & Orozco, S. H. A. (2011). Estudio comparativo de formas de arco dental en población nayarita utilizando una plantilla convencional y una plantilla propuesta. *Oral*, 12(36), 666–668.
- Crittenden, A. N., & Schnorr, S. L. (2017). Current views on hunter- gatherer nutrition and the evolution of the human diet. *American Journal of Physical Anthropology*, 162(S63), 84–109. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23148>
- Del Socorro, Y., Maldonado, R., Hernán, S., Orozco, A., Feliz, J., Villaseñor, R., Fabián, J., Rojo, G., Rosa, A., & García, R. (2011). Comparison of the Mayoral cross-sectional analysis with a population of Nayarit. En *Oral* (Vol. 12, Número 39).
- Delaisse, J.-M. (2014). The reversal phase of the bone-remodeling cycle: cellular prerequisites for coupling resorption and formation. *BoneKEy Reports*, 3. <https://doi.org/10.1038/bonekey.2014.56>
- Díaz Muñoz, A., & Manríquez Soto, G. (2014). Skeletodental Diagnosis Using a Geometric Morphometric Approach. *International journal of odontostomatology*, 8(1), 05–11. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2014000100001>
- Escalante, K. J., Suárez-Ponce DDS, MSc, PhD, D. G., & Velezmoro-Montes DDS, MSc, Y. W. (2020). Sexual Dimorphism Via Palatal Vault Morphometric Analysis on A Sample Peruvian Population. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 217–225. <https://doi.org/10.15517/ijds.2020.40175>
- Escobar, S. A., Marín, J. E., & Saldarriaga, A. (2000). Relación entre la forma del hueso basal, la forma del arco dentinario y el apiñamiento mandibular. Parte I. *CES Odontología / Instituto de Ciencias de la Salud*, 13(2), 25–31. <https://doi.org/10.21615/729>
- Escoufier, Y. (1973). Le Traitement des Variables Vectorielles. *Biometrics*, 29(4),

751. <https://doi.org/10.2307/2529140>

- Eyquem, A. P., Kuzminsky, S. C., Aguilera, J., Astudillo, W., & Toro-Ibacache, V. (2019). Normal and altered masticatory load impact on the range of craniofacial shape variation: An analysis of pre-Hispanic and modern populations of the American Southern Cone. *PLOS ONE*, *14*(12), e0225369. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225369>
- Felton, J. M., Sinclair, P. M., Jones, D. L., & Alexander, R. G. (1987). A computerized analysis of the shape and stability of mandibular arch form. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *92*(6), 478–483. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(87\)90229-0](https://doi.org/10.1016/0889-5406(87)90229-0)
- Frost, H. M. (2004). A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *The Angle orthodontist*, *74*(1), 3–15. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(2004\)074<0003:AUOBPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(2004)074<0003:AUOBPA>2.0.CO;2)
- 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. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20161>
- Graber, L., Vig, K., Vanarsdall, R., & Huang, G. (2017). *Ortodoncia - Principios y Técnicas actuales* (6° Edición). 24 de julio de 2017. <https://www.elsevier.com/books/ortodoncia/graber/978-84-9113-139-7>
- Hawley, C. A. (1905). Determination of the Normal Arch, and its Application to Orthodontia. *The Dental cosmos; a monthly record of dental science*. [Vol. 47], *47*(5), 541–552. <http://name.umdl.umich.edu/0527912.0047.001>
- He, T., Stavropoulos, D., Hagberg, C., Hakeberg, M., & Mohlin, B. (2013). Effects of masticatory muscle training on maximum bite force and muscular endurance. *Acta Odontologica Scandinavica*, *71*(3–4), 863–869. <https://doi.org/10.3109/00016357.2012.734411>
- Hombre-Morgado, R., & Castro Montero, E. (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. *Repositorio Uchile*, Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121381>.
- Joondeph, D. R., Riedel, R. A., & Moore, A. W. (1970). Pont's index: a clinical evaluation. *The Angle orthodontist*, *40*(2), 112–118.

- [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1970\)040<0112:PIACE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1970)040<0112:PIACE>2.0.CO;2)
- Kieser, J. A., Bernal, V., Neil Waddell, J., & Raju, S. (2007). The uniqueness of the human anterior dentition: a geometric morphometric analysis. *Journal of forensic sciences*, *52*(3), 671–677. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00403.x>
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric Morphometrics of Developmental Instability: Analyzing Patterns of Fluctuating Asymmetry with Procrustes Methods. *Evolution*, *52*(5), 1363. <https://doi.org/10.2307/2411306>
- Klingenberg, C. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, *11*(2), 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- Kular, J., Tickner, J., Chim, S. M., & Xu, J. (2012). An overview of the regulation of bone remodelling at the cellular level. *Clinical Biochemistry*, *45*(12), 863–873. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2012.03.021>
- Leighton, B. C. (2007). The early signs of malocclusion. *The European Journal of Orthodontics*, *29*(Supplement 1), i89–i95. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjl099>
- Lieberman, D. E. (2011). *The Evolution of the Human Head* (1<sup>o</sup> Edición). Harvard University Press. <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674046368>
- Makedonska, J., Wright, B. W., & Strait, D. S. (2012). The Effect of Dietary Adaption on Cranial Morphological Integration in Capuchins (Order Primates, Genus *Cebus*). *PLoS ONE*, *7*(10), e40398. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040398>
- Meleo, D., Bedini, R., Pecci, R., Mangione, F., & Pacifici, L. (2012). Microtomographic and morphometric characterization of a bioceramic bone substitute in dental implantology. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, *48*(1), 59–64. [https://doi.org/10.4415/Ann\\_12\\_01\\_10](https://doi.org/10.4415/Ann_12_01_10)
- 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*, *24*(1), 59–66. <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6369>
- Miyaura, K., Morita, M., Matsuka, Y., Yamashita, A., & Watanabe, T. (2000).

- Rehabilitation of biting abilities in patients with different types of dental prostheses. *Journal of Oral Rehabilitation*, 27(12), 1073–1076. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2000.00620.x>
- Monteiro, C. A., Levy, R. B., Claro, R. M., Castro, I. R. R. de, & Cannon, G. (2010). A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cadernos de Saúde Pública*, 26(11), 2039–2049. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2010001100005>
- Moorrees, C. F. A., Fanning, E. A., & Hunt, E. E. (1963). Age Variation of Formation Stages for Ten Permanent Teeth. *Journal of Dental Research*, 42(6), 1490–1502. <https://doi.org/10.1177/00220345630420062701>
- Morales, N., & Toro-Ibacache, V. (2018). La Transición a la Agricultura y la Industrialización Cambiaron la Cara del Ser Humano. ¿Puede el Vegetarianismo ser un Nuevo Factor de Cambio?. Revisión de la Literatura. *International Journal of Morphology*, 36(1), 35–40. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022018000100035>
- Neff, C. W. (1957). The Size Relationship Between the Maxillary and Mandibular Anterior Segments of the Dental Arch. *The Angle Orthodontist*, 27(3), 138–147. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1957\)027<0138:TSRBTM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1957)027<0138:TSRBTM>2.0.CO;2)
- Netter, F. H. (2003). *Atlas de Anatomía Humana* (5<sup>o</sup> Edición). <https://doi.org/9788491136552>
- Noback, M. L., & Harvati, K. (2015). Covariation in the Human Masticatory Apparatus. *The Anatomical Record*, 298(1), 64–84. <https://doi.org/10.1002/ar.23067>
- Proff, P., & Römer, P. (2009). The molecular mechanism behind bone remodelling: a review. *Clinical Oral Investigations*, 13(4), 355–362. <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0268-2>
- Raggatt, L. J., & Partridge, N. C. (2010). Cellular and Molecular Mechanisms of Bone Remodeling. *Journal of Biological Chemistry*, 285(33), 25103–25108. <https://doi.org/10.1074/jbc.R109.041087>
- Rouvière, H., Delmas, V., & Delmas, A. (2005). *Anatomía Humana Descriptiva, topográfica y funcional. Tomo 1. Cabeza y cuello* (11<sup>o</sup> Edición). <https://www.elsevier.com/books/anatomia-humana-descriptiva-topografica-y->

funcional-tomo-1-cabeza-y-cuello/unknown/978-84-458-1313-3

- Sellers, W. I., & Crompton, R. H. (2004). Using sensitivity analysis to validate the predictions of a biomechanical model of bite forces. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 186(1), 89–95. [https://doi.org/10.1016/S0940-9602\(04\)80132-8](https://doi.org/10.1016/S0940-9602(04)80132-8)
- Sillman, J. H. (1964). Dimensional changes of the dental arches: Longitudinal study from birth to 25 years. *American Journal of Orthodontics*, 50(11), 824–842. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(64\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0002-9416(64)90040-5)
- Singh, G. D., Levy-Bercowski, D., & Santiago, P. E. (2005). Three-Dimensional Nasal Changes following Nasoalveolar Molding in Patients with Unilateral Cleft Lip and Palate: Geometric Morphometrics. *The Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 42(4), 403–409. <https://doi.org/10.1597/04-063.1>
- Slice, D. E. (2007). Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36(1), 261–281. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.34.081804.120613>
- Terhune, C. E., Cooke, S. B., & Otárola-Castillo, E. (2015). Form and Function in the Platyrrhine Skull: A Three-Dimensional Analysis of Dental and TMJ Morphology. *The Anatomical Record*, 298(1), 29–47. <https://doi.org/10.1002/ar.23062>
- Thongudomporn, U., Chongsuivatwong, V., & Geater, A. (2009). The effect of maximum bite force on alveolar bone morphology. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2008.01430.x>
- Toro-Ibacache, 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. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000400001>
- Toro-Ibacache, V., & O'Higgins, P. (2016). The Effect of Varying Jaw-elevator Muscle Forces on a Finite Element Model of a Human Cranium. *The Anatomical Record*, 299(7), 828–839. <https://doi.org/10.1002/ar.23358>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2015.03.002>
- Torrijo Boix, S. (2015). *Factores evolutivos y ecológicos en la diversificación*

*fenotípica dental de poblaciones humanas modernas a través de técnicas de Morfometría Geométrica* [Universidad de Alicante].  
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/69053>

- Van der Bilt, A., Engelen, L., Pereira, L. J., van der Glas, H. W., & Abbink, J. H. (2006). Oral physiology and mastication. *Physiology & Behavior*, *89*(1), 22–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.01.025>
- Vidaurre, F. (2018). *Estudio mediante análisis de elementos finitos de la diferencia en la respuesta mecánica craneofacial de individuos que difieren en la intensidad y en el tipo de carga masticatoria*. Universidad de Chile.
- von Cramon-Taubadel, N. (2011). The relative efficacy of functional and developmental cranial modules for reconstructing global human population history. *American Journal of Physical Anthropology*, *146*(1), 83–93.  
<https://doi.org/10.1002/ajpa.21550>
- Witzel, U., & Preuschoft, H. (2002). Function-dependent shape characteristics of the human skull. *Anthropologischer Anzeiger*, *60*(2), 113–135.  
<https://doi.org/10.1127/anthranz/60/2002/113>
- Xiao, W., Wang, Y., Pacios, S., Li, S., & Graves, D. T. (2016). Cellular and Molecular Aspects of Bone Remodeling. *Front Oral Biol*, *18*, 9–16.  
<https://doi.org/10.1159/000351895>

## 13.ANEXOS

### Anexo 1. Consentimiento informado en alemán

#### Patientenaufklärung

##### **Form und Funktion des menschlichen Schädels: Zusammenhang zwischen Schädelform, Zahnbogenform, funktioneller Bewegungskapazität und Beißkraft**

Sehr geehrte Studienteilnehmerin, sehr geehrter Studienteilnehmer,

eine bessere Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Schädelform und Kaufunktion ist für die Zahnmedizin und Kieferorthopädie von großer Bedeutung. Das Ziel dieser Studie ist, diesen Zusammenhang zu beschreiben und zu erforschen. Dazu möchten wir die Schädel- und Zahnbogenform und deren Zusammenhänge mit der Bewegungskapazität des Unterkiefers sowie der maximalen Beißkraft untersuchen.

Hierfür wird Ihr Gesicht mittels eines fotografischen Verfahrens dreidimensional aufgenommen. Zur Erfassung der Zahnbogenform werden der Ober- und Unterkiefer konventionell abgeformt. Die Bewegungskapazität Ihres Unterkiefers wird mit Wachplatten registriert und die maximale Beißkraft mit einem Beißkraftnehmer gemessen. Anschließend analysieren wir die Daten mit Spezialsoftware. Ihre Angaben unterliegen selbstverständlich der Schweigepflicht. Die Untersuchung nimmt im Regelfall 2 Stunden in Anspruch.

Wir möchten die erhobenen Befunde *wissenschaftlich* auswerten. Durch Ihr Einverständnis, die Befunde einer wissenschaftlichen Auswertung zugänglich zu machen, helfen Sie mit, dass wir die Zusammenhänge zwischen Schädelform und Kaufunktion besser verstehen.

Falls Sie Fragen zu dieser Untersuchung haben, richten Sie diese bitte an die beiden Leiter dieser Studie:

Dr. med. dent. Oliver Schierz  
Universitätsklinikum Leipzig AöR  
Department für Kopf- und Zahnmedizin  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und  
Werkstoffkunde  
Liebigstraße 12, Haus 1, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 – 9721300  
Fax.: 0341 – 9721309  
E-Mail: oliver.schierz@medizin.uni-leipzig.de

Dr. Viviana Toro-Ibacache, DDS, MSc, PhD  
Max Planck Institut für Evolutionäre  
Anthropologie  
Abteilung für Human Evolution  
Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 - 3550 87  
Facultad de Odontología Universidad de Chile  
Sergio Livingstone Pohlhammer 943  
Independencia, Santiago de Chile.  
E-Mail: mtoroibacache@odontologia.uchile.cl

Versicherungsobliegenheiten:

Bedingt durch die hohen Kräfte bei der Beißkraftmessung kann eine Zahnschädigung nicht vollständig ausgeschlossen werden. Deshalb haben wir für Sie eine Versicherung abgeschlossen. Melden Sie bitte jede Verschlechterung des Gesundheitszustandes unverzüglich dem Studienleiter, welcher beurteilt, ob es sich um eine Gesundheitsschädigung handelt, die als Folge der klinischen Prüfung eingetreten sein könnte. Im Schadensfall ermächtigen Sie die behandelnden Ärzte dem Versicherer auf Verlangen Auskunft zu erteilen.



## **Einverständniserklärung**

Ich wurde über die Ziele der Studie *Form und Funktion des menschlichen Schädels: Zusammenhang zwischen Schädelform, Zahnbogenform, funktioneller Bewegungskapazität und*

*Beißkraft* durch ..... aufgeklärt.

Ich bin mit der Speicherung und mit der pseudonymen Bearbeitung, der im Rahmen der Studie erhobenen Daten zur wissenschaftlichen Auswertung, einverstanden. Ich kann jederzeit ohne Angabe von Gründen das Untersuchungsprogramm abbrechen, ohne dass mir daraus medizinische oder anderweitige Nachteile entstehen.

Name, Vorname .....

Leipzig, .....

Unterschrift des Teilnehmers: .....

## Anexo 2. Traducción simple del consentimiento informado

### Traducción simple del Consentimiento Informado

#### Información al Paciente

*Forma y función del cráneo humano: relación entre la forma del cráneo, la forma del arco, la capacidad de movimiento funcional y la fuerza de mordida*

Estimado y estimada participante del estudio,

Una mejor comprensión de la relación entre la forma del cráneo y la función de masticación es de gran importancia para la odontología y la ortodoncia. El objetivo de este estudio es describir y explorar esta relación. Para este propósito, nos gustaría examinar la forma del cráneo y el arco y sus relaciones con la capacidad de movimiento de la mandíbula y la fuerza máxima de mordida.

Para esto, la forma de su cara se registrará tridimensionalmente utilizando un proceso fotográfico. Para registrar la forma del arco dental, se utilizarán impresiones convencionales odontológicas en el maxilar y la mandíbula. La capacidad de movimiento de su mandíbula inferior se registrará con placas de cera y la fuerza de mordida máxima se mide con un aparato que registra a fuerza de mordida. Luego analizamos los datos con software especiales. Su información personal está sujeta a confidencialidad. El examen suele durar 2 horas.

Nuestro estudio tiene fines científicos. Al aceptar participar en él, nos ayuda a comprender mejor las relaciones entre la forma del cráneo y la función de masticación. Si tiene preguntas sobre este estudio, comuníquese a los dos investigadores de este estudio:

Dr. med. dent. Oliver Schierz  
Escuela de Odontología Universidad de Leipzig  
Clínica de Prótesis y Ciencias de Materiales  
Liebigstraße 12, Haus 1, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 – 9721300  
Fax.: 0341 – 9721309  
E-Mail: [oliver.schierz@medizin.uni-leipzig.de](mailto:oliver.schierz@medizin.uni-leipzig.de)

Dra. Viviana Toro-Ibacache, DDS, MSc, PhD  
Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva  
Departamento de Evolución Humana  
Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 - 3550 87  
Facultad de Odontología Universidad de Chile  
Sergio Livingstone Pohlhammer 943  
Independencia, Santiago de Chile.  
E-Mail: [mtoirobacache@odontologia.uchile.cl](mailto:mtoirobacache@odontologia.uchile.cl)

Las obligaciones de seguro:

Debido a las grandes fuerzas en el Beißkraftmessung un daño dental no puede ser excluido por completo. Es por eso que hemos contratado un seguro para usted. Informe inmediatamente al líder del estudio de cualquier deterioro en su condición, quien evaluará si se trata de un problema de salud que puede haber ocurrido como resultado del ensayo clínico. En caso de daños, usted autoriza a los médicos tratantes a proporcionar información a la aseguradora a petición.

## Consentimiento Informado

He sido informado de los objetivos del estudio *Forma y función del cráneo humano: relación entre la forma del cráneo, la forma del arco, la capacidad de movimiento funcional y la fuerza de mordida* por           (nombre del académico)          .

Estoy de acuerdo con el almacenamiento y el procesamiento anónimo de los datos para la evaluación científica recopilada en el estudio. Puedo cancelar el programa de examen en cualquier momento sin dar razones, sin ninguna desventaja médica o de otro tipo.

Apellido, Nombre           (nombre del participante)          .

Leipzig,           (feche)          .

Firma del participante:           (firma del participante)          .