



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE ODONTOLOGIA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
ODONTOLÓGICAS**

**ÁREA DE ANATOMÍA**

**CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN  
ANTROPOLOGÍA DENTAL**

**FORMA DE LA RAÍZ DEL PRIMER MOLAR SUPERIOR EN POBLACIONES  
CON DISTINTA INTENSIDAD DE CARGA Y RELACIÓN MAXILOMANDIBULAR**

**Pamela Herrera Núñez**

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

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

**Adscrito a Proyecto FONDECYT 11150175  
Santiago – Chile  
2018**





**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE ODONTOLOGIA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS  
ODONTOLÓGICAS**

**ÁREA DE ANATOMÍA**

**CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN  
ANTROPOLOGÍA DENTAL**

**FORMA DE LA RAÍZ DEL PRIMER MOLAR SUPERIOR EN POBLACIONES  
CON DISTINTA INTENSIDAD DE CARGA Y RELACIÓN MAXILOMANDIBULAR**

**Pamela Herrera Núñez**

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

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

**Adscrito a Proyecto FONDECYT 11150175  
Santiago – Chile  
2018**

## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia, mis padres Carlos y Jeanette por su amor, apoyo y comprensión incondicional, por confiar en mí y darme la libertad de decidir en quien quiero convertirme. Mis hermanos Carlos y Cristian, gracias por la motivación, risas y abrazos.*

*A mis amigos y amigas, por su compañía estos años, buenos momentos y disposición que hicieron más grato y entretenido todo este tiempo en la universidad.*

*A mi tutora, Viviana Toto-Ibacache, por ser la mejor tutora y porque si no fuera por ella aun estaría en el título de mi tesis. Gracias por la paciencia y enseñanzas.*

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

## Contenido

Contenido .....	3
1. Resumen .....	5
2. Marco teórico.....	6
2.1. Introducción .....	6
2.2. Odontogénesis.....	6
2.3. Factores que determinan la variación morfológica de la raíz.....	12
2.4. Relación Maxilomandibular .....	14
2.5. Primer molar superior permanente .....	15
2.6. Poblaciones arqueológicas como modelo de estudio .....	15
2.7. Morfometría Geométrica .....	19
2.8. Justificación y relevancia actual.....	21
3. Hipótesis.....	22
4. Objetivo general .....	22
5. Objetivos específicos.....	22
6. Metodología.....	23
6.1. Muestra.....	23
6.2. Obtención de datos primarios .....	26
6.3 Análisis .....	29

6.3.1 Análisis preliminares.....	29
6.3.2 Análisis exploratorios y confirmatorios.....	30
7. Resultados.....	31
7.1 Análisis preliminares.....	31
7.2. Análisis exploratorios y confirmatorios.....	32
7.2.1 Análisis de componentes principales.....	32
7.2.2 Análisis de variables Canónicas.....	35
8. Discusión.....	39
9. Conclusiones.....	42
10. Bibliografía.....	43
10. Anexos.....	52

## 1. Resumen

El primer molar superior (1MS) en humanos es el primer diente definitivo que erupciona, aproximadamente a los seis años, y su formación comienza durante la etapa prenatal. Su corona es poco variable dentro de humanos e incluso otros primates, y su forma se establece tempranamente. La raíz en cambio muestra mayores variaciones entre especies, su forma adulta se da ya erupcionado, y sus variaciones no han sido bien estudiadas en humanos. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar la variación en la forma y desarrollo de las raíces del 1MS en diferentes poblaciones en relación con la intensidad de la carga masticatoria y la relación maxilomandibular. Esta tesis corresponde a un estudio transversal descriptivo donde se analizaron reconstrucciones tridimensionales virtuales hechas en base a las tomografías computarizadas (TCs) de 137 individuos de poblaciones arqueológicas y actuales adultos de Chile y Argentina y se clasificaron según carga masticatoria (intensa, intermedia, leve clase I y alterada clase II y III esquelética). Las diferencias en la forma radicular del 1MS izquierdo fueron estudiadas a través de morfometría geométrica. La forma del conjunto radicular se representó a través de las coordenadas espaciales de estructuras anatómicas homólogas, y los grupos se compararon mediante estadística multivariada. Los resultados arrojan la existencia de una gran similitud entre los diferentes grupos de cargas. Sin embargo, se evidenciaron diferencias significativas entre individuos clase I y III. Los individuos con Clase III mostraron raíces más convergentes con tendencia a su fusión, cuellos más robustos con furcas más apicalizadas, mientras que en Clase I existe una mayor divergencia de las raíces, cuellos más angostos y mayor cercanía de la furca hacia cervical. Como conclusión, la morfología radicular del primer molar es bastante conservada entre poblaciones de acuerdo con su carga masticatoria, exceptuando cuando existe una alteración de la relación maxilomandibular.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Introducción**

Durante la evolución del ser humano tanto en el esqueleto facial como los dientes se han producido profundos cambios anatómicos. El neurocráneo se hizo más globular y los huesos de la cara más pequeños y menos prominentes anteroposteriormente (Lieberman, 2008). Esto acompañado con una reducción del tamaño y la estructura microscópica de los músculos elevadores de la mandíbula (Stedman et al., 2004). En el caso de los dientes, la forma del arco se hizo más circular/parabólica, la edad cronológica de erupción se incrementó y el grosor del esmalte disminuyó (Aiello et al., 1990).

En el ser humano moderno, el tamaño de los molares disminuye hacia distal, mientras que en homínidos extintos el patrón es inverso (Aiello et al., 1990; Evans et al., 2016). En estos últimos, sus características anatómicas, tanto óseas como dentales, les proveerían de una mayor eficiencia en la producción de fuerzas oclusales y una mayor resistencia a la deformación de los tejidos, lo cual se relaciona con una mayor resistencia mecánica de los alimentos característicos de estas especies (Spears & Macho, 1998; Teaford & Ungar, 2000).

Los dientes son órganos de origen epitelio-mesenquimal que se desarrollan y funcionan en coordinación íntima con tejidos periodontales y huesos (Fleischmannova et al., 2009), desde la vida intrauterina hasta la etapa adulta, como es el caso de los terceros molares.

### **2.2. Odontogénesis**

El proceso básico de odontogénesis es común para todos los dientes, aunque cada uno sigue el proceso como unidad anatómica independiente. La

odontogénesis ocurre a partir de dos tipos de células, las provenientes del ectodermo que forman el órgano del esmalte (que posteriormente dará origen al esmalte) y células mesenquimáticas que forman la papila dentaria (que luego dará origen a la dentina). Células de la cresta neural migran hacia la región oral participando en el desarrollo dental, entremezclándose con las células mesenquimáticas integrando la papila dental y las células epiteliales del órgano del esmalte (Avery et al., 2007). La formación del diente se divide en tres etapas fundamentales: yema, copa y campana en relación a la forma que adopte el epitelio del órgano del esmalte (Figura 1).

- **Etapas de yema.** En esta etapa ocurren las primeras interacciones entre el epitelio de la cavidad oral primitiva y el ectomesénquima, correspondiente a las células mesenquimáticas provenientes de la cresta neural (Giannini et al., 2008). Las células epiteliales se muestran pequeñas, sin diferenciación en forma o función y las células ectomesenquimáticas se encuentran íntimamente unidas debajo y alrededor de la yema epitelial (Giannini et al., 2008). Las células epiteliales comienzan a proliferar rodeadas e inmediatamente adyacente al aumento de la densidad celular del ectomesénquima, proceso conocido como condensación del ectomesénquima (Nanci, 2013). La proliferación de las células epiteliales dará origen a la lámina dentaria, que empuja al mesénquima subyacente. En el borde anterior de la lámina aparecen los engrosamientos en forma de yemas de los 20 dientes deciduos. Luego el borde anterior continúa creciendo formando la lámina de sucesión que dará origen a los dientes permanentes, excepto los molares, que se originan directamente de la lámina dentaria y se les denomina dientes accesionales (Nanci, 2013).

- **Etapas de copa (cap).** A medida que la yema prolifera, hacia el lado opuesto a la cavidad oral se genera una superficie cóncava, que inicia la etapa de copa. Tempranamente en esta etapa se pueden identificar los elementos formativos del diente. Las células epiteliales se transforman en el órgano del esmalte y las

células ectomesenquimáticas en la papila dentaria. Rodeando ambas estructuras se encuentra el folículo dental (Avery et al., 2007). Estas tres estructuras en conjunto constituyen el germen dental. Cambios importantes en la histodiferenciación ocurren en la etapa tardía de copa, dando inicio a la etapa de campana (Nanci, 2013). El nudo del esmalte primario es histológicamente distinguible como un grupo de células condensadas en el epitelio dental interno que expresan genes de la familia FGF, BMP y WNT (Álvarez Díaz & Hilario Rodríguez, 2009).

- **Etapa de campana (*bell*)**. En esta etapa ocurre morfodiferenciación e histodiferenciación. Las células del órgano del esmalte se diferencian en dos capas, células del epitelio externo del esmalte, que rodea el órgano del esmalte y las células del epitelio interno del esmalte, que se distribuyen adquiriendo la forma de la corona (cúspides) que desarrollan y se convierten en ameloblastos. Las células de la periferia de la papila dental se diferencian en odontoblastos. Entre estas dos capas, epitelio externo e interno del esmalte, se sitúan las células del retículo estrellado. (Avery et al., 2007). La diferenciación del tejido duro dentario, y la producción de odontoblastos y ameloblastos está dirigida por interacciones recíprocas entre el epitelio interno del esmalte (los futuros ameloblastos) y las células mesenquimales directamente enfrentadas al epitelio del esmalte interno (los futuros odontoblastos). Esto está mediado principalmente por moléculas de señalización como BMP, WNT, RUNX2 y TGF $\beta$  (familias de proteínas transformadoras del factor de crecimiento  $\beta$ ). Durante el proceso de diferenciación, la síntesis de proteínas de la matriz extracelular proporciona el andamiaje para cristales de hidroxiapatita y la regulación de la mineralización y maduración de esmalte y dentina (Luan et al., 2006). En el diente, FGF4 funciona como un activador de las cúspides dentales, mientras que los BMPs y posiblemente SHH pueden funcionar como inhibidores regulando la distancia entre las mismas (Álvarez Díaz & Hilario Rodríguez, 2009).

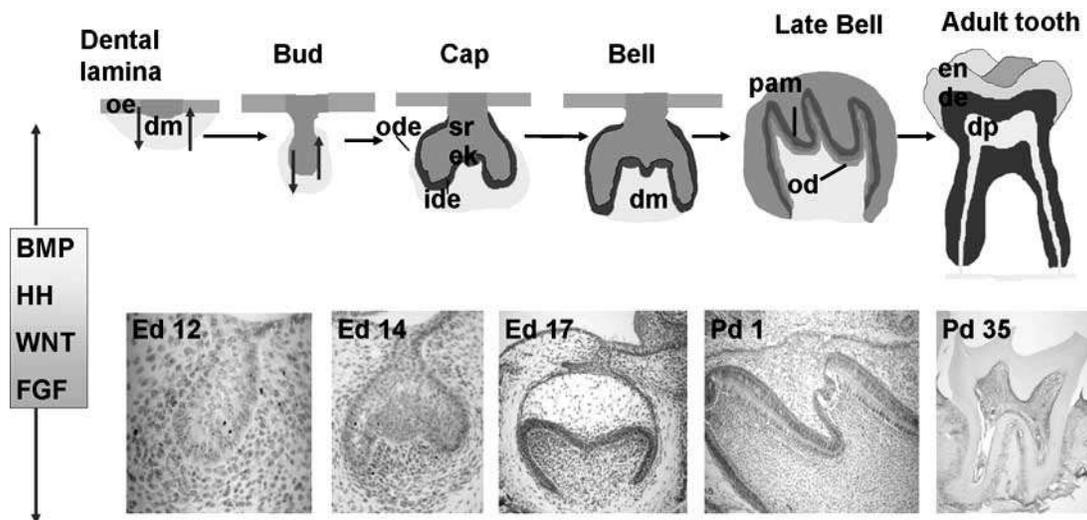


Figura 1. Esquema e imágenes histológicas de las etapas de la odontogénesis. Se muestran además moléculas de señalización y factores de crecimiento (BMP, HH, WNT y FGF) relevantes. Los cortes histológicos muestran un molar de ratón de 12 semanas (día embrionario 12 o Ed12), en etapa de morfoogénesis (Ed14), prediferenciación (Ed17), de diferenciación de odontoblastos y ameloblastos (día postnatal 1 o Pd1) y erupción (Pd35).

Abreviaciones: oe=epitelio oral; dm=mesénquima dental; sr=retículo estrellado; ide=epitelio dental interno; ode=epitelio dental externo; ek=nudo del esmalte; pam=preameloblastos; od=odontoblastos; en=esmalte; de=dentina; dp=pulpa dental (Alvarez et al., 2009).

A medida que se desarrolla el órgano del esmalte, las células epiteliales internas se diferencian en ameloblastos polarizados. Estos secretan proteínas del esmalte que se ensamblan para alargar los cristales en crecimiento. (Pham et al., 2017). Las células de la periferia de la papila, convertidas en odontoblastos, se alargan y adquieren forma cilíndrica formando la predentina, que es una matriz de fibras de colágenos que luego de 24 horas se calcifica y se convierte en dentina. Luego de ocurridos varios incrementos de dentina, los ameloblastos depositan una matriz de esmalte. En el extremo próximal del odontoblasto se desarrolla el proceso

odontoblástico que se alarga mientras el odontoblasto se va moviendo hacia la pulpa (Avery et al., 2007).

La formación de la raíz dental requiere células especializadas derivadas tanto del epitelio como de mesénquima. Las células del órgano del esmalte en la región cervical continúan creciendo formando una doble capa celular, denominada vaina radicular (Avery et al., 2007). La vaina de la raíz epitelial (o HERS, del inglés *Hertwig's epithelial root sheath*), que deriva del epitelio del esmalte desde la parte cervical de la corona en desarrollo, forma una envoltura que sirve como plantilla para la morfología de raíz específica de cada diente. En el caso de dientes multirradiculares la vaina epitelial de la raíz se invagina hacia el tejido pulpar en el lugar donde se ubicará la furca (Wright, 2007).

HERS induce a las células mesenquimáticas de la papila dental para formar la capa de dentina radicular antes de desintegrarse, y las células mesenquimatosas del folículo dental al estar expuestas a la nueva dentina inducirían la cementogénesis (Lang-Arce, 2010). La desintegración morfológica de HERS comienza con la disociación de la membrana basal exterior de ella. HERS se divide en cordones epiteliales al comienzo de la cementogénesis permitiendo que las células mesenquimales accedan a la superficie de la raíz (Luan et al., 2006). Los cordones de HERS aumentan de tamaño hasta una vez terminada la cementogénesis, y se relacionan con tejido conectivo derivado de células del folículo dental, estableciendo un ligamento periodontal que reemplaza a HERS como el principal elemento que ocupa la superficie de la raíz, antes de que éste se desarme y pase a formar los restos epiteliales de Malassez (Luan et al., 2006). El control de la forma de la raíz se da a través de la interacción entre el epitelio HERS y el mesénquima óseo. La forma del HERS sería predictiva de la forma de la futura raíz dental; se ha observado que el daño quirúrgico del HERS se correlaciona con variaciones en el crecimiento de la raíz del diente (Andreasen et al., 1990). Además, alteraciones en el proceso de invaginación de la vaina HERS

conduce a una forma de raíz inusual, como raíces supernumerarias, o formas piramidales y taurodónticas (Bahrololoomi et al., 2014; Wright, 2007). En el caso del primer molar inferior permanente de dos raíces, puede conducir a una raíz única de forma piramidal (Bahrololoomi et al., 2014). No se ha descrito alteraciones del primer molar superior (1MS), cuya anatomía general es poco variable. Un 95% presenta tres raíces, el 3.9% tiene dos, mientras que la incidencia de fusión completa de las raíces es cercana al 5% (Cleghorn et al., 2006).

La erupción del diente es el proceso por el cual los dientes en desarrollo emergen a través de la mucosa maxilar o mandibular y penetran en la cavidad oral para ocluir con su antagonista y cumplir sus funciones (Avery et al., 2007). Se distinguen tres fases, la preeruptiva, eruptiva prefuncional y eruptiva funcional.

- Fase preeruptiva: son los movimientos que sufre el diente desde el inicio de su desarrollo hasta la completa formación de la corona. Estos movimientos son de dos tipos, los cambios de posición de las coronas adyacentes y por el propio desarrollo del maxilar y mandíbula. Los dientes permanentes varían su posición a medida que la raíz de su antecesor se va reabsorbiendo y a la modificación de su proceso alveolar. Por otro lado, los molares permanentes, que no poseen predecesores, se desarrollan dentro de las tuberosidades del maxilar y los molares inferiores se desarrollan en la porción creciente entre la rama y el cuerpo mandibular (Avery et al., 2007).
- Fase eruptiva prefuncional: Comienza con el inicio del desarrollo de la raíz y termina cuando alcanza la corona alcanza el contacto oclusal con su antagonista. Para su formación, la raíz requiere espacio a medida que se elonga, provocando un aumento del tejido fibroso alrededor del folículo dental (Avery et al., 2007). El movimiento del diente hacia oclusal ocurre por

una necesidad de espacio a medida que crece en longitud la raíz. El proceso de reabsorción de los dientes tanto primarios y permanentes ocurre por la presencia de monocitos en la sangre que se fusionan unos con otros formando osteoclastos multinucleados, que reabsorben el tejido duro, permitiendo la exposición de la corona clínica en la cavidad oral. A medida que empieza a erupcionar, alrededor del ápice fibroblastos comienzan a producir colágeno, formando haces de fibras que se unen al cemento. Algunas de las fibras forman fascículos que maduran dando origen a trabéculas calcificadas, formando una red, rellenando el espacio que queda una vez que empieza la erupción dentaria. Una vez que el diente entra en oclusión con su antagonista, empieza la formación de hueso denso alrededor del diente (Avery et al., 2007).

- Fase eruptiva funcional: Ocurre cuando los dientes se encuentran en oclusión y continúa mientras los dientes se encuentren en la cavidad oral. El desarrollo final de la raíz dura alrededor de 1-1,5 años para los dientes primarios y para los permanentes 2-3 años (Avery et al., 2007).

Se consideran como posibles causas principales de la erupción la elongación de la raíz y la modificación del hueso alveolar, sin embargo se desconoce el origen real de la fuerza de erupción (Sarrafpour et al., 2013). Existe remodelación del hueso del maxilar y la mandíbula en respuesta al estrés funcional de los maxilares, mediante aposición y reabsorción ósea, y se ha sugerido que lo mismo sucede en la erupción dentaria (Sarrafpour et al., 2013).

### **2.3. Factores que determinan la variación morfológica de la raíz**

La mayoría de los trabajos que estudian de manera más completa los factores que determinan la forma de la raíz dental se han basado en mamíferos no humanos y

homínidos extintos, comparando grupos de especies distintas (Kupczik & Hublin, 2010; Kupczik & Stynder, 2012). En mamíferos no humanos se ha observado que la forma de la raíz de los dientes posteriores puede estar influenciada de manera adaptativa (es decir, bajo el efecto de selección natural) por la dieta, consistencia de alimentos y comportamiento masticatorio, mientras que su área de superficie está relacionada con las fuerzas máximas de mordida (Kupczik & Stynder, 2012). Así por ejemplo, en omnívoros como los seres humanos se espera que las raíces de los caninos sean relativamente pequeñas debido al consumo de alimentos de baja resistencia mecánica, y que la variación mesiodistal del área de la raíz de dientes posteriores al canino sea más pequeña como adaptación a alimentos de baja rigidez y dureza (Kupczik & Stynder, 2012). Se ha descrito que los neandertales, con un uso intenso de su aparato masticatorio, tenían incisivos mandibulares y raíces caninas significativamente más grandes (longitud, área y volumen) que los humanos modernos en relación al tamaño óseo (Le Cabec et al., 2012). En todos los casos de estudio de la variación entre especies se ha propuesto el efecto de la dieta como un factor adaptativo, no como inductor de una respuesta tisular plástica.

En humanos actuales, la mayoría de los estudios corresponden al área de la endodancia, en la cual se enfocan en la descripción del número de raíces y de canales radiculares, y no existen mayores datos acerca de la variación de la forma radicular en las distintas áreas odontológicas (Ahmed et al., 2007; Cleghorn et al., 2006). A nivel intraespecífico, se podría obviar la adaptación como factor causal de la variación de la forma radicular. Considerando la relación entre el desarrollo de la raíz y el hueso adyacente, cabe preguntarse si la forma radicular puede estar determinada por factores ambientales mecánicos, como por ejemplo alteraciones de la oclusión dental.

## 2.4. Relación Maxilomandibular

La relación maxilomandibular se refiere a la posición del maxilar y la mandíbula en el complejo craneofacial. En el plano sagital ésta puede clasificarse de acuerdo a estructuras o planos de referencia en clase I (relación armónica), clase II (mandíbula retraída respecto del maxilar) y clase III (mandíbula protruída respecto del maxilar) (Villalba et al., 2009). Uslu y cols. (2009), estudiando una muestra de individuos con distintas características esqueléticas, encontraron raíces relativamente más cortas en individuos con relación maxilomandibular alterada donde la tasa más alta se encontró en el grupo Clase II división 2 (incisivos centrales superiores inclinados hacia palatino). Kovacs (1967), mediante un estudio radiográfico, propuso que en la etapa en que el diente entra en oclusión, el desarrollo de la raíz es susceptible de ser modificado por su entorno anatómico. Hay evidencia de que el estrés mecánico tiene una variedad de efectos sobre el crecimiento y la diferenciación celular. Por ejemplo, de manera experimental se ha observado que el estrés mecánico facilita la diferenciación de células epiteliales y mesenquimáticas a células productoras de esmalte, dentina y cemento (Honda et al., 2006). ¿Es entonces posible que variaciones de la forma radicular en humanos estén asociadas a aspectos del metabolismo o función ósea, como por ejemplo al estrés óseo generado por las cargas masticatorias? La carga masticatoria se define como la cantidad de fuerza que se aplica sobre un alimento (y consecuentemente, sobre el diente y el hueso) durante la masticación (Paschetta & González-José, 2014). Distintos tipos de alimentos generarían distintas magnitudes de estrés mecánico de acuerdo a sus propiedades materiales. También se ha observado que la maloclusión dental afecta la eficiencia masticatoria, de manera que para triturar el alimento se requiere un mayor número de ciclos (English et al., 2002), lo que podría alterar la magnitud además de la dirección del estrés al que se ve sometido el hueso. Así, la intensidad de la carga masticatoria y la relación máxilomandibular son factores que podrían afectar la forma radicular.

## **2.5. Primer molar superior permanente**

El 1MS en humanos es el primer diente definitivo que erupciona, aproximadamente a los seis años, y su formación comienza durante la etapa fetal alrededor de los cuatro meses de gestación (Alaluusua, 2010). No sustituye a ningún diente temporal, erupciona detrás del segundo molar temporal y es determinante en el desarrollo del aparato masticatorio (llave de la oclusión (González Beriau et al., 2009). Además, inicia el segundo levante fisiológico de la oclusión, estimula el desarrollo cráneo-facial y sirve de orientación a los demás dientes en la erupción (Vázquez et al., 2012).

Su rol mecánico es clave, ya que corresponde al diente con mayor superficie oclusal y se sitúa muy cerca de la línea de acción del músculo masetero, lo que permite la generación de fuerzas oclusales altas (Angarita et al., 2009). Su anatomía radicular describe la presencia de tres raíces y tres canales. Sin embargo, diversos estudios señalan una incidencia sobre el 50% de un segundo canal en la raíz mesiovestibular. El primer molar maxilar permanente es el diente que presenta la mayor variación en cuanto al número de canales, así como la más alta tasa de fracaso ante el de tratamiento endodóntico (Betancourt et al., 2013).

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

Sudamérica es una de las últimas masas continentales en ser pobladas alrededor del 13.000-14.000 AP, donde los individuos se dispersaron de acuerdo con los recursos y riquezas de las zonas (Lanata et al., 2008). Debido a esto, las poblaciones alcanzaron una marcada diferenciación en los patrones de asentamiento, estilos de vida y dieta (Borrero, 1999; Perez, 2011). Sobre información arqueológica obtenida, las poblaciones en Sudamérica pueden

dividirse en poblaciones con dietas ricas en carbohidratos, poblaciones con dietas ricas en carbohidratos con componente menor de proteína de origen marino, poblaciones con dietas ricas en proteínas de origen marino con un componente menor de carbohidratos y poblaciones con dietas ricas en proteínas (Perez, 2011). Así es como la dieta se ha clasificado, junto con el clima, como uno de los factores más influyentes en la variación de la morfología craneofacial en poblaciones sudamericanas. En esta tesis se estudian algunos ejemplos de estas poblaciones.

**Individuos del valle del río Chubut:** Se ubicaron en Argentina, al centro-sur de la Patagonia, en el Holoceno tardío -1.500–200 años AP- (Perez & Monteiro, 2009). Se caracterizaban por ser una población de cazadores-recolectores consumidores de una dieta mixta con recursos de origen vegetal y herbívoros consumidores de estos vegetales como los guanacos. La morfología craneofacial de esta población se define por ser robusta con gran desarrollo de la región supraorbital y glabelar, de la cresta occipital y los procesos mastoides y la presencia de fuertes inserciones musculares (Bernal et al., 2006). Numerosos estudios muestran que la proporción de caries es relativamente baja entre cazadores-recolectores cuyas dietas contienen grandes cantidades de proteínas y son bajas en carbohidratos (Bernal et al., 2007; Bernal et al., 2006).

**Chonos.** Pueblo caonero que se asentó entre el canal de Chacao y la península de Taitao (Trivero, 2005). Restos arqueológicos indican una data  $410 \pm 70$  años AP. Su dieta básica se basaba en la pesca y en la recolección de mariscos, además de la caza de lobos marinos. Su principal sustento eran peces, lobos de mar, ballenas y aves marinas, junto con la recolección de mariscos y especies vegetales (Zapater & Equioíz, 1998). Presentan gran prevalencia de enfermedad periodontal, donde podría jugar relevancia el déficit de vitamina C presente en estos individuos (Abarca, 2011).

**Fueguinos.** Habitaron Tierra del Fuego desde 6.400 AP hasta si siglo XIX (Orquera & Piana, 2009). Cuando los europeos llegaron por primera vez a las islas en 1520, se encontraban habitadas por tres grupos de pueblos indígenas: Los alacalufes ubicados en las islas de la parte occidental, desde la isla Stewart hasta el oeste de la Patagonia, selknam quienes poblaron isla Grande y los yámanas quienes vivían en las islas del sur, entre el canal de Beagle y las islas Hermite. Los alacalufes y yámanas se movilizaban en canoas entre las islas construidas a partir de grandes pedazos de corteza y fueron llamados fueguinos caoneros. Los selkman fueron llamados fueguinos caminantes ya que habitaban en el continente (Marangoni et al., 2011). La subsistencia de los tres pueblos fue basada en la caza y la recolección de alimentos. El alimento más importante para el pueblo selkman fue el guanaco, del cual extraían la carne y además su pelaje para vestimenta. En la parte norte de la isla Grande, alacalufes y yámanas, el guanaco era escaso por lo que la caza se centró en aves, roedores, patos, nutrias, focas y leones marinos (Marangoni et al., 2011). Debido a las condiciones climáticas, la dieta vegetal en estas poblaciones era escasa y consistía principalmente en unas pocas especies de hongos y bayas de arbustos (Marangoni et al., 2011).

**Individuos del complejo Pica-Tarapacá.** El cementerio Pica 8 data de 1.050-650 AP (Uribe et al., 2007). Por su parte, el cementerio Tarapacá 40, se halla en la quebrada de Tarapacá, al oeste de la localidad de Huarasiña (Arias & Herrera, 2012). El complejo comprende un amplio espacio que abarca desde la quebrada de Camiña o Tana y el altiplano de Isluga por el norte, hasta el río Loa por el sur, entre la costa del océano Pacífico y la puna (García & Uribe, 2012), en el periodo desde 1.000 hasta 480 AP (García & Uribe, 2012; Uribe, 2006).

Análisis dentales muestran que individuos de Tarapacá 40 poseen como base en la dieta alimentos provenientes de la costa (con más de 40 especies de moluscos, pescados como jurel y corvina y mamíferos marinos (Uribe, 2006)), esto por el alto grado de desgaste dental, además de consumo de carbohidratos, lo que se refleja

en los altos porcentajes de pérdida dental antemortem, caries e índice COP-D. Los carbohidratos provienen de plantas silvestres recolectadas como el algarrobo, agregando en el valle y altiplanos los cultivos como el maíz, la quinua, papas (Arias & Herrera, 2012), calabazas, ají, algodón y porotos (García & Uribe, 2012), donde se presentó una intensificación y consolidación de actividades agrícolas y pastoriles (Núñez, 1966) . Todos estos pueblos eran consumidores de roedores y camélidos, aunque éstos últimos eran utilizados más bien para moverse.

**Individuos de Pampa Grande.** Población agricultora que ocupó el territorio de las montañas de las Pirguas al noroeste de Argentina en la provincia de Salta. Restos arqueológicos de individuos datan aproximadamente de 1.350 años AP (Carnese et al., 2010). La principal fuente de alimentos eran obtenidas de plantas cultivadas y silvestres (Baldini et al., 1998). La dieta de esta población, al ser rica en carbohidratos, dio lugar a problemas de malnutrición, como déficit de hierro, así como a la presencia de caries y tártaro (Baffi et al., 1996).

**Mapuches.** Población que data de 2.950 AP, y que aún habitan ciertas regiones, particularmente al sur de Chile. El río Maule (a la altura de la actual ciudad de Talca), era el límite norte del territorio mapuche y pareciendo ser que el río Cruces, en la provincia de Valdivia, fue el límite sur del territorio (Bengoa, 2000) .

Los lugares de concentración de la población mapuche estaban en relación directa con el tipo de recursos existentes en la naturaleza. Los mapuches tenían un conjunto de conocimientos técnicos sobre agricultura, pesca, caza y recolección de frutos. La dieta se basa en la papa y los porotos pallares, alimentos del mar como moluscos, peces, que además eran extraídos desde lagos y ríos. La cordillera cercana permitía la recolección del principal alimento mapuche, el piñón, con el que se realizaba la harina, base de la dieta. Igualmente, en la cordillera había una fauna abundante de guanacos, hueques, pudús, huemul, pumas entre otros. Poseían pequeños rebaños de llamas, de los que obtenían carne, cuero y

lana (Rothhammer & Llop, 2004). Cazaban guanacos, huemules, pumas. Para la pesca existía toda clase de instrumentos como botes de hasta 30 remeros y era de gran importancia en la economía, además de la extracción de algas marinas como el luche y el cochayuyo (Bengoa, 2000) .

Para estudiar la morfología de las raíces del primer molar superior izquierdo de las poblaciones antes expuestas y las posibles variaciones que ésta pueda tener entre una población y otra se hace necesaria la utilización de herramientas que permitan el análisis y comparación entre los individuos, así como entre grupos, de diferentes partes que componen dicho molar. En esta tesis se utilizó la técnica de morfometría geométrica

## **2.7. Morfometría Geométrica**

La morfometría es el estudio de la variación de la forma y su covariación con otras variables (Bookstein, 1991). Su desarrollo en el último tiempo ha permitido abarcar áreas como las ciencias morfológicas, cuyo estudio tradicional era descriptivo y las que con las nuevas herramientas morfométricas geométricas han logrado no sólo objetivar la evaluación cuantitativa de los cambios morfológicos sino también la evaluación cualitativa a través de la recuperación de la forma en estudio (Toro Ibacache et al., 2010)

El análisis morfométrico permite la obtención de datos de la forma independientemente de aquellos componentes que no definen la geometría intrínseca del objeto, como el tamaño, posición y la rotación (Toro Ibacache et al., 2010). Consta de tres etapas fundamentales: obtención de los datos primarios, obtención de las variables de la forma, y análisis estadístico.

**Obtención de los datos primarios.** Los datos utilizados son los hitos o puntos que representan la forma del objeto y cuya ubicación en el espacio se rige por

coordenadas cartesianas en los ejes x e y en las formas bidimensionales y ejes x, y, z en el caso de elementos tridimensionales (Bookstein, 1991; Toro Ibacache et al., 2010). La forma obtenida a través de registro de coordenadas es independiente del tamaño, posición u orientación de dicha forma (Kendall, 1977). El conjunto de hitos o configuración define a cada individuo (Toro Ibacache et al., 2010).

**Obtención de las variables de la forma.** En esta segunda etapa se realiza el análisis sobre el conjunto de hitos, es decir, sobre la configuración completa, la que debe encontrarse libre de efectos de tamaño, rotación y posición. Para esto, una vez ubicados los hitos (también llamados *landmarks*), los datos quedan registrados como coordenadas en una matriz y se procede a realizar el análisis de Procrusto (Rohlf, 1995), convirtiendo las antiguas coordenadas en otras nuevas donde no existen las variaciones debido a rotación y traslación en el espacio y escala la configuración de coordenadas de los especímenes a un mismo tamaño de centroide (es decir, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las distancias de todos los hitos del centro geométrico de la configuración (Dryden & Mardia, 1998).

**Análisis estadístico multivariado.** La manera de buscar la variación general de la forma en la muestra se basa en la aplicación de un análisis de componentes principales (PCA, del inglés *principal components analysis*), que permite facilitar la observación de caracteres o diferencias entre individuos, ordenándolos de manera decreciente de acuerdo con la proporción de varianza explicada. El grupo de datos se ubica en un nuevo sistema de coordenadas donde la mayor diferencia entre individuos se sitúa en el primer eje, llamado primer componente principal, luego la segunda variación más grande en el segundo componente principal y así sucesivamente. También se utilizará el análisis de variables canónicas que a diferencia del PCA, éste permite estimar las diferencias entre las medias de los grupos, utilizando como base los patrones de variación intragrupos (Torrijo Boix, 2015), y realizar docimasia de hipótesis nula de igualdad entre grupos.

**Visualización de los cambios de la forma.** Por último, se utilizan métodos gráficos para visualizar patrones de la variación de la forma y facilitar las descripciones de los cambios en base a *wireframes* o formas creadas en base a líneas que unen los hitos para así representar la geometría del objeto y sus cambios.

## **2.8. Justificación y relevancia actual**

Se sabe de la relevancia en la dentición del primer molar permanente, tanto en el desarrollo como en la evolución de los maxilares. Al ser el primer diente permanente en erupcionar hace que pase desapercibido por la mayor parte de la población o considerarlo como un diente temporal más lo que explica que esta sea una de las piezas dentarias más tratadas y afectadas, siendo la caries dental una de sus mayores afecciones (Bermúdez et al., 2013). Dicho lo anterior y dada la importancia de la presencia del diente en la cavidad oral, se hace importante saber la evolución y qué factores influyen en su desarrollo, para facilitar tratamientos conservadores como la endodoncia.

En cuanto a la forma radicular y su relación con el seno maxilar, es de gran importancia el conocimiento de la topografía de las raíces, especialmente de los ápices dentales de molares con el piso del seno y su valor en cirugía, endodoncia y en patología oral (Delgadillo Ávila, 2005).

Sabemos que la pérdida prematura del primer molar permanente trae consecuencias como desgaste oclusal desigual, generar una clase II molar, una interferencia protrusiva por la mesialización del segundo molar, o una disminución en la dimensión vertical, entre otras (Dopico & Castro, 2015).

Estudiar la relación entre la forma de las raíces del primer molar superior, la intensidad de cargas masticatorias (dada por diferencias en la resistencia

mecánica de los alimentos) y la relación maxilomandibular puede entregar herramientas para una correcta planificación del tratamiento ortodóncico y ortopédicos (donde se aplican fuerzas que pueden afectar el desarrollo de la raíz) y para la planificación de tratamientos rehabilitadores.

El estudio morfológico del primer molar superior en humanos modernos es además de gran interés en antropología y zoología, para conocer los mecanismos relacionados con la variación intra e interespecífica de la anatomía dental.

### **3. Hipótesis**

La forma y desarrollo de las raíces del primer molar superior en diferentes poblaciones varía en relación a la intensidad de la carga masticatoria y la relación maxilomandibular.

### **4. Objetivo general**

Estudiar la relación entre la forma de las raíces del primer molar superior, la intensidad de cargas masticatorias (dada por diferencias en la resistencia mecánica de los alimentos), y la relación maxilomandibular.

### **5. Objetivos específicos**

- Comparar entre grupos de individuos las variaciones de forma de las raíces encontradas mediante herramientas de morfometría geométrica.
- Describir y comparar anatómicamente la forma de las raíces del primer molar superior en individuos con diferentes tipos de relación maxilomandibular.
- Relacionar las diferencias anatómicas entre los grupos con la intensidad de carga masticatoria y relación maxilomandibular.

## 6. Metodología

El diseño del estudio corresponde a un estudio transversal descriptivo. Esta tesis realiza una comparación de la forma de primeros molares superiores (variable dependiente) en individuos que ejercen distinta intensidad de carga masticatoria y que tienen distinta relación maxilomandibular (variable independiente).

### 6.1. Muestra

La muestra está compuesta por un total de 137 individuos de poblaciones arqueológicas y actuales, que presenta distinta intensidad de carga masticatoria de acuerdo con su dieta. La muestra corresponde a individuos adultos (con cierre de la sincondrosis esenooccipital), sin malformaciones congénitas ni signos de trauma masivo craneofacial; con arcos dentales completos o al menos algunos molares en posición apta para la oclusión (no extruidos ni rotados hacia mesial).

Se clasificarán en cinco grupos según carga masticatoria: "intensa", "intermedia", "leve", "alterada-clase II y "alterada-clase III". Esta clasificación corresponde a una aproximación al uso dado por distintas poblaciones al aparato masticatorio de acuerdo a su alimentación. Si bien esta clasificación presenta limitaciones inherentes al trabajo con poblaciones arqueológicas debido a la imposibilidad de conocer de manera exacta de qué se alimentó cada individuo y sus propiedades materiales, ésta ha sido usada normalmente en el campo de la antropología física (ver abajo) y se ve favorecida por el uso de muestras más bien extensas que permitan apreciar la variabilidad intragrupal.

- **Grupo de carga intensa:** Poblaciones arqueológicas de cazadores-recolectores, población conocida por alimentarse mayormente en base a

elementos mecánicamente resistentes (González-José et al., 2005; von Cramon-Taubadel, 2011), consistente en animales de caza y frutos, semillas y/o mariscos de recolección (Bernal et al., 2006; Kelly, 1983). Representantes de este grupo incluyen individuos de la Patagonia y Tierra del Fuego, ubicados entre Argentina y Chile (Bernal et al., 2006; El-Zaatari, 2010; González-José et al., 2005). Para este grupo se cuenta con dos Individuos Chonos (sur de Chile), 17 individuos de Tierra del Fuego (Argentina y Chile) y 14 individuos del valle del río Chubut (Patagonia argentina).

- **Grupo de carga intermedia:** En representación de este grupo se incluyen poblaciones arqueológicas de agricultores, con los cuales ocurrió el cambio en la consistencia de la dieta desde estrategias de alimentación de caza-recolección a una dieta actual basada en alimentos más procesados (González-José et al., 2005). Se incluirán 18 individuos mapuches de Chile y Argentina, 12 individuos de Pampa Grande (Norte Grande argentino), así como 17 representantes del grupo Pica y 9 individuos de Tarapacá (Norte Grande chileno).

Las TCs de ambos grupos pertenecen a diferentes colecciones de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Chile (Santiago de Chile), el Museo de Historia Natural de Florencia (Florencia, Italia), el Museo de La Plata (La Plata, Argentina) y el Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva (Leipzig, Alemania).

- **Grupo de carga leve:** Los seres humanos modernos de poblaciones urbanas contemporáneas se caracterizan por dietas en base al consumo de alimentos altamente procesados fuera de la cavidad oral (Monteiro et al., 2010; Smith, 1984). Se utilizaron 24 TCs del banco de datos de pacientes del Hospital Clínico Universidad de Chile y 7 TCs de individuos de la colección subactual Cementerio General de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de

Chile (individuos que vivieron en el siglo XX, fallecidos entre 1960-1973 y 1986 (Abarca, 2011)). Los datos de todas las TCs se trabajaron en formato anonimizado, y en el caso de las TCs clínicas, fueron practicadas por razones médicas ajenas a los objetivos de este estudio.

El diferente origen geográfico de las poblaciones entre los individuos de un mismo grupo servirá para separar el efecto de la intensidad masticatoria de un posible componente hereditario. Todos ellos tienen una relación máxilo-mandibular normal.

**-Grupos de carga alterada clase II y III:** Las maloclusiones y variaciones en la relación entre el maxilar y la mandíbula son comunes en individuos de poblaciones urbanas contemporáneas (Corruccini, 1984). Para el análisis de este grupo se seleccionó 11 TCs de tipo Cone Beam de pacientes clase II y ocho TCs de pacientes clase III esquelética (Cobourne & DiBiase, 2010) tomadas para diagnóstico y planificación de tratamiento en una clínica privada (Instituto de cirugía, Ortodoncia, Rehabilitación Oral y Máxilo-Facial, Santiago de Chile, [www.icor.cl](http://www.icor.cl)), cedidas en formato encriptado para su uso en formato anonimizado.

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

Las diferencias en la forma de la raíz en el primer molar superior izquierdo fueron estudiadas mediante morfometría geométrica, técnica de análisis estadístico multivariado que permite relacionar la forma de una estructura y las variables subyacentes (Toro Ibacache et al., 2010), de acuerdo a lo explicado

anteriormente.

## 6.2. Obtención de datos primarios

Para estudiar la forma radicular de cada individuo fue reconstruido un modelo virtual 3D a partir de su TC mediante la separación de dicho molar de sus tejidos circundantes. Este proceso se denomina segmentación, y se basa en las diferencias en radiopacidad de cada estructura (Figura 2). La segmentación se realizó con el software comercial Avizo (Science Visualization Group, Burlington, EE.UU.). El uso de reconstrucciones virtuales 3D ofrece grandes ventajas ya que permite el manejo de material arqueológico sin riesgo de daño, y a la vez permite estudiar individuos vivos de manera no invasiva.

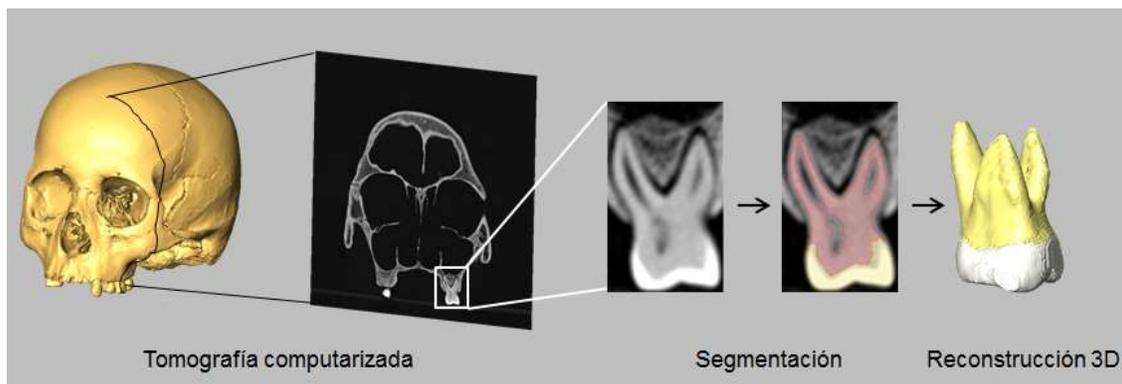


Figura 2. Reconstrucción tridimensional del 1MS a partir de una tomografía computarizada mediante el proceso de segmentación.

El diente utilizado fue el primer molar superior izquierdo. En caso de ausencia, se utilizó una imagen especular del molar del lado derecho, y si éste también faltaba, se utilizó el segundo molar, lo que fue tomado en cuenta en el análisis de los resultados. Fueron excluidos de la muestra los primeros molares con raíces completamente fusionadas. Los aspectos de la forma radicular que se han definido como relevantes para esta tesis son:

- Grado de divergencia de las raíces (Figura 3)
- El tamaño relativo de las raíces entre sí
- La inclinación de las raíces
- La posición de la furca en relación al cuello y los ápices
- El tamaño de centroide del conjunto radicular. El tamaño de centroide se define como la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de cada hito desde el centroide o el centro geométrico de la configuración de hitos (Toro Ibacache et al., 2010).

Aspectos como la curvatura de las raíces o detalles de su topografía no fueron considerados en este estudio.

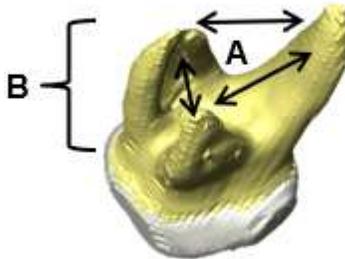


Figura 3. Aspectos relevantes de la forma radicular para el estudio: grado de divergencia radicular (A), tamaño relativo de las raíces entre sí, inclinación de las raíces, posición de la furca en relación con el cuello y ápices y tamaño de centroide del conjunto radicular (B).

La forma del conjunto radicular se representó a través de las coordenadas espaciales (hitos) de estructuras anatómicas homólogas representativas, seleccionadas de acuerdo con los aspectos de interés mencionados antes, y que fueron usadas como puntos de referencias para su comparación (Tabla 1 y Figura 4). La adquisición de landmarks se realizó con el software Avizo, por un mismo

operador (Pamela Herrera), y de acuerdo a la definición en tabla 1, y verificado inicialmente por la tutora de tesis (Dra. Viviana Toro-Ibacache).

Tabla 1. Definición de hitos anatómicos seleccionados.

N° de hito	Definición
1	Punto más central de la furca
2	Punto más central del cuello en la cara distal
3	Punto más central del cuello en la cara vestibular
4	Punto más central del cuello en la cara mesial
5	Punto más central del cuello en la cara palatina
6	Ápice de la raíz mesiovestibular
7	Ápice de la raíz distovestibular
8	Ápice de la raíz palatina

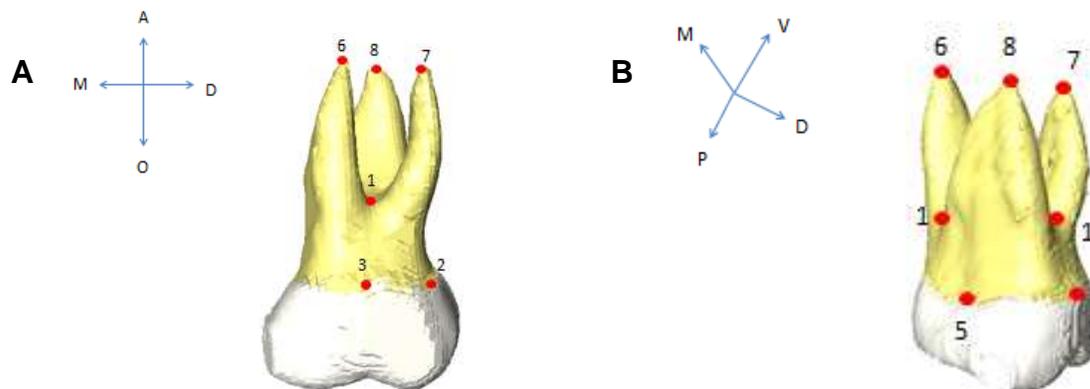


Figura 4. Hitos seleccionados. A) vista vestibular y B) vista palato-distal. A=apical, O=occlusal, D=distal, M=mesial, V=vestibular, y P=palatino.

### 6.3 Análisis

Realizadas las 137 configuraciones de hitos, se sometieron a un análisis generalizado de Procrustes (AGP) (Gower, 1975). 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). Esto genera nuevas configuraciones de hitos, llamadas ahora coordenadas de Procrustes, y una configuración promedio o consenso. La forma de cada individuo puede diferir más o menos de este consenso, y esta diferencia se mide en distancias de Procrustes. La información obtenida de la configuración consenso, es posible analizarla a través de métodos estadísticos exploratorios como análisis de componentes principales y confirmatorios mediante análisis de variables canónicas. (Toro Ibacache et al., 2010).

#### 6.3.1 Análisis preliminares

Con la función de análisis de varianza (ANOVA) de Procrustes en MorphoJ (Klingenberg, 2011), se estudió el efecto del error de medición. Este procedimiento se efectuó sobre una submuestra de 20 individuos, escogidos al azar, en dos sesiones de trabajo, donde se practicó doble digitalización de hitos en días no consecutivos por la misma operadora (P. Herrera). El análisis de ANOVA proporciona un medio para estimar diferentes efectos causales que puedan influir en la varianza, como por ejemplo asimetría fluctuante (desviaciones al azar que ocurren entre el lado izquierdo y derecho de rasgos bilateralmente simétricos (Benítez et al., 2008) y la doble digitalización.

Todos los individuos de la muestra actual presentaban sexo conocido, y en los individuos arqueológicos, este fue asignado en un trabajo previo usando técnicas antropológicas y estadísticas (Eyquem & Toro-Ibacache, 2018).

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

Como primer análisis exploratorio para estudiar la variación de la forma de la raíz, se realizó un análisis de componentes principales, donde se representa de forma progresiva y decreciente la variación de los datos. Los dos o tres primeros componentes principales representan la mayor porción de variación de la forma (Jaramillo, 2011a) contenido en el conjunto de datos. Las PCs se pueden ver como características de variación de forma que no están correlacionadas entre sí, y por lo tanto se pueden examinar una por una (Klingenberg & McIntyre, 1998).

Los análisis confirmatorios para evaluar la forma de la raíz se realizaron a través de análisis de variables canónicas (CVA), en los que se compararon pares de grupos utilizando 10.000 rondas de permutación. Las variables canónicas buscan identificar y cuantificar las asociaciones lineales entre dos grupos de variables, determinando el par de combinaciones lineales con la correlación más alta, luego el segundo par que tiene una correlación menor y así sucesivamente, maximizando la separación de los grupos (Klingenberg, 2011; Torrijo Boix, 2015). Los grupos son ordenados en gráficos de dispersión, conforme se logre la mayor separación posible entre ellos. Tal magnificación de la variación inter-grupos se hace minimizando la variación intra-grupos (Jaramillo, 2011b) .

Además, se evaluó si el origen y la alometría eran factores que modificaban la forma. La alometría da cuenta de los cambios derivados del tamaño, es decir, si hay cambios de forma que ocurran en la medida en que aumenta o disminuye el tamaño de centroide de los individuos. Para evaluar su efecto, se realizó una regresión lineal de los componentes principales (variables dependientes) contra

tamaño de centroide (variable independiente). Estos análisis se realizaron con el software MorphoJ.

## 7. Resultados

### 7.1 Análisis preliminares

El resultado ANOVA de Procrustes indicó que la variación de la forma de las raíces del 1MS 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), por lo que el error intraobservador no actúa como factor confundente en esta tesis.

Tabla 2. ANOVA de Procrustes para 20 configuraciones de hitos originales y sus repeticiones.

Efecto	SC	CM	g.l.	F	P
Individual	0,63	$1.96 \times 10^{-3}$	323	12,03	<b>&lt;,0001</b>
Error de medición	0,05	$1,63 \times 10^{-4}$	340		

SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrados medios; g.l.=grados de libertad; F: estadístico ANOVA de procrustes. Valores de P significativos.

Adicionalmente, se realizó un PCA para explorar la posición de las configuraciones originales y sus repeticiones en el espacio morfométrico. Se puede observar que los datos correspondientes a un mismo individuo se agrupan, distinguiéndose los individuos entre sí (Figura 5).

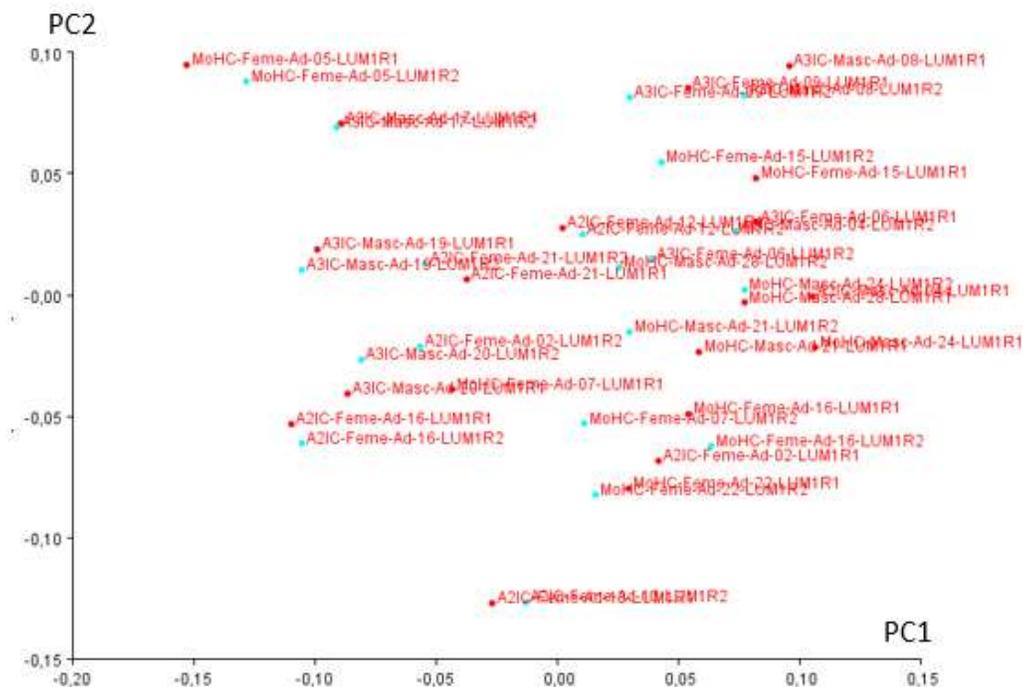


Figura 5. Análisis de componentes principales de las 20 configuraciones iniciales y sus repeticiones. En los puntos celeste se observan los nombres codificados de cada individuo seguido por el sufijo “-R1” y puntos rojos con sufijo “-R2” correspondientes a cada individuos y su repetición respectivamente.

## 7.2. Análisis exploratorios y confirmatorios

### 7.2.1 Análisis de componentes principales

En los resultados de los PCA, los primeros siete componentes principales explican el 78,2% de la variación de la forma de la raíz. Dentro de estos, los primeros cuatro PCs concentran el mayor porcentaje de variación: PC1 explica un 31,93% de la variación de la forma; el PC2, un 12,01%, el PC3, un 9,8% y el PC4, un 9,16% (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del PCA del análisis de forma de la raíz. 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	$6,05 \times 10^{-3}$	31,93	31,93
PC2	$2,27 \times 10^{-3}$	12,01	43,95
PC3	$1,18 \times 10^{-3}$	9,80	53,75
PC4	$1,73 \times 10^{-3}$	9,16	62,91
PC5	$1,06 \times 10^{-3}$	5,63	68,55
PC6	$9,70 \times 10^{-4}$	5,11	73,67
PC7	$8,68 \times 10^{-4}$	4,57	78,24
PC8	$8,20 \times 10^{-4}$	4,32	82,57
PC9	$6,86 \times 10^{-4}$	3,62	86,19
PC10	$5,43 \times 10^{-4}$	2,86	89,06

Luego de esto, la varianza explicada disminuye a valores menor a 6%. Se realizaron los gráficos de dispersión de los siete primeros componentes principales (Figura 6) en búsqueda de alguna distinción entre los grupos de individuos, sin embargo, los grupos se observan ocupando áreas similares dentro de los ejes, tendiendo a solapar los individuos. Es por esta razón y en búsqueda de una observación más clara de las tendencias entre los grupos, es que se realizó un análisis de variables canónicas.

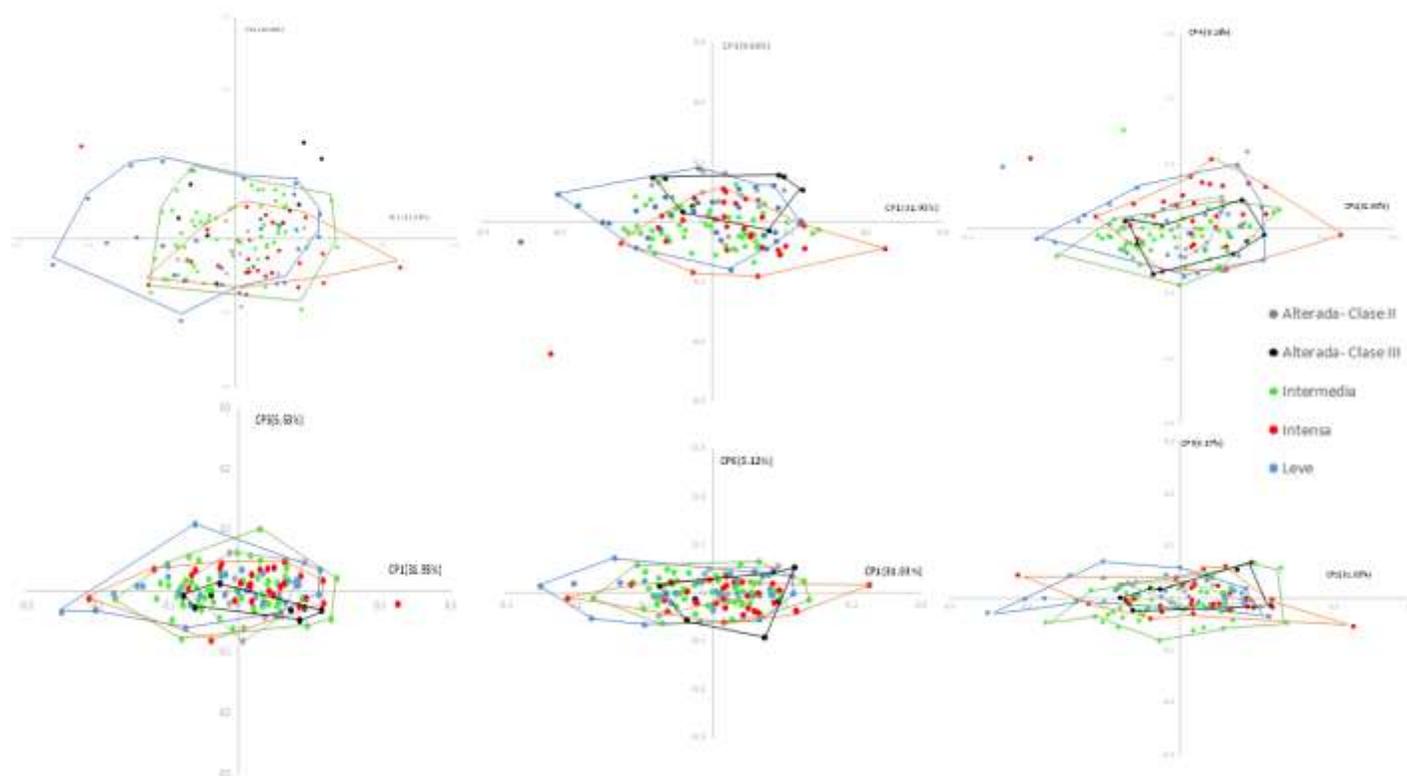


Figura 6. Análisis de componentes principales. Gráficos de dispersión de los valores para los primeros siete componentes principales y el porcentaje de la varianza total explicada por cada uno de ellos (entre paréntesis).

### 7.2.2 Análisis de variables Canónicas

El análisis de variables canónicas (CVA) extrajo cuatro variables canónicas que explican el 100% de la varianza, donde el CV1 explica el 40,69% de la varianza, CV2 el 35,96%, CV3 el 15,92 y CV4 el 7,41% (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado del CVA del análisis de la forma de la raíz del 1MS según intensidad de carga. CV= variable canónica; VP=valor propio; %Var= porcentaje de la varianza total explicado por cada CV; VA= porcentaje acumulado de la varianza

CV	VP	%Var	VA
CV1	$7,66 \times 10^{-1}$	40,69	40,69
CV2	$6,77 \times 10^{-1}$	35,96	76,65
CV3	$3,00 \times 10^{-1}$	15,92	92,58
CV4	$1,39 \times 10^{-1}$	7,41	100,00

En los gráficos de dispersión de las variables canónica en función de la intensidad de carga (Figura 7), es posible apreciar una separación más clara entre los individuos, donde el grupo de carga alterada clase III se distribuye en los valores negativos del CV1. En CV1 contra CV2 es posible distinguir los grupos entre sí, ya que se maximizan las diferencias entre estos, exceptuando los de carga leve, que se ubican sobrepuestos con el resto de los grupos. En CV1 contra CV3 el grupo carga alterada clase III, hay una mayor separación del resto de los grupos, respecto a los demás gráficos. Además, se puede observar que el grupo de carga intensa para CV1 se agrupa en los valores positivos de dicho eje. En CV1 contra CV4 los grupos tienden a solaparse, pero aun así es posible ver una leve tendencia del grupo de carga alterada clase III a distinguirse del resto.

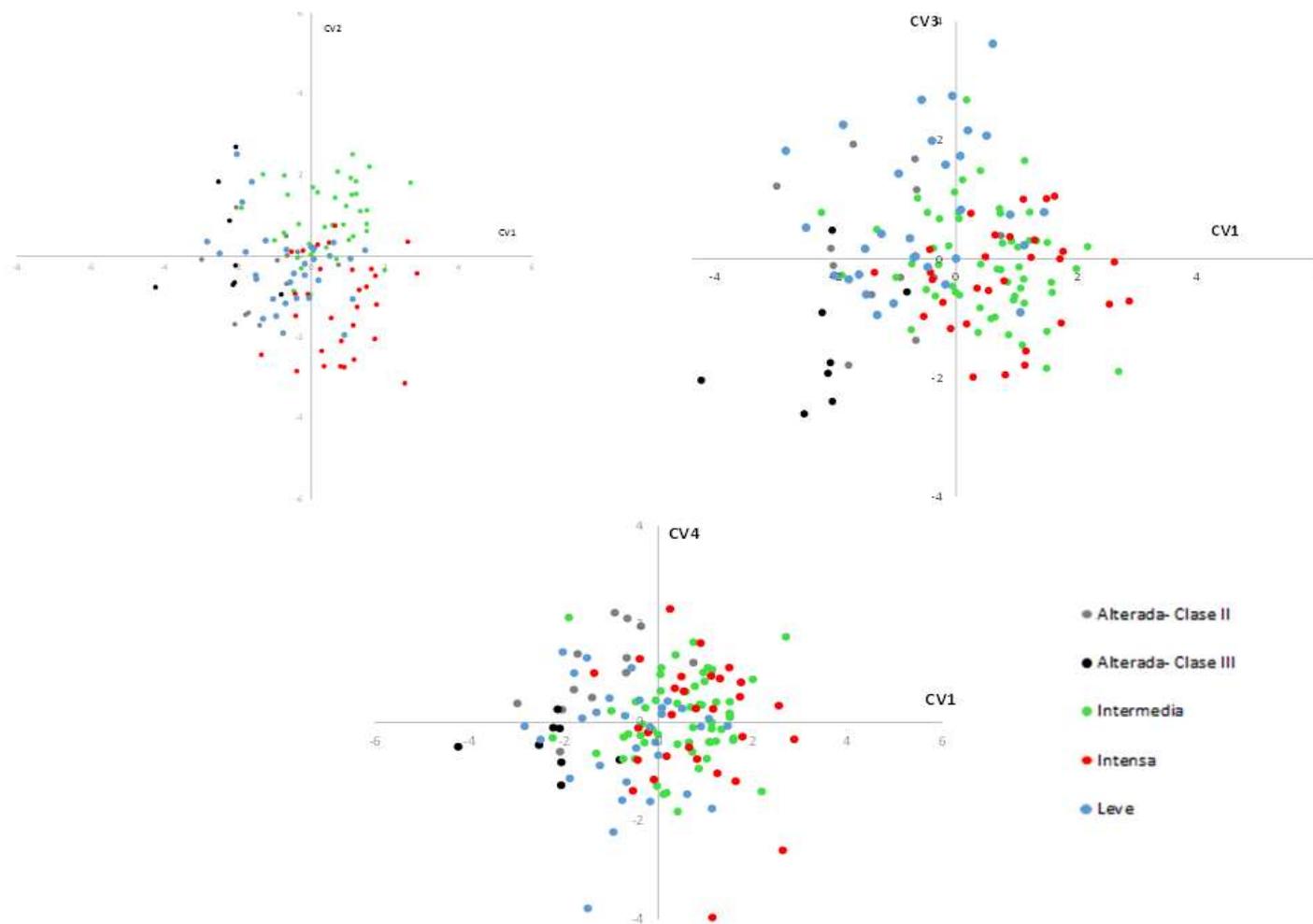


Figura 7. Análisis de variables canónicas. Gráficos de dispersión de los valores de las cuatro variables canónicas

Tabla 5. Valores de p de las pruebas de permutación para las distancias de Procusto entre grupos (valores significativos de  $p \leq 0,05$ ).

	Alterada-Clase II	Alterada-Clase III	Intermedia	Intensa
Alterada-Clase III	0,1210			
Intermedia	0,0050	0,0010		
Intensa	0,0270	0,0010	<.0001	
Leve	0,2180	0,0400	0,1250	0,0170

La variación morfométrica entre los grupos para intensidad de carga se muestra en la figura 8. Más allá de la intensidad de carga, en los gráficos de dispersión se pudo evidenciar una separación entre grupos extremos (carga intensa se aleja del resto de los grupos al igual que el grupo de individuos clase III en el CV1), así como también los individuos clase I (carga intensa, intermedia y leve) de los del grupo con carga alterada clase III en el CV3. En la representación esquemática de las variables canónicas (Figura 8) se aprecian las diferencias morfológicas (wireframe azul) respecto a la representación promedio para cada CV (wireframe celeste). Como se mencionó, en CV1 se observa la tendencia a separar a los individuos de acuerdo con su relación maxilomandibular, lo que en el esquema se representa con individuos con raíces más divergentes, cuellos más angostos y ubicación de la furca más hacia cervical. Así mismo, los individuos clase III muestran raíces más convergentes con tendencia a la fusión, cuellos más robustos con furcas más apicalizadas (ubicándose en el sector negativo del gráfico de dispersión, con un comportamiento diferente al promedio). En CV2 agricultores (intensidad de carga intermedia), muestran raíces más fusionadas y la furca más apical. En CV3 se observan los individuos clase I sobrepuestos entre sí, independiente de su grupo, extremando la diferencia con los individuos clase III, en cuanto a los individuos clase II se comportan de manera similar a los de clase I, lo que esquemáticamente se representa para esta variable canónica como raíces más convergentes y furca más apical. En CV4 se observan los grupos más

solapados entre ellos, donde esquemáticamente se observa mayor divergencia de las raíces, así como la furca más hacia cervical.

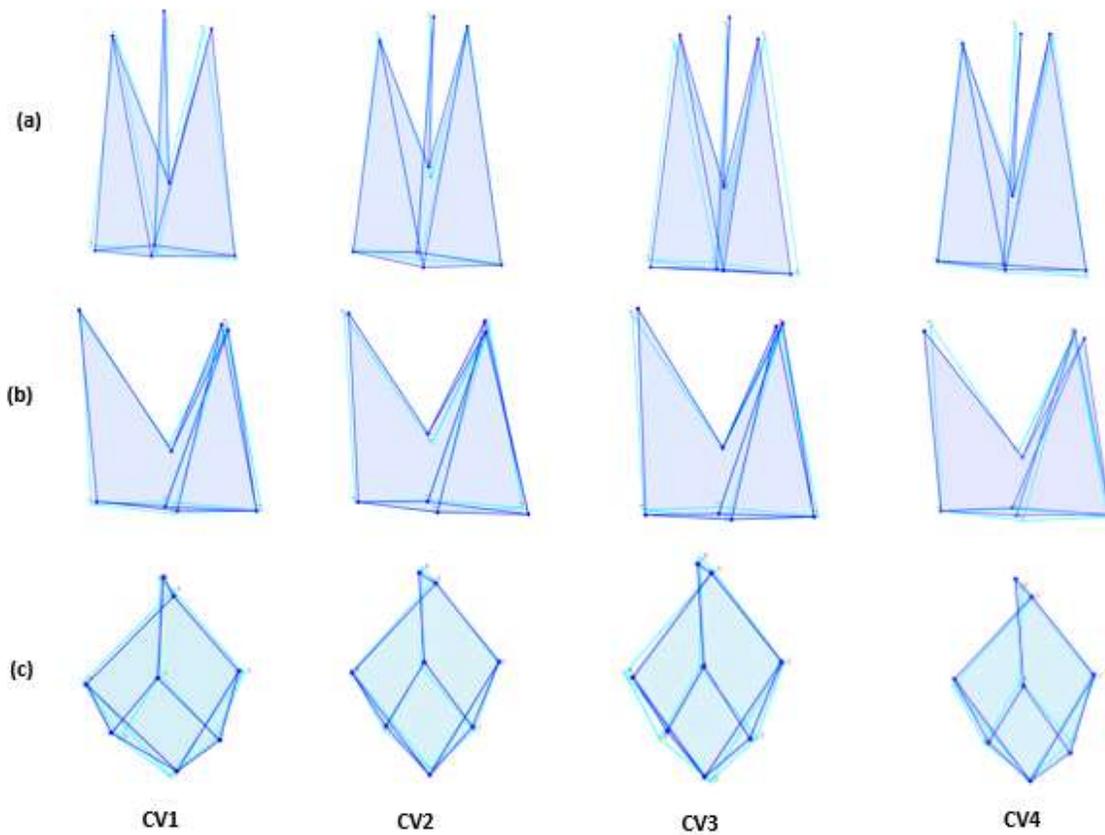


Figura 8. Análisis de las variables canónicas. Esquemas muestran la representación de la variable en su vista palatina (a), mesial (b) y apical (c).

## 8. Discusión

Como se mencionó en los antecedentes las variaciones en la forma de la raíz del primer molar superior permanente no han sido bien estudiadas en humanos. Se sabe que existe mayor variación de la forma de la raíz entre especies como se ha reportado en estudios de grandes simios, donde los consumidores de alimentos de consistencia más dura presentan mayores áreas radiculares (mayores cargas oclusales) que los que basan su dieta en alimentos blandos (Kupczik et al., 2018). En cuanto a la relación maxilomandibular, se conoce la influencia en cuanto a su desarrollo dependiendo de la consistencia en la dieta (Lieberman et al., 2004).

El objetivo de esta tesis fue analizar la variación de la forma de las raíces del primer molar superior izquierdo en diferentes poblaciones arqueológicas y actuales en relación con la intensidad de carga masticatoria y relación maxilomandibular. En base a esto se realizaron diferentes análisis con morfometría geométrica que permitieron, a través de estadística multivariada, determinar las características propias de cada grupo para su posterior comparación de la forma. Al efectuar un primer análisis de la variación la forma radicular a través de componentes principales, no se evidenció una separación clara de los individuos de acuerdo con la intensidad de carga masticatoria (Figura 6), mostrándose todos los grupos superpuestos unos con otros, sin tendencia evidente. Debido a lo anterior y como una manera de “forzar” las diferencias entre grupos es que se determinó realizar un análisis de variables canónicas. Este segundo análisis de los datos evidenció una distinción más visible de los datos. En el CV1 que explica el 40,69% de la varianza, se distingue la separación entre los grupos donde los de carga intensa se muestran al extremo positivo del eje, mientras que los individuos carga leve alterada clase III se ubican en el lado negativo del eje. Esquemáticamente esto se observa como raíces más convergentes, con furca más apicalizada y área cervical más robusta en el caso del grupo con carga alterada, mientras que los individuos del otro extremo, carga intensa, tienden a las raíces divergentes con furcas más coronales (Figura 8).

Cuando se observa CV1 contra CV3, el grupo carga intensa se superpone con el resto de los grupos, mientras el grupo carga alterada III, se aleja hacia los valores negativos tanto en el eje x e y.

Nuestros resultados confirman la hipótesis de trabajo de manera parcial, la variación de la forma de raíz de 1MS es influida por la intensidad de carga masticatoria en menor medida de lo esperado inicialmente. Sin embargo, la influencia que ejerce la relación maxilomandibular si es estadísticamente significativa. Los individuos modernos, tanto arqueológicos como actuales, comparten una dieta blanda donde los alimentos son mayormente procesados, por lo que su comportamiento en cuanto a la variación de la forma es similar mientras posean una misma relación entre los maxilares. Así, los individuos con carga alterada clase esquelética y de Angle III se separan del grupo moderno, tomando valores extremos en los CVA.

Estos resultados sugieren que, en efecto, la forma de la raíz dental, particularmente la del 1MS es bastante conservada, sin grandes variaciones dentro de humanos. Así, el desarrollo de la raíz no estaría, en general, siendo afectado por las cargas a las que se ve sometida. Sin embargo, la forma distintiva de la clase III podría indicar que, ante situaciones de carga más extremas, podría existir algún tipo de efecto de la fuerza masticatoria sobre la forma de la raíz. La clase III esquelética puede presentarse con una retrusión esquelética maxilar (hipoplasia maxilar), y protrusión esquelética mandibular (prognatismo mandibular), o la combinación de ambas (Ramírez-Mendoza et al., 2010). Se ha reportado en estudios que individuos con anomalías dentomaxilares, tienen valores de fuerza de mordida más bajos que los individuos de oclusión normal (Trawitzki et al., 2011). Proponemos que la forma de la raíz diferentes en individuos clase III podría deberse a alteraciones más extremas de los vectores de fuerza, para lo cual se requieren estudios acabados acerca de la biomecánica en clase III esquelética y así dilucidar el efecto disruptor de estos vectores sobre el desarrollo del tejido óseo que rodea a las raíces en formación.

Desde el punto de vista clínico, es importante tomar en consideración la forma de la raíz del 1MS que, a pesar de ser conservada en la mayoría de los casos, como se observó en los resultados, los individuos clase III esquelética presentan características clínicas particulares donde sería de utilidad en la predicción de tratamientos en varias áreas de la odontología. En periodoncia, tanto la ubicación de la furca y la divergencia-convergencia de las raíces condicionan las opciones de tratamientos en los casos de enfermedad periodontal. La comprensión y análisis del complejo radicular el cual incluye tronco radicular (región radicular no dividida de la raíz), divergencia, cono radicular (parte dividida del complejo radicular), forma y posición de las raíces de los dientes multiradiculares, es reportado como fundamental para lograr el éxito de los tratamientos a largo plazo a nivel de las furcaciones (Giménez de Salazar, 2005). En cirugía anticipa el abordaje terapéutico en el caso de exodoncias, la distancia del piso cameral y la dirección tentativa de las raíces en endodoncia. También hace previsible la complejidad en el uso sistema de pernos colados en rehabilitación oral, en el caso de que exista mucha convergencia de las raíces o la dificultad en la desobturación o preparación de los conductos con fresas de conformación por riesgo de fracturas.

Los resultados encontrados en la tesis abren nuevas interrogantes sobre cuál sería el proceso, desde lo mecánico hasta lo histológico y molecular, que determina la diferencia de la forma radicular de la clase esquelética III del resto de los individuos, por qué los individuos clase II esquelética se comportan de una forma similar a los individuos clase I esquelética o si es necesario realizar nuevas investigaciones que permitan su adecuado estudio. Sería interesante, además, relacionar los resultados con el biotipo facial de los individuos, de forma de relacionar la biomecánica (como se mencionó anteriormente) con la variación morfológica de la raíz, situación que se vio limitada en esta tesis debido a que la mayor parte del estudio se realizó en individuos arqueológicos.

## 9. Conclusiones

1. La morfología radicular del primer molar es bastante conservada entre las poblaciones de acuerdo con su intensidad de carga masticatoria.
2. Existe una superposición en la variación de la forma entre de los distintos grupos, independiente de la intensidad carga masticatoria y origen, sin embargo, las muestras tienden a agruparse según la clase esquelética en I y II juntos, separándose de ellas los individuos del grupo con carga alterada clase esquelética III.
3. La forma de la raíz promedio del 1MS en los grupos de carga intensa, intermedia y leve, así como en los individuos clase II tiene gran similitud, presentando raíces con tendencia a ser divergente, con furcas más hacia coronal y con cuellos más estrechos, en comparación a individuos del grupo con carga alterada clase III, quienes presentan raíces con tendencia a la convergencia, cuellos más robustos y furcas más apicalizadas.

## 10. Bibliografía

- Abarca, V. (2011). *Efectos de la nutrición sobre el Dimorfismo Sexual expresado en la Estatura (SSD) de una muestra de población Chilena Subactual*. (BSc in Physical Anthropology), Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Ahmed, H. A., Abu-bakr, N. H., Yahia, N. A., & Ibrahim, Y. E. (2007). Root and canal morphology of permanent mandibular molars in a Sudanese population. *International Endodontic Journal*, 40(10), 766-771.
- Aiello, L., Dean, C., & Cameron, J. (1990). *An introduction to human evolutionary anatomy* (Vol. 1). London: Academic Press.
- Alaluusua, S. (2010). Aetiology of molar-incisor hypomineralisation: a systematic review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 11(2), 53-58.
- Alvarez, A., Unda, F., Cañavate, M.-L., & Hilario, E. (2009). Stem cell and regenerative medicine. *Current stem cell research & therapy*, 4(4), 287-297.
- Álvarez Díaz, A. A., & Hilario Rodríguez, E. (2009). *Revisiones en Biología celular y molecular*. Lejona, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatearen Argitalpen Zerbitzua.
- Andreasen, J. O., Paulsen, H. U., Yu, Z., & Bayer, T. (1990). A long-term study of 370 autotransplanted premolars. Part IV. Root development subsequent to transplantation. *European Journal of Orthodontics*, 12(1), 38-50.
- Angarita, N., Cedeño, C., Pomonty, D., Quilarque, L., Quirós, O., Maza, P., D Jurisc, A., Alcedo, C., & Fuenmayor, D. (2009). Consecuencias de la pérdida prematura del primer molar permanente en un grupo de alumnos de la escuela básica San José de Cacahual con edades comprendidas entre los 10 y 15 años. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría*, 3(19), 1-10.
- Arias, M., & Herrera, M. J. (2012). *Caracterización del modo de vida, salud y dieta de las poblaciones de los cementerios Caserones-Tarapacá 40 y Cádiz 3 (Período Formativo, Región de Tarapacá)*. Paper presented at the Actas del XVIII Congreso Nacional de Arqueología Chilena.
- Avery, J. K. C., Daniel Jr, J., Avery, J. K., & Chiego Jr, D. J. (2007). *Principios de histología y embriología con orientación clínica*. Madrid, España: Elsevier.

- Baffi, E. I., Torres, M. F., & Cocilovo, J. A. (1996). La población prehispánica de Las Pirguas (Salta, Argentina). *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 1, 1.
- Bahrololoomi, Z., Ghafourifard, R., & Soleimani, A. A. (2014). Primary mandibular first molar with single root and single canal: A case report of a rare morphology. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, 11(3), 355.
- Baldini, M., Baffi, E., & Togo, J. (1998). Abrigos y cavernas que hacen historia: los hallazgos de Las Pirguas (Pampa Grande, Salta). *Homenaje a Alberto Rex González*, 50, 343-359.
- Bengoa, J. (2000). *Historia del pueblo mapuche:(siglo XIX y XX)* (Vol. 7). Santiago, Chile: LOM ediciones.
- Benítez, H., Briones, R., & Jerez, V. (2008). Asimetría fluctuante en dos poblaciones de *Ceroglossus chilensis* (Escbscroltz, 1829)(Coleóptera: Carabidae) en el agroecosistema Pinusradíala d. Don Región del Bío-Bío, Chile. *Gayana (Concepción)*, 72(2), 131-139.
- Bermúdez, S., González, A., Márquez, J., Restuccia, G., Kammann, M., Zambrano, O., Flores-Hidalgo, A., Fariñas, G., GUERRA, M. E., & Osorio, A. (2013). Prevalencia de caries y tratamientos realizados en el primer molar permanente en la población de Rio Chico. Estado Miranda, Venezuela. *Acta Odontológica Venezolana [revista en Internet]*, 51(4).
- Bernal, V., Novellino, P., Gonzalez, P. N., & Perez, S. I. (2007). Role of wild plant foods among late Holocene hunter-gatherers from Central and North Patagonia (South America): An approach from dental evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(4), 1047-1059.
- Bernal, V., Perez, S. I., & Gonzalez, P. N. (2006). Variation and causal factors of craniofacial robusticity in Patagonian hunter-gatherers from the late holocene. *American Journal of Human Biology*, 18, 748-765.
- Betancourt, P., Fuentes, R., Aracena Rojas, S., Cantín, M., & Navarro Cáceres, P. (2013). Prevalencia del segundo canal en la raíz mesiovestibular de los primeros molares maxilares mediante tomografía computarizada de haz de cono. *Avances en odontoestomatología*, 29(1), 31-36.
- Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge: University Press.

- Borrero, L. A. (1999). The prehistoric exploration and colonization of Fuego-Patagonia. *Journal of World Prehistory*, 13(3), 321-355.
- Carnese, F. R., Mendisco, F., Keyser, C., Dejean, C. B., Dugoujon, J. M., Bravi, C. M., Ludes, B., & Crubézy, E. (2010). Paleogenetical study of pre-Columbian samples from Pampa Grande (Salta, Argentina). *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 141(3), 452-462.
- Cleghorn, B. M., Christie, W. H., & Dong, C. C. (2006). Root and root canal morphology of the human permanent maxillary first molar: a literature review. *Journal of Endodontics*, 32(9), 813-821.
- Cobourne, M. T., & DiBiase, A. T. (2010). *Handbook of orthodontics*. Edinburgh, UK: Elsevier Health Sciences.
- Corruccini, R. S. (1984). An epidemiologic transition in dental occlusion in world populations. *American Journal of Orthodontics*, 86(5), 419-426.
- Delgadillo Ávila, J. R. (2005). Crecimiento y desarrollo del seno maxilar y su relación con las raíces dentarias. *Repositorio Académico Universidad de San Martín de Porres (Kiru)*, 2(1).
- Dopico, M., & Castro, C. (2015). Importancia del primer molar permanente y consecuencias clínicas de su pérdida en edades tempranas del desarrollo. *Revista Ateneo Argentina de Odontología*, 54(2), 23-27.
- Dryden, I. L., & Mardia, K. V. (1998). *Statistical shape analysis*. Chichester, UK: Wiley
- El-Zaatari, S. (2010). Occlusal microwear texture analysis and the diets of historical/prehistoric hunter-gatherers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 20(1), 67-87.
- English, J. D., Buschang, P., & Throckmorton, G. (2002). Does malocclusion affect masticatory performance? *The Angle Orthodontist*, 72(1), 21-27.
- Evans, A. R., Daly, E. S., Catlett, K. K., Paul, K. S., King, S. J., Skinner, M. M., Nesse, H. P., Hublin, J.-J., Townsend, G. C., Schwartz, G. T., & Jernvall, J. (2016). A simple rule governs the evolution and development of hominin tooth size. *Nature*, 530(7591), 477-480.

- Eyquem, A., & Toro-Ibacache, V. (2018). *Efecto de la intensidad masticatoria en la forma craneal en poblaciones arqueológicas y modernas de Chile y Argentina*. (Anthropology), Universidad de Chile.
- Fleischmannova, J., Matalova, E., Sharpe, P. T., Misek, I., & Radlanski, R. J. (2009). Formation of the Tooth-Bone Interface. *Journal of Dental Research*, 89(2), 108-115.
- García, M., & Uribe, M. (2012). Contextos de uso de las plantas vinculadas al Complejo Pica Tarapacá, Andes Centro-Sur: Arqueobotánica y agricultura en el período Intermedio Tardío (ca. 1250-1450 DC). *Estudios atacameños*(44), 107-122.
- Giannini, S., Buda, R., Di Caprio, F., Agati, P., Bigi, A., De Pasquale, V., & Ruggeri, A. (2008). Effects of freezing on the biomechanical and structural properties of human posterior tibial tendons. *International Orthopaedics*, 32(2), 145-151.
- Giménez de Salazar, X. (2005). Anatomía radicular y su relación con las lesiones de furcación. *Acta Odontológica Venezolana*, 43(3), 304-310.
- González-José, R., Ramírez-Rozzi, F., Sardi, M., Martínez-Abadías, N., Hernández, M., & Pucciarelli, H. M. (2005). Functional-cranial approach to the influence of economic strategy on skull morphology. *American Journal of Physical Anthropology*, 128(4), 757-771.
- González Beriau, Y., Sexto Delgado, N., Francisco Local, A., & Vázquez de León, A. G. (2009). Comportamiento de la caries dental en el primer molar permanente en escolares. *Medisur*, 7(1).
- Gower, J. C. (1975). Generalized procrustes analysis. *Psychometrika*, 40(1), 33-51.
- Honda, M. J., Shinohara, Y., Sumita, Y., Tonomura, A., Kagami, H., & Ueda, M. (2006). Shear stress facilitates tissue-engineered odontogenesis. *Bone*, 39(1), 125-133.
- Jaramillo, N. (2011a). Morfometría Geométrica: Principios Teóricos y Métodos de Empleo. *Research Gate*, 7(4), 23.

- Jaramillo, N. (2011b). Morfometría Geométrica: Principios Teóricos y Métodos de Empleo *Research Gate* (1 ed.). Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Kelly, R. L. (1983). Hunter-Gatherer Mobility Strategies. *Journal of Anthropological Research*, 39(3), 277-306.
- Kendall, D. G. (1977). The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, 9(3), 428-430.
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357.
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods. *Evolution*, 1363-1375.
- Kovacs, I. (1967). Contribution to the Ontogenetic Morphology of Roots of Human Teeth. *Journal of Dental Research*, 46(5), 865-874.
- Kupczik, K., & Hublin, J.-J. (2010). Mandibular molar root morphology in Neanderthals and Late Pleistocene and recent *Homo sapiens*. *Journal of Human Evolution*, 59(5), 525-541.
- Kupczik, K., & Stynder, D. D. (2012). Tooth root morphology as an indicator for dietary specialization in carnivores (Mammalia: Carnivora). *Biological Journal of the Linnean Society*, 105(2), 456-471.
- Kupczik, K., Toro-Ibacache, V., & Macho, G. A. (2018). On the relationship between maxillary molar root shape and jaw kinematics in *Australopithecus africanus* and *Paranthropus robustus*. *Royal Society Open Science*, 5(8), 180825.
- Lanata, J., Martino, L., Osella, A., & Garcia-Herbst, A. (2008). Ambiente y demografía durante la dispersión humana inicial en Sudamérica. *Ecología Histórica: Interacciones Sociedad-Ambiente a Distintas Escalas Espacio* (eds C. López and G. Ospina). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 24-29.
- Lang-Arce, C. (2010). Proteínas de Matriz de Esmalte (AMELOGENINA). *Revista Científica Odontológica*, 1(1).

- Le Cabec, A., Kupczik, K., Gunz, P., Braga, J., & Hublin, J.-J. (2012). Long anterior mandibular tooth roots in Neanderthals are not the result of their large jaws. *Journal of Human Evolution*, 63(5), 667-681.
- Lieberman, D. E. (2008). Speculations about the selective basis for modern human craniofacial form. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 17(1), 55-68.
- Lieberman, D. E., Krovitz, G. E., Yates, F. W., Devlin, M., & St. Claire, M. (2004). Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. *Journal of Human Evolution*, 46(6), 655-677.
- Luan, X., Ito, Y., & Diekwisch, T. G. H. (2006). Evolution and development of Hertwig's epithelial root sheath. *Developmental Dynamics*, 235(5), 1167-1180.
- Marangoni, A., Belli, M. L., Caramelli, D., Moggi Cecchi, J., Zavattaro, M., & Manzi, G. (2011). Tierra del Fuego, its ancient inhabitants, and the collections of skeletal remains in the Museum of Anthropology of Florence and Rome. *Museologia Scientifica*, 5(1-2), 88-96.
- Monteiro, C. A., Levy, R. B., Claro, R. M., Castro, I. R. R. d., & Cannon, G. (2010). A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cadernos de Saúde Pública*, 26, 2039-2049.
- Nanci, A. (2013). *Ten Cate's oral histology: development, structure, and function* (8th ed.). St. Louis: Elsevier Health Sciences.
- Núñez, L. (1966). Caserones-I, una aldea prehispánica del Norte de Chile. *Estudios arqueológicos*, 2, 25-29.
- Orquera, L. A., & Piana, E. L. (2009). Sea nomads of the Beagle Channel in Southernmost South America: over six thousand years of coastal adaptation and stability. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, 4(1), 61-81.
- Paschetta, C., & González-José, R. (2014). Estimaciones de fuerza de mordida y su relación con las características de la dieta. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 16(1), 39-50.
- Perez, S. I. (2011). Human peopling, ecological differentiation and phenotypic diversification in America. *Runa: Archivo para las ciencias del hombre*, 32(1), 83-104.

- Perez, S. I., & Monteiro, L. R. (2009). Nonrandom factors in modern human morphological diversification: a study of craniofacial variation in southern South American populations. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, 63(4), 978-993.
- Pham, C.-D., Smith, C. E., Hu, Y., Hu, J. C., Simmer, J. P., & Chun, Y.-H. P. (2017). Endocytosis and Enamel Formation. *Frontiers in physiology*, 8, 529.
- Ramírez-Mendoza, J., Muñoz-Martínez, C., Gallegos-Ramírez, A., & Rueda-Ventura, M. A. (2010). Maloclusión clase III. *Salud en tabasco*, 16(2-3), 944-950.
- Rohlf, F. J. (1995). Multivariate analysis of shape using partial-warp scores. *Proceedings in current issues in statistical shape analysis*, 154-158.
- Rothhammer, F., & Llop, E. (Eds.). (2004). *Poblaciones chilenas: cuatro décadas de investigaciones bioantropológicas*. Santiago: Editorial Universitaria.
- Sarrafpour, B., Swain, M., Li, Q., & Zoellner, H. (2013). Tooth eruption results from bone remodelling driven by bite forces sensed by soft tissue dental follicles: a finite element analysis. *PLoS ONE*, 8(3), e58803.
- Smith, B. H. (1984). Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalists. *American Journal of Physical Anthropology*, 63(1), 39-56.
- Spears, I. R., & Macho, G. A. (1998). Biomechanical behaviour of modern human molars: implications for interpreting the fossil record. *American Journal of Physical Anthropology*, 106(4), 467-482.
- Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D. W., Bridges, C. R., Shrager, J. B., Minugh-Purvis, N., & Mitchell, M. A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, 428(6981), 415-418.
- Teaford, M. F., & Ungar, P. S. (2000). Diet and the evolution of the earliest human ancestors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), 13506-13511.
- Toro Ibacache, M. V., Manriquez Soto, G., & Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977-990.

- Torrijo Boix, S. (2015). *Factores evolutivos y ecológicos en la diversificación fenotípica dental de poblaciones humanas modernas a través de técnicas de morfometría geométrica*. (Doctoral dissertation), Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante.
- Trawitzki, L., Silva, J., Regalo, S., & Mello-Filho, F. (2011). Effect of class II and class III dentofacial deformities under orthodontic treatment on maximal isometric bite force. *Archives of Oral Biology*, 56(10), 972-976.
- Trivero, A. (2005). Los primeros pobladores de Chiloé. Génesis del horizonte mapuche: Obtenido de: [http://www.mapuche.info/wps\\_pdf/Trivero050900.pdf](http://www.mapuche.info/wps_pdf/Trivero050900.pdf).
- Uribe, M. (2006). Acerca de complejidad, desigualdad social y el complejo cultural Pica-Tarapacá en los Andes Centro-Sur (1000-1450 DC). *Estudios atacameños*(31), 91-114.
- Uribe, M., Sanhueza, L., & Bahamondes, F. (2007). La cerámica prehispánica tardía de Tarapacá, sus valles interiores y costa desértica, norte de Chile (CA. 900-1.450 DC): Una propuesta tipológica y cronológica. *Chungará (Arica)*, 39(2), 143-170.
- Uslu, O., Akcam, M. O., Evirgen, S., & Cebeci, I. (2009). Prevalence of dental anomalies in various malocclusions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(3), 328-335.
- Vázquez, L. A., Amoroso, L. M. V., & Pujalte, Y. L. (2012). La pérdida del primer molar permanente en niños de 12 a 14 años de edad. The loss of the first permanent molar in children from 12 to 14 years of age *MediCiego* (Vol. 18): Obtenido de: [bvs.sld.cu/revistas/mciego/vol18\\_supl2\\_2012/pdf/T7.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/mciego/vol18_supl2_2012/pdf/T7.pdf).
- Villalba, E., Gutiérrez, D., & Díaz, R. (2009). Evaluación de la relación maxilomandibular, parte clave del diagnóstico ortodóncico. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odonto-pediatría*, 23(4), 432-438.
- von Cramon-Taubadel, N. (2011). Global human mandibular variation reflects differences in agricultural and hunter-gatherer subsistence strategies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19546-19551.
- Wright, T. (2007). The molecular control of and clinical variations in root formation. *Cells Tissues Organs*, 186(1), 86-93.

Zapater, H., & Equioíz, H. Z. (1998). *Aborígenes chilenos a través de cronistas y viajeros*. Santiago, Chile: Andres Bello.

## 10. Anexos

Acta de aprobación del comité de ética de investigación en seres humanos de la facultad de medicina de la universidad de chile (2 páginas).



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



04 ENE. 2016

### ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

FECHA: 04 de enero de 2016.

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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



04 ENE. 2016

INTEGRANTES DEL COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN  
EN SERES HUMANOS

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

Santiago, 04 de enero de 2016.

  
 Dr. Manuel Oyarzún Gómez  
 PRESIDENTE CEISH



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