



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Sociales  
Departamento de Antropología

## **Validación cuantitativa de ASUDAS como sistema de clasificación en poblaciones mestizas**

Memoria para optar al Título Profesional de Antropóloga Física

Paulina Andrea Marshall de La Maza

Profesor guía:

Germán Manríquez Soto Ph.D.

Santiago de Chile, abril 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, abuelos y hermanos, por su preocupación y paciencia durante el proceso de elaboración de esta memoria.

A mis amigos, por su fascinación y asombro con la temática de este trabajo y por el entusiasmo con que aplaudieron cada pequeño avance.

A mi profesor guía, por su paciencia y flexibilidad durante este proceso y por su confianza en mis habilidades y mi trabajo.

A mis compañeros y colegas, por su complicidad, colaboración, consejos y palabras de aliento en cada etapa de este proceso.

## TABLA DE CONTENIDOS

Resumen .....	4
1. Antecedentes .....	5
1.1. Antropología dental .....	5
1.1.1. Orígenes de la antropología dental .....	5
1.1.2. Los dientes como material de estudio .....	6
1.1.3. La clasificación en antropología dental .....	7
1.1.4. El registro del dato morfológico .....	8
1.2. Sistema de Antropología Dental ASU .....	10
1.2.1. Origen y propuesta .....	10
1.2.2. Los rasgos morfológicos dentales .....	10
1.2.3. Alcance y limitaciones .....	11
1.3. Morfología dental continua o cuasicontinua .....	13
1.3.1. La base genética de la morfología dental .....	13
1.3.2. La importancia del muestreo .....	16
1.3.3. El método propuesto .....	18
1.4. La población mestiza de Santiago de Chile .....	19
2. Problema de investigación .....	23
2.1. Pregunta de investigación .....	23
2.2. Objetivos .....	23
2.3. Hipótesis .....	23
3. Metodología .....	24
3.1. Muestra .....	24
3.1.1. Cálculo del tamaño muestral .....	24
3.1.2. Muestra final .....	26
3.2. Materiales .....	27
3.2.1. Softwares .....	28
3.3. Recolección de datos .....	31
3.3.1. Amerindicidad genética y estimada .....	31
3.3.2. Sistema de Antropología Dental ASU .....	32
3.3.3. Morfometría Geométrica .....	35

3.4. Análisis de datos .....	37
3.4.1. Error intra e inter-observador .....	37
3.4.2. Poder estadístico .....	38
3.4.3. Análisis de los RMD según ASUDAS.....	39
3.4.4. Análisis de los RMD según Morfometría Geométrica .....	41
3.4.5. Análisis de correspondencia .....	43
4. Resultados.....	44
4.1. Amerindicidad estimada .....	44
4.2. Resultados ASUDAS.....	48
4.2.1. Error intra e inter-observador en ASUDAS.....	50
4.2.2. Frecuencias poblacionales.....	50
4.2.3. Análisis de Coordenadas Principales (PCoA).....	55
4.3. Resultados Morfometría Geométrica .....	57
4.3.1. Error intraobservador en Morfometría Geométrica .....	57
4.3.2. Análisis de Componentes Principales (PCA).....	58
4.3.3. ANOVA .....	66
4.4. Poder estadístico de cada rasgo .....	67
4.5. Análisis de correspondencia .....	69
5. Discusión .....	72
6. Conclusiones .....	77
Bibliografía.....	79
Anexo: .....	86

## **RESUMEN**

El sistema ASUDAS es globalmente utilizado para determinar distancias biológicas entre individuos y poblaciones humanas por medio del análisis de rasgos morfológicos dentales. Este sistema ha sido criticado por su ineficacia en ciertas poblaciones, adjudicada principalmente al uso de variables discretas en la descripción de rasgos dentales cuasicontínuos. Por este y otros motivos, existen dudas sobre la utilidad y confiabilidad de este sistema en poblaciones mestizas. En este trabajo se analizaron rasgos morfológicos dentales de una muestra de la población mestiza de Santiago de Chile. Con el objetivo de conocer la capacidad predictiva de ASUDAS para clasificar morfología dental en poblaciones mestizas, se utilizó Morfometría Geométrica para realizar una validación cuantitativa de este sistema y se analizó la correspondencia entre ambas herramientas en la muestra. Se obtuvo que ASUDAS se corresponde significativamente con las agrupaciones obtenidas con Morfometría Geométrica sólo para rasgos morfológicos dentales de los incisivos centrales y laterales superiores. Se discute la capacidad predictiva diferenciada de cada rasgo morfológico dental para discriminar en poblaciones mestizas. Finalmente, se concluyó que los rasgos de los incisivos centrales y laterales superiores tienen una capacidad predictiva alta, y los rasgos de los molares tienen una capacidad predictiva baja en esta población mestiza.

### **Palabras clave**

Antropología dental, rasgos morfológicos dentales, ASUDAS, Morfometría Geométrica, Santiago de Chile

## **1. ANTECEDENTES**

### ***1.1. Antropología dental***

La antropología dental es la disciplina perteneciente a la antropología física que estudia el origen, evolución y desarrollo de la dentición de primates, en especial de los humanos, y de su relación con las variables biológicas, sociales y culturales de éstos (Farlex, 2012). Hoy existe un amplio espectro de disciplinas científicas con focos específicos de investigación en la dentición, por lo que se las considera disciplinas relacionadas a la antropología dental. Dentro de éstas se encuentran, por ejemplo, arqueología, paleontología, primatología, zoología, odontología forense, anatomía y genética (Alt, Brace y Türp, 1998).

#### ***1.1.1. Orígenes de la antropología dental***

Si bien el estudio de los dientes se puede remontar hasta la Antigüedad (Alt, Brace y Türp, 1998; Marado, 2014), el estudio sistemático de la morfología dental comenzó en la primera mitad del s. XIX, como parte de la antropología física. Luego, en el s. XX, se dio origen a la antropología dental como disciplina definida (Marado, 2014).

Durante el s. XIX, los primeros antropólogos y odontólogos interesados en la morfología dental descubrieron que algunas de las variantes morfológicas de los dientes, como los números de cúspides en los molares superiores e inferiores, distinguían o diferenciaban las principales “razas” de la humanidad (Scott y Turner, 1997). El principal objetivo del estudio de morfología dental en humanos durante el s. XIX fue el de describir diferencias perceptibles entre estas “razas” (Marado, 2014).

A finales del s. XIX, en particular desde la década de 1870 en adelante, comenzaron a surgir en Europa numerosas publicaciones sobre dentición y morfología dental. Estos trabajos, en su mayoría sobre diferencias “raciales” o étnicas, pudieron haber sido el hecho que aumentó el interés en la biología de poblaciones para investigadores de Europa, Norteamérica, Japón y otras regiones en el s. XX (Alt, Brace y Türp, 1998). Para la llegada del cambio de siglo, en Europa la antropología física era ya una disciplina establecida (Alt, Brace y Türp, 1998).

Además, durante el s. XIX y los comienzos del s. XX, el descubrimiento constante de restos fósiles de homínidos en Europa y África posicionó los dientes como una herramienta valiosa para explorar las preguntas que surgían sobre ontogenia y filogenia (Alt, Brace y Türp, 1998) de estos homínidos, además de su desarrollo y evolución (Haddow, 2012). El conjunto de estos dos procesos, (1) el surgimiento de estudios con enfoque poblacional de “razas” o etnias particulares y (2) el trabajo en base a

descubrimientos fósiles, marcaron los inicios del desarrollo independiente de la antropología dental como disciplina durante la primera mitad del s. XX (Hillson 1996).

A. Hrdlička (1869-1943) es reconocido por ser uno de los promotores más influyentes de la investigación en antropología dental en la primera mitad del s. XX (Hrdlička, 1911; 1920; 1924; Alt, Brace y Türp, 1998). Para la segunda mitad del s. XX, uno de los trabajos de A.A. Dahlberg (1908-1993) titulado “The Changing Dentition of Man” (1945) desarrolló el concepto de estudio de poblaciones basándose en los dientes, lo que catapultó el número de estudios en antropología dental hacia finales del s. XX (Dahlberg, 1945; 1991; Hillson, 1996; Haddow, 2012), y marcando el inicio de una era de investigación antropológica (Alt, Brace y Türp, 1998).

### **1.1.2. Los dientes como material de estudio**

Existen diversas cualidades que hacen de los dientes un material de investigación útil para las disciplinas como la antropología física y forense, la paleontología, la zoología, entre otras. Entre estas cualidades, la más ampliamente reconocida es su durabilidad, conservación y resistencia a los procesos tafonómicos que normalmente afectan el resto de las osamentas en contextos fósiles y arqueológicos. También se ha descrito que la morfología dental es altamente heredable (Scott y Turner, 1997; 2008; Tyrrell, 2000; Irish y Nelson, 2008), y poco influenciada por factores ambientales durante la gestación del organismo en el útero de la madre (Marado, 2014).

En cuanto a los rasgos morfológicos dentales, en general éstos tienen la ventaja de ser fácilmente observables y reconocibles (Turner, Nichol y Scott, 1991); de presentar nada o muy bajo dimorfismo sexual (Turner, Nichol y Scott, 1991; Tyrrell, 2000; Marado, 2014); y de heredarse de forma independiente entre sí (Tyrrell, 2000).

Los rasgos morfológicos dentales se han descrito como selectivamente neutros y conservados evolutivamente (Turner, Nichol y Scott, 1991), y también dependientes de una porción pequeña y estable del genoma (Tyrrell, 2000), motivo por los cuales son, en su mayoría, considerados como buenos representantes de la información genética neutral (Hillson, 1996; Scott y Turner, 1997; Tyrrell, 2000; Rathmann et al, 2017).

En cuanto a la herencia de estos rasgos, además, se ha descartado el modelo simple de rasgos dominantes-recesivos y se ha aceptado la idea de un modelo de herencia más bien multifactorial y complejo, es decir, un patrón de herencia poligénica (Scott y Turner, 1997; 2008; Haddow, 2012).

### **1.1.3. La clasificación en antropología dental**

La antropología física y forense como disciplinas tienen como una de sus tareas la estimación de ancestría de individuos tanto arqueológicos como modernos, mediante el análisis de estructuras anatómicas –en este caso rasgos morfológicos dentales- que tradicionalmente se han asociado a unos u otros grupos o subdivisiones de la humanidad.

Esta necesidad de clasificar los organismos en grupos, subdivisiones o categorías ha existido desde los inicios de las ciencias biológicas. Lo que estas clasificaciones buscan reflejar son las relaciones filogenéticas entre las especies y los organismos, y fue precisamente la clasificación en base a similitudes morfológicas lo que llevó al descubrimiento de sus grados sucesivos de relación filogenética y por lo tanto a la formulación de la teoría de la evolución (Hennig, 1965).

En general, los estudios de afinidad biológica, suelen tener como objetivo la reconstrucción del origen, filogenia y/o movimiento de poblaciones humanas a una escala tanto regional (local) como inter-regional (continental) (Haddow, 2012). Las cualidades mencionadas previamente hacen de los rasgos dentales un material que permite caracterizar poblaciones del pasado y del presente a nivel global, y analizar las relaciones y afinidad biológica entre estas poblaciones y sub-poblaciones (Turner, Nichol y Scott, 1991; Marado, 2014).

El análisis morfológico y métrico de los rasgos dentales ha sido utilizado por distintos investigadores para diferenciar o discriminar entre grupos humanos que a menudo comparten espacios geográficos (Marado, 2014). Esto permite plantear y explorar diferentes preguntas de investigación en áreas como evolución y paleontología, genética de poblaciones, y particularmente ancestría, afinidad biológica o filogenia.

Por ejemplo, se han utilizado rasgos dentales no-métricos para distinguir a individuos “hispanos” en la frontera suroeste entre Estados Unidos y México (Birkby, Fenton y Anderson, 2008). Otro ejemplo corresponde a Australia, donde se realizó un estudio de información métrica dental en dos muestras, consiguiendo distinguir exitosamente entre individuos de ascendencia caucasoide y de ascendencia mongoloide, y por ende concluyendo que el análisis de la morfología dental podría ser de utilidad en casos forenses en poblaciones que se componen de diferentes ancestrías (Chiu y Donlon, 2000).

Como tercer ejemplo, en Estados Unidos se realizó un análisis morfológico y métrico para desarrollar una función discriminante que permitiera asignar la ancestría correspondiente a niños Euro-americanos y Afro-americanos (Lease y Sciulli, 2005). Un último ejemplo es un estudio de dos grupos del sur de África en el que, usando datos dentales métricos y no-métricos, se pudieron distinguir situando su separación hace 12.000-14.000 años (Haeussler et al, 1989).



Con estos ejemplos podemos notar que los estudios de rasgos morfológicos dentales permiten evaluar la afinidad biológica de poblaciones, y que las frecuencias de estos rasgos en ciertas poblaciones permiten que antropólogos, arqueólogos e historiadores tengan una visión de cómo ocurrieron las migraciones humanas del pasado (Marado, 2014). En conclusión, las variaciones en los rasgos dentales funcionan como marcadores, que, acompañados de otras características genéticas, se mantienen en una población y evolucionan con ella tanto en el tiempo como en el espacio (Scott y Turner, 1997). Esto hace a la morfología dental un recurso válido, y en ocasiones único, para entender la historia de ciertas poblaciones (Scott y Turner, 1997).

#### **1.1.4. El registro del dato morfológico**

A comienzos del s. XX, los estudios en morfología dental se basaban principalmente en caracteres métricos y no-métricos de las coronas y raíces. La descripción de rasgos dentales era lo más común en los trabajos de esta época (Marado, 2014) Mayormente estos trabajos en morfología dental consistían en sistemas de dicotomías de presencia-ausencia para cada rasgo, como lo fueron los primeros trabajos de Hrdlička (1920) para el rasgo de incisivos en pala (Turner, Nichol y Scott, 1991).

Como explican G.R. Scott y C.G. Turner en “The Anthropology of modern human teeth” (1997), a pesar de la presencia de esta dicotomía presencia-ausencia, no existen realmente rasgos morfológicos dentales que se comporten como un “todo-o-nada” (Scott y Turner, 1997). Dentro de una población estudiada, estos rasgos se presentan con variabilidad en sus grados de expresión cuando están presentes, a menudo descritos en la literatura como leves, moderados y pronunciados. Además, estos autores plantean que existen diferencias importantes tanto en la frecuencia como en los grados de expresión de los rasgos dentales entre poblaciones, y es precisamente esta variación la que contiene información importante para la antropología física y otras disciplinas afines (Scott y Turner, 1997).

Durante el s. XX, Dahlberg desarrolló estándares de gradación para un gran número de rasgos dentales hasta entonces descritos -incisivos en pala, rasgo de Carabelli, hipocono, protostílido, entre otros-, y en 1956 publicó las primeras placas de yeso como referencias para distribuir a otros investigadores del área (Turner, Nichol y Scott, 1991; Scott y Turner, 1997). Estas placas de yeso tuvieron amplia difusión a investigadores de diferentes países del mundo y por lo tanto jugaron un rol importante en el aumento de estudios sobre la morfología dental en humanos (Scott y Turner, 1997).

Así como durante el s. XX Dahlberg trabajaba en la sistematización del estudio de la morfología dental de indígenas americanos, en Europa P.O. Pedersen publicaba su trabajo sobre esquimales groenlandeses (Pedersen, 1949) que también se convirtió en un referente para las investigaciones posteriores. En Japón, K. Hanihara participaba de una

ya fortalecida tradición de investigación en morfología dental entre antropólogos japoneses (Hanihara, 1954; 1961; 1963; Scott y Turner, 1997).

Estos investigadores del s. XX trabajaban con escalas ordinales para el análisis de rasgos morfológicos dentales (Marado, 2014), que consistían en el sistema de presencia-ausencia de los rasgos morfológicos dentales pero con grados de expresión para los rasgos considerados como presentes, con las respectivas diferencias anatómicas asociadas a los diferentes grados de expresión (Turner, Nichol y Scott, 1991).

Scott y Turner (1997) también explican que existen diferentes escalas de medida cuando se trabaja con rasgos morfológicos dentales. En primer lugar, la escala nominal dicotómica, de presencia-ausencia del rasgo morfológico dental. Como se mencionó anteriormente, éste fue el primer acercamiento adoptado por investigadores de la morfología dental, por lo que los datos de fines del s. XIX y comienzos del s. XX están caracterizados por esta escala nominal (Scott y Turner, 1997).

En segundo lugar se encuentra la escala ordinal, que consiste en presencia-ausencia pero con diferentes grados de expresión cuando el rasgo está presente. Hrdlička fue uno de los primeros investigadores en entender las limitaciones de la escala nominal dicotómica para rasgos morfológicos dentales, aplicando escalas ordinales para su descripción del rasgo de incisivo en pala. Otros investigadores también adoptaron escalas ordinales en rasgos dentales, comenzando por los rasgos de los molares, como el número de cúspides o la expresión del hipocono. Las placas de referencia que publicó Dahlberg se hicieron con esta escala de medida (Scott y Turner, 1997).

Por último, existe la escala de intervalos, que consiste en información métrica del rasgo dental. Este tipo de escalas se han utilizado para medir rasgos como los incisivos en pala (Rothhammer et al, 1968), pero para otros rasgos, como el rasgo de Carabelli, no ha tenido éxito por la naturaleza tridimensional y variable de la expresión de este rasgo (Scott y Turner, 1997).

Los autores plantean, sin embargo, que si más rasgos dentales fueran cuantificables métricamente, sería la mejor manera de aproximarse y analizar los datos. No obstante, hasta 1997, los rasgos dentales se consideraban como no aptos para este tipo de cuantificación, por lo que el método más completo con las herramientas disponibles en la época era la escala ordinal, que consideraba lo cualitativo y lo cuantitativo de la morfología dental. Los motivos por los cuales los rasgos no-métricos se consideraban no cuantificables eran (1) que exhiben variación tanto en tamaño como en forma, y no sólo en tamaño; (2) que como objetos tridimensionales, a menudo carecen de hitos claramente identificables, que son necesarios para estandarizar medidas; y (3) que en ocasiones su expresión es tan leve que no existe manera de medirla en milímetros (Scott y Turner, 1997).

## **1.2. Sistema de Antropología Dental ASU**

### **1.2.1. Origen y propuesta**

El uso de escalas ordinales y el trabajo de Al Dahlberg en el s. XX influyó la creación del Sistema de Antropología Dental de Arizona State University (ASUDAS por su sigla en inglés), iniciado por Christy G. Turner II en 1970 (Scott y Turner, 1997). Turner, luego de ganar experiencia con las placas de Dahlberg, comenzó su propio proyecto para desarrollar más placas de referencia para diferentes rasgos dentales de dentición permanente. En 1990, y con la ayuda de estudiantes, como G. Richard Scott, habían terminado este proyecto, y en 1991 publicaron junto a Christian R. Nichol las guías para el uso correcto de ASUDAS (Turner, Nichol y Scott, 1991; Scott y Turner, 1997; Marado, 2014). El sistema estandariza la evaluación de más de 40 rasgos de corona, raíz o mandíbula, muchos de ellos basados en los trabajos previos de Hrdlička y Dahlberg.

En la publicación original en 1991, los autores plantearon que la intención de las placas de yeso de Dahlberg y las del sistema ASUDAS era la de incentivar el análisis de los rasgos morfológicos dentales con una visión más amplia que la presencia-ausencia de éstos, además de promover la replicabilidad de los resultados obtenidos por investigadores en todo el mundo. Además, los rasgos usados en el sistema propuesto habían sido seleccionados por ser los más consistente y fácilmente observables (Turner, Nichol y Scott, 1991).

Para la aplicación del sistema, cada uno de los rasgos debe registrarse según una gradación que determina ausencia o presencia, junto con grados de expresión para aquellos rasgos presentes. Para esto, se utilizan descripciones detalladas de los grados de expresión de cada rasgo, junto con las placas de referencia oficiales de sistema (Ver Anexo de este trabajo).

En base a los porcentajes de presencia de ciertos rasgos morfológicos dentales (o RMD) asociados a ciertas poblaciones, ASUDAS divide la humanidad en cinco subdivisiones principales: (1) Eurasia occidental, (2) África subsahariana, (3) Sinodontes-americanos, (4) Sundadonte-pacífico, y (5) Sahul-pacífico (Scott y Turner, 1997). Dentro de estas subdivisiones de la humanidad se ordenan las poblaciones actuales y ancestrales en escala de región geográfica, cada una con las frecuencias de los rasgos registradas por investigadores en todo el mundo.

### **1.2.2. Los rasgos morfológicos dentales**

Los RMD se pueden definir como estructuras positivas (tubérculos, cúspides, crestas, etc.) o negativas (puntos, surcos, fosas, etc.), que pueden estar presentes o

ausentes en la superficie de un diente específico, y en uno o más tipos de dientes (Scott y Turner, 1997). De los más de 30 rasgos identificados como útiles en el estudio de relación biológica entre poblaciones (Turner, Nichol y Scott, 1991), los RMD más utilizados en estudios de afinidad biológica o ancestría son *diente en pala*, *doble pala*, *rotación mesopalatina* de los incisivos, *rasgo de Carabelli*, *reducción del hipocono*, *patrón cuspidado* y *número de cúspides* en primer molar, *pliegue acodado*, *protostilido*, y *tamaño de cúspides 6 y 7* del primer molar (Scott y Turner, 1997; Irish y Nelson, 2008).

Los rasgos morfológicos dentales que se evaluaron en el presente trabajo fueron *diente en pala* en incisivos superiores centrales y laterales, *doble pala* en incisivos superiores centrales y laterales, *rotación mesopalatina* en incisivos superiores centrales, *rasgo de Carabelli* en el primer molar superior y *reducción del hipocono* en el segundo molar superior (Ver sección “3.3.2. Sistema de Antropología Dental ASU” de este trabajo).

### **1.2.3. Alcance y limitaciones**

Actualmente, ASUDAS es globalmente reconocido como sistema de análisis y clasificación de rasgos morfológicos dentales en dentición permanente, siendo el más utilizado en poblaciones de todo el mundo (Silva, 2000; Takahashi et al., 2007; Aragón et al., 2008; Bollini, Rodríguez-Flórez y Colantonio, 2009; Haddow, 2012; Marcovich et al., 2012; Rivera, 2012; Edgar, 2013; Marado, 2014; López-Lázaro et al., 2016) y el estándar recomendado para la evaluación de rasgos dentales no-métricos (Buikstra y Ubelaker, 1994).

Gracias al uso extenso de este sistema, el conocimiento en morfología dental de diferentes poblaciones humanas se ha perfeccionado desde los inicios de ASUDAS hasta la actualidad. Este fenómeno, si bien es común, marca importantes diferencias en el paradigma con el que se rige una disciplina como la antropología. Como evidencia de lo anterior, encontramos que, a partir de las cinco subdivisiones de la humanidad propuestas por Scott y Turner (1997), veinte años después se reconocen siete: (1) Ártico americano y Nordeste de Asia; (2) Australo-Melanesia y Micronesia; (3) Este de Asia; (4) Indígena Americano; (5) Sudeste Asiático y Polinesia; (6) África Sub-sahariana; y (7) Eurasia occidental (Scott et al., 2017).

Distintos autores plantean que, a pesar de su uso a nivel global, ASUDAS es aún un sistema que debe perfeccionarse y complementarse con otros métodos (Edgar, 2009; 2013; Marado, 2014; López-Lázaro et al., 2016). Las críticas en torno a este sistema se relacionan principalmente con el cuestionamiento de su eficacia para diferenciar o discriminar ancestría en todas las poblaciones humanas por igual. Esta crítica se basa en los resultados que se han obtenido con ASUDAS en poblaciones: (1) que se diferencian entre sí a una escala geográfica menor, donde los subgrupos o individuos que se buscan diferenciar comparten algún grado una ancestría común; y (2) que son mestizas o híbridas, compuestas por dos y más ancestrías, como es el caso de América del Sur y

Central, donde la mezcla de poblaciones inter-continentales e intra-continentales es tanto histórica como reciente (Aragón et al., 2008; Marcovich et al., 2012; López-Lázaro et al., 2016).

Como ejemplo del primer escenario mencionado, Edgar (2013) obtuvo en población estadounidense que la morfología dental asignaba correctamente a individuos cuando se trataba de discriminar Afroamericanos y Euroamericanos de Hispano-americanos. Esta asignación correcta se reducía de manera importante, sin embargo, cuando se trataba de discriminar a hispanos de Nuevo México de hispanos del sur de Florida. La autora concluye que la discriminación en esta muestra con una ancestría compartida no fue eficiente, y sus resultados dejan ver que, mientras mayor es la escala geográfica, más éxito tienen los métodos que buscan captar diferencias entre poblaciones. Por este motivo, ASUDAS no resulta útil en investigaciones forenses en poblaciones donde dos grupos compuestos por las mismas ancestrías comparten el mismo espacio geográfico (Edgar, 2013).

Como ejemplos del segundo escenario mencionado, diversos autores han obtenido resultados contradictorios o inconsistentes en población mestiza sudamericana (Silva, 2000, Aragón et al., 2008; Marcovich et al., 2012; Marado, 2014; López-Lázaro et al., 2016). Estos resultados levantan la pregunta sobre cómo funciona el sistema ASUDAS en poblaciones mestizas, y si es necesario hacer una revisión de los RMD que se están usando para discriminar en estas poblaciones. La dificultad para discriminar y clasificar en poblaciones mestizas no es una novedad, sin embargo, pues estas poblaciones tienden a excluirse de los análisis y validaciones de métodos que buscan evidenciar la diversidad humana (Serre y Pääbo, 2004).

Distintos autores plantean que este tipo de incongruencia tiene repercusiones en la utilidad forense del sistema ASUDAS a nivel global (Edgar, 2009; 2013; López-Lázaro et al., 2016; Rathmann et al., 2017). Algunos de ellos plantean que la controversia sobre este método sigue vigente, por las limitaciones que existen en su predicción en la estimación del grupo poblacional, las cuales además no han sido científicamente validadas, motivo por el cual se necesita de modelos de predicción estadística que permita probar la validez de la morfología dental como método de estimación de ancestría en un contexto forense (López-Lázaro et al., 2016).

Edgar (2009) critica la ineficacia del sistema ASUDAS por su naturaleza cualitativa en el análisis de morfología dental. La autora plantea que, en contextos forenses, cada rasgo es de una utilidad limitada, motivo por el cual recomienda que en su uso forense se analicen la mayor cantidad posible de rasgos morfológicos dentales (Edgar, 2009). Sin embargo, a menudo los usos de morfología dental en contextos forenses son no estadísticos, y consisten en uno o dos rasgos que se suman al análisis de rasgos discretos craneales y descripciones de la forma general del cráneo. El conocimiento que se tiene de antropología dental en contextos forenses suelen ser en torno al rasgo *diente*

en *pala* de los incisivos, asociado a ancestría asiática, y al *rasgo de Carabelli* en los molares, asociado –quizás erróneamente- a ancestría europea (Edgar, 2013).

Por último, los resultados en materia de la morfología dental como indicadora de ancestría genética son contradictorios, en ocasiones mostrando correlación débil a alta, mientras otros estudios concluyen que las distancias morfológicas y las distancias genéticas tienden a agrupar poblaciones de maneras diferentes (Rathmann et al., 2017). Como en las disciplinas forenses la confiabilidad y coherencia de los métodos es tan importante como su eficiencia, una rigurosa validación del sistema ASUDAS, y nuevas propuestas que ayuden a complementarlo, como la propuesta de Scott et al. (2017), podría catapultar su uso global como un método confiable de estimación de ancestría en contextos forenses.

### **1.3. Morfología dental continua o cuasicontinua**

#### **1.3.1. La base genética de la morfología dental**

Para explicar la variabilidad en la expresión y frecuencias de los rasgos dentales en distintas poblaciones del mundo, Scott y Turner (1997) señalan:

*“Los rasgos morfológicos dentales no varían sin razón ni de forma azarosa a lo largo del territorio. La morfología dental es parte de la herencia biológica que los humanos portan consigo cuando migran, como sucede con los genes que determinan el tipo sanguíneo, sus patrones de huellas dactilares, su reacción al gusto de la feniltiocarbamida, entre otros rasgos biológicos. Cuando grupos humanos son aislados unos de otros por un período de tiempo, sus frecuencias de rasgos de coronas y raíces dentales divergen hacia valores que varían según el tamaño de la población y la magnitud y duración del aislamiento. Cuando los grupos divergentes entran en contacto y se reproducen, la población resultante posee frecuencias convergentes de rasgos morfológicos.”* (Scott y Turner, 1997, pág. 12).

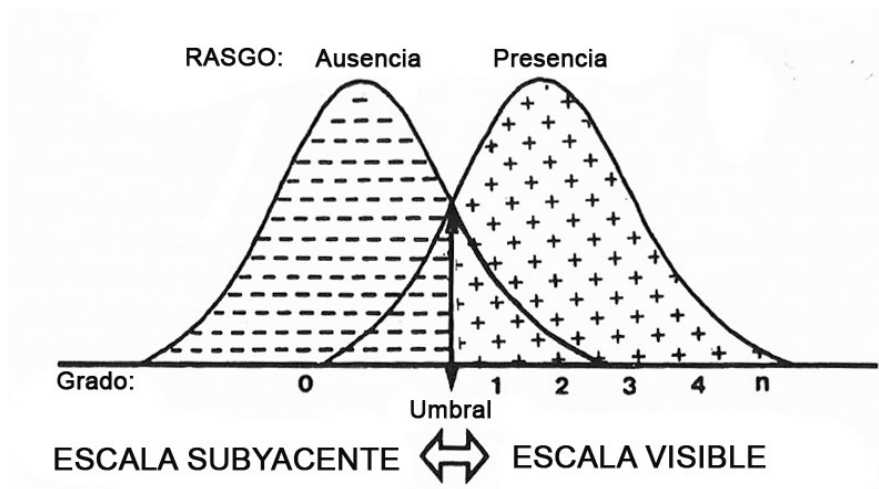
Esto sugiere que la diversidad humana se debe en gran medida a un importante número de procesos de aislamiento y convergencia, producto de migraciones a lo largo de su historia evolutiva. Entonces, la manera más correcta de describir la diversidad genética humana podría ser el aislamiento por distancia, es decir, la reducción del flujo génico por el aumento de la distancia geográfica (Serre y Pääbo, 2004). Además, se entiende que la variabilidad que se puede observar en la morfología dental de poblaciones se comporta

de manera similar a la variabilidad que se puede encontrar en cualquier otro rasgo biológico hereditario. Siguiendo esta línea, los autores plantean que esta variabilidad en morfología dental es mayormente cuantitativa antes que cualitativa (Scott y Turner, 1997).

Si bien los rasgos morfológicos dentales a veces son descritos como discontinuos o discretos, en su mayoría pueden ser descritos más correctamente como cuasicontinuos, pues se presentan como una gradiente de expresión que no puede ser fácilmente separada en fases (Haddow, 2012). Los rasgos cuasicontinuos se diferencian de los discontinuos en que estos últimos tienen modelos simples de herencia, mientras que los primeros tienen un patrón poligénico de herencia (Scott y Turner, 1997).

Para visualizar la relación entre variación fenotípica y genotípica en variables cuasicontinuas, Scott y Turner (1997) representan dos distribuciones normales con un umbral (**Figura 1**). La distribución tiene una escala visible y una escala subyacente. La escala visible es representada por valores fenotípicos que son directamente observables; cada individuo puede ser registrado con un valor de 0 (ausencia) o con 1,2,3,n... (presencia) para un rasgo particular. Si bien la escala visible es discontinua, la distribución subyacente, determinada tanto por factores genéticos como ambientales, es continua (Scott y Turner, 1997).

**Figura 1: Modelo de umbral y variación cuasicontinua**



Fuente: Scott y Turner, 1997

Scott y Turner (1997) buscan representar en la **Figura 1** que las dos distribuciones normales que se superponen muestran la base genética continua de los rasgos cuasicontinuos. Las dos escalas se interceptan en un umbral (*“threshold”*), que marca el punto de discontinuidad en una distribución que de otra manera sería continua. Este

umbral separa la escala visible (presencia del rasgo) de la escala subyacente (ausencia del rasgo).

Las variables cuasicontinuas exhiben variación en sus grados de expresión. Cuando un individuo tiene un genotipo a la derecha del umbral, éste presenta un fenotipo visible que puede graduarse como leve, moderado o pronunciado, dependiendo de la distancia desde el umbral (grados en la distribución "Presencia"). Entre los individuos que se encuentran cerca del umbral, manifestando el rasgo en un grado menor, y los individuos que se encuentran lejos del umbral, exhibiendo rasgos pronunciados, cualquier número de categorías de expresión intermedias es posible (Scott y Turner, 1997).

A menudo se crean nuevas de estas categorías intermedias (Scott y Turner, 1997), presumiblemente con el fin de captar mejor la variabilidad genética subyacente. Esto deja en evidencia que, individuos muy cercanos o muy lejanos al umbral, es decir, los que presentan fenotipos extremos, son fácilmente clasificables en los grados menores y mayores de la escala visible, mientras que los individuos en el intermedio tienden a ser clasificados con mayor dificultad entre un número variable de categorías intermedias. Esto podría fácilmente ser una explicación con base genética de lo mencionado en la sección "1.2.3. Alcance y limitaciones" de este trabajo, sobre los individuos que no son fáciles de clasificar entre grupos cuando éstos se encuentran en una escala geográfica menor.

Además, Scott y Turner (1997), plantean en su modelo de umbral que los individuos con genotipos a la izquierda del umbral, si bien no exhiben ninguna manifestación visible del rasgo (distribución "Ausencia"), de igual manera presentan variación genotípica subyacente al fenotipo de ausencia del rasgo (Scott y Turner, 1997). Estos individuos que no presentan el rasgo pueden estar cerca o lejos del umbral en la distribución genotípica, pero comparten el mismo valor fenotípico.

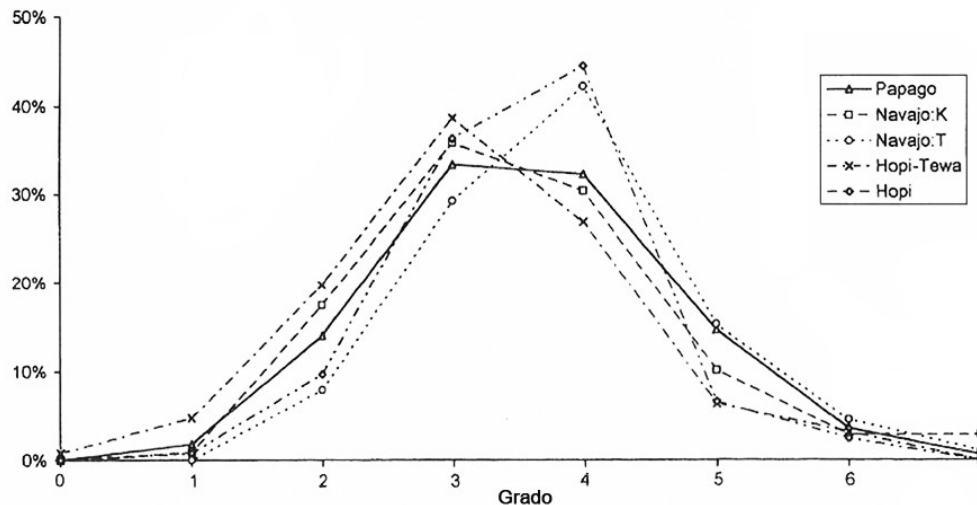
Los autores precisan que el umbral puede estar en cualquier punto de intersección de las dos distribuciones. En poblaciones donde se percibe un 50% de presencia de un rasgo, se asume que el umbral que separa ausencia y presencia del rasgo se encuentra en un punto medio. Cuando la distribución se mueve hacia la izquierda del umbral, la frecuencia de un rasgo es menor en una población. Si la distribución se mueve hacia la derecha del umbral, la población exhibe mayor frecuencia del rasgo (Scott y Turner, 1997).

Por ejemplo, muchas poblaciones indígenas americanas presentan una frecuencia de 100% del rasgo *diente en pala* en incisivo central superior. Esto significa que, en estas poblaciones, toda la distribución visible, todos los individuos, se encuentran a la derecha del umbral, y no hay escala subyacente. La **Figura 2** muestra que, cuando el rasgo en estas poblaciones se mide en una escala ordinal de 8 grados, se aproxima a una distribución normal, respaldando la idea de que las bases genéticas subyacentes de estos rasgos morfológicos es efectivamente continua, como otros rasgos poligénicos con modelos complejos de herencia (Scott y Turner, 1997). Este tipo de distribución normal de los datos en este mismo rasgo se ha encontrado también en estudios que utilizan escalas



infinitesimales para la descripción de la variabilidad morfológica, como en el caso de Rothhammer et al. (1968).

**Figura 2: Distribución de la frecuencia de grados de expresión de *diente en pala* en UI1 en poblaciones indígenas americanas**



UI1 = Incisivo central superior. Fuente: Scott y Turner, 1997

En resumen, las consecuencias que tiene este modelo de umbral propuesto por Scott y Turner (1997) son principalmente dos: i) existe una variabilidad genética continua subyacente a los rasgos morfológicos dentales, tanto en su presencia fenotípica como en su ausencia y ii) debería existir una correlación positiva entre frecuencia del rasgo y los grados de expresión del rasgo. Es decir, las poblaciones que muestran mayores frecuencias de un rasgo deberían tener más individuos expresando grados pronunciados de ese rasgo que las poblaciones con baja frecuencia de ese rasgo (Scott y Turner, 1997).

### **1.3.2. La importancia del muestreo**

Una vez comprendido que la morfología dental se comporta de manera cuasicontinua (Rothhammer et al., 1968; Scott y Turner, 1997; Haddow, 2012), a pesar de que la diversidad genética subyacente es continua (Scott y Turner, 1997; Serre y Pääbo, 2004), queda la duda sobre las poblaciones intermedias. Aquellas que, en el modelo del umbral, se encuentran a la derecha del umbral, pero en un espacio ambiguo de cercanía

o lejanía desde éste; espacio en el que el número de categorías existentes define el grado de expresión de los individuos, y con qué otros individuos se ven agrupados.

Algunos autores sugieren que uno de los principales sesgos en estudios de variabilidad humana proviene de la selección de las poblaciones que determinan la muestra de estos estudios (Serre y Pääbo, 2004). Ciertas técnicas de muestreo que siguen patrones más dispersos a nivel geográfico, con muestras de ciertas localidades geográficas inconexas y lejanas entre sí, tienden a mostrar la diversidad genética humana como unidades discretas de diversidad, que usualmente se corresponden con los continentes. En cambio, cuando en el muestreo se cumple con una mejor cobertura de la distribución geográfica de poblaciones humanas a lo largo de los continentes, la variabilidad genética humana ya no parece estar compuesta por unidades discretas (Serre y Pääbo, 2004).

En el primer escenario mencionado, esta selección de poblaciones más lejanas entre sí tiende a tener motivos históricos y prácticos. Las muestras son seleccionadas de “poblaciones” con rasgos culturales compartidos, es decir, en el sentido cultural de la palabra, no biológico. Bajo este criterio, las poblaciones consideradas como “mestizas”, junto con los individuos considerados “mestizos”, son normalmente excluidos de los muestreos (Serre y Pääbo, 2004).

Como se mencionó en “1.2.3. Alcance y limitaciones” del sistema ASUDAS, éste presentaba limitaciones al momento de clasificar individuos en una escala geográfica menor, en especial si éstos compartían alguna ancestría (Edgar, 2013), y en poblaciones mestizas de Sudamérica, donde la mezcla de ancestrías es antigua y reciente (Silva, 2000, Aragón et al., 2008; Marcovich et al., 2012; Marado, 2014; López-Lázaro et al., 2016).

Serre y Pääbo (2004) destacan que, cuando el objetivo de un estudio es identificar el origen geográfico de un individuo (por ejemplo en contextos forenses), los resultados van a depender de las poblaciones utilizadas como referencia, y de la cercanía genética que éstas tengan con el individuo de la muestra investigada (Serre y Pääbo, 2004). Además, los autores proponen que, posiblemente, las diferencias encontradas entre individuos de diferentes continentes, cuando son relativamente pocos individuos y pocas las variables analizadas, se pueden deber al muestreo discontinuo que se ha basado en la noción de “poblaciones” que a menudo provienen de los extremos de las masas continentales (Serre y Pääbo, 2004).

Bajo este supuesto, la inconsistencia de los resultados obtenidos en estudios de morfología dental en los escenarios mencionados anteriormente, podría deberse a las limitadas opciones de poblaciones de referencia que existen para la aplicación del sistema ASUDAS. Si las poblaciones mestizas y las poblaciones cercanas geográficamente no fuesen excluidas de la mayoría de los análisis genéticos y morfológicos, entonces se contaría con un mayor número y diversidad de poblaciones de referencia para la consecuente aplicación de los mismos o nuevos métodos. De esta manera, la aplicación

de sistemas como ASUDAS en contextos forenses, u otros en los que el objetivo fuese asignar afinidad biológica de individuos o grupos, contaría con un respaldo importante de información para aumentar su confiabilidad.

Sería de esperar, en caso de contar con los datos de estas poblaciones, que se evidenciara a nivel global la continuidad o cuasicontinuidad del comportamiento de los rasgos morfológicos de herencia compleja. Sería posible incluso rastrear, en el caso de los rasgos morfológicos dentales, la historia de un rasgo dental desde su frecuencia de 100% en ciertas poblaciones -pasando por su disminución en otras a lo largo del espectro geográfico- hasta las poblaciones en las que estos rasgos virtualmente desaparecen, evidenciando procesos migratorios y evolutivos en el linaje homínido.

Actualmente, entonces, el desafío en el escenario de las poblaciones mestizas e intermedias, comúnmente excluidas de los análisis, es no sólo integrarlas en los muestreos y análisis de los métodos ya existentes, sino también analizar su variabilidad utilizando métodos más precisos que sean capaces de captar la -en ocasiones sutil- variabilidad genotípica y fenotípica de estas poblaciones.

### **1.3.3. El método propuesto**

En la actualidad hay cada vez más técnicas y métodos que complementan los análisis macroscópicos para la clasificación de organismos según afinidad biológica. Por ejemplo, la morfometría lineal fue la primera aproximación cuantitativa a los rasgos morfológicos dentales, y ésta ayudó a visualizar el comportamiento cuasicontinuo de estos rasgos dentales, o incluso continuo como lo visto en Rothhammer et al. (1968). El desarrollo de tecnologías más avanzadas para capturar el comportamiento cuasicontinuo o continuo del rasgo morfológico, robustece los análisis morfológicos y enriquece los análisis al poder incorporar poblaciones mestizas a las referencias poblacionales globales.

A diferencia del análisis macroscópico, la variación en la forma se puede medir de forma infinitesimal utilizando morfometría. La variación multidimensional de la forma, sin embargo, es difícil de capturar con morfometría lineal, razón por la cual se ha desarrollado tanto la Morfometría Geométrica en distintas disciplinas con interés en la morfología de estructuras biológicas.

La Morfometría Geométrica es un conjunto de métodos que adquieren, procesan y analizan las variables que expresan la información geométrica sobre la forma contenida en los datos (Slice, 2005). Esta técnica resulta especialmente útil para describir aspectos espaciales de la variación morfológica (Adams, Rohlf y Slice, 2013; Zelditch et al., 2004; Slice, 2005; Gómez-Robles et al., 2007; Baab, McNulty y Rohlf, 2012), pero también, en estudios de variación morfológica de grandes estructuras, como el cráneo, esta herramienta ha resultado útil para la visualización de la variación en la forma (Retamal, 2004; Manríquez et al., 2006; Klingenberg, 2013).

En el contexto desarrollado previamente, la Morfometría Geométrica podría ser una herramienta útil en la aproximación cuantitativa a la morfología dental de poblaciones mestizas, con el fin no solo de describir la variabilidad morfológica dental en estas poblaciones, y de robustecer el espectro de poblaciones de referencia con que se cuentan para hacer análisis de afinidad biológica a nivel global, sino también de validar sistemas utilizados globalmente como ASUDAS, donde el uso de intervalos métricos permite una observación más rigurosa y objetiva (Scott y Turner, 1997), y en algunos casos, ayuda a establecer puntos de corte específicos para los grados intermedios de expresión de los rasgos dentales.

#### **1.4. La población mestiza de Santiago de Chile**

Chile ha sido históricamente un territorio de confluencias de distintos grupos humanos, de diferentes y frecuentes inmigraciones y cambios de fronteras (Fuentes et al., 2014). El territorio político conocido hoy como Chile ha presenciado el movimiento de población desde hace al menos 14.000 años. En ese lapso, personas de orígenes, creencias y costumbres diversos han compartido la misma geografía (Cussen, 2016).

Antes de la llegada de los conquistadores españoles, el territorio que hoy es Chile estaba siendo ocupado de norte a sur por numerosos grupos indígenas (Fuentes et al., 2014), descendientes de los grupos Paleoindios (Cussen, 2016). En el extremo norte del territorio estaban los grupos aymaras, ocupando los valles precordilleranos y el altiplano. También en el norte se encontraban los atacameños, agrupados en pequeñas aldeas en el área de Atacama. En la costa se encontraban grupos pescadores, comúnmente llamados changos. El área de Chile central era compartido por diferentes grupos -o "complejo Aconcagua"- que más tarde interactuaron con los incas cuando éstos extendieron su imperio y se establecieron en la zona en el S.XIV. En Chile central también se encontraban los pikunche y mapuche que se distribuían hasta regiones más australes. Finalmente, en el extremo sur de Chile se encontraban los grupos tehuelches y los grupos fueguinos, kaweskar, yámanas y selk'nam (Cussen, 2016).

Los conquistadores españoles que llegaron a Chile durante el S.XVI conformaron la primera ola de inmigrantes europeos en la zona, que luego fueron acompañados por otros grupos más pequeños de inmigrantes italianos, filipinos y portugueses (Cussen, 2016). A pesar de la relación conflictiva entre europeos e indígenas en Chile, el mestizaje se hizo patente desde el comienzo y principalmente en Santiago, donde gran parte de los fundadores de la ciudad eran reconocidos como mestizos (Cussen, 2016).

El mestizaje en Chile se dio en forma extensa durante la Colonia entre españoles e "indios". Este proceso no era condenado socialmente y tampoco impedido por autoridades civiles o eclesiásticas (Cussen, 2016). En un censo hecho por el obispado de Santiago entre 1777 y 1778 se obtuvo que en Santiago los habitantes considerados españoles eran un 53%, los "indios" un 13%, y los "mestizos" un 15% (Carmagnani y Klein, 1965).

Durante la Colonia también fueron introducidos en Chile esclavos desde África subsahariana, aunque los altos precios en los que eran vendidos los esclavos (Mellafe, 1959) influyó en que en Chile la esclavitud resultase una institución menos extendida que en otros países de América del Sur (Fuentes et al., 2014). Los descendientes de estos esclavos africanos también participaron activamente del proceso de mestizaje. Cussen (2016) relata sobre este proceso:

*(...) el mestizaje estuvo a la orden del día y traía consigo la posibilidad no solo de un ascenso social sino la de borrar las huellas de África. Las oportunidades de manumisión y la formación de familias fuera del círculo de los de origen africano minimizaron la presencia oficial de “negros”; “pardos” y “mestizos” (Cussen, 2016).*

El mismo censo mencionado anteriormente registra la frecuencia de “negros” en un 4% y la de “mulatos” en un 15% (Carmagnani y Klein, 1965). Estos datos dan cuenta de que el mestizaje en Chile fue un proceso generalizado entre personas de todos los orígenes y fue abriendo paso a cada vez más número de “mestizos”.

Los s. XIX y XX se vieron marcados por procesos políticos y económicos que tuvieron como consecuencia la inmigración a Chile de nuevos grupos europeos, además de grupos de países vecinos sudamericanos (Argentina, Perú y Bolivia), y en menor medida de norteamericanos. En este período también se vieron las primeras inmigraciones desde Asia y Medio Oriente (Cussen, 2016).

El s. XXI, por su parte, se vio marcado en sus inicios con nuevas olas de migración desde los países vecinos en Sudamérica. En la actualidad, a esos países se les suman otros de América Central y de Sur, como Brasil, Colombia, Venezuela, Haití y Ecuador, junto con algunos países africanos, como Congo y Burundi (Cussen, 2016).

Las constantes olas de migración hacia Chile desde distintos países, sumado a una población local que ya era miscelánea por los procesos de mestizaje producto de la Conquista española y la Colonia, generan un escenario de gran diversidad en cuanto a los orígenes y la composición genética de la población que hoy habita en Santiago de Chile. Todos estos procesos históricos y recientes dejan ver que la composición actual de la población chilena es mayoritariamente producto de la miscegenación de individuos procedentes de tres continentes (Fuentes et al., 2014).

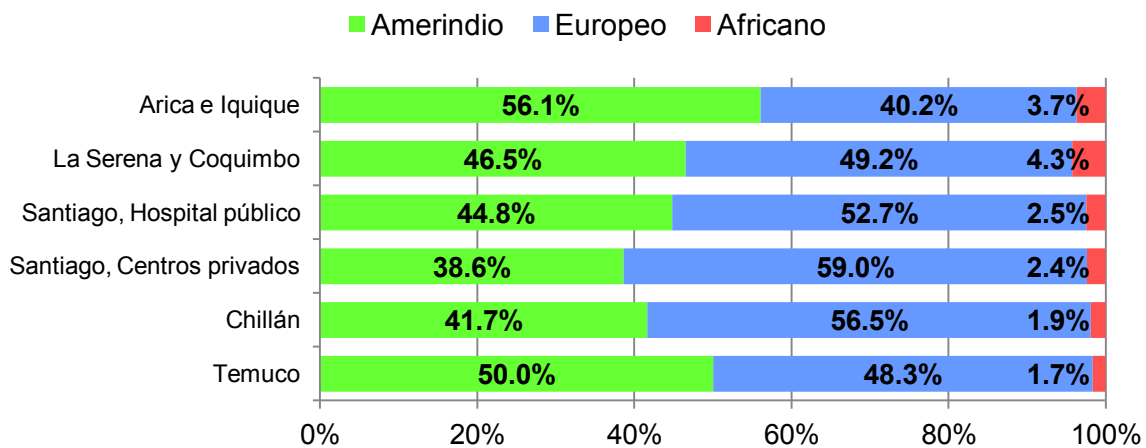
Con el objetivo de identificar la composición y características genéticas de la población chilena actual, un equipo multidisciplinario de investigadores chilenos, entre ellos del Programa de Genética Humana, del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Chile, junto con la colaboración de otras instituciones, comenzaron en el 2011 un proyecto de investigación llamado “ChileGenómico”. En esta investigación se genotipificaron, con

atención en 600.000 SNPs de ADN nuclear, las muestras de 3.208 chilenos de ocho ciudades de Chile de norte a sur (Cifuentes, 2016).

Entre los resultados que este equipo obtuvo de individuos de distintas regiones del país, se encontró que Chile cuenta con tres principales componentes genómicos: amerindio, europeo y africano, variando en distintas proporciones dependiendo de la región. Entre los individuos estudiados, el componente amerindio se distribuye entre un 3% y un 100%; el componente europeo varía entre 0% y 95%, mientras que en el caso de la ancestría africana los valores se distribuyeron mayoritariamente entre 0% y 5% (Cifuentes, 2016).

En el **Gráfico 1** se pueden observar los valores promedio por ciudad de los porcentajes de cada componente de ancestría continental de 358 chilenos analizados. El componente africano resultó ser el promedio más bajo en todas las muestras. Los componentes amerindio y europeo variaron en sus promedios en las diferentes ciudades, pero en general se podría decir que ambos fluctúan entre un 40% y un 60%. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en otros estudios genéticos en población chilena (Fuentes et al., 2014; Ruiz-Linares et al., 2014).

**Gráfico 1: Porcentaje promedio de cada componente de ancestría continental por población**



Fuente: Cifuentes, 2016

Con esta información, es posible concluir que los grandes componentes de ancestría continental de la población de Santiago de Chile son dos, amerindio y europeo. Siguiendo esta lógica, es posible asumir que si en una muestra de Santiago de Chile existe una baja presencia de fenotipos amerindios, se deba a un mayor componente europeo en la muestra, más que a un mayor componente africano. Como los rasgos morfológicos

dentales a evaluar en esta población mestiza son en su mayoría rasgos amerindios, asociados a ancestría asiática (Scott et al., 2016), es relevante entender que, en términos de probabilidad, la ausencia de rasgos dentales amerindios se puede interpretar como mayor porcentaje de ancestría europea.

Esto hace a la ciudad de Santiago de Chile, entre otras ciudades de Chile, un buen territorio desde el cual obtener una muestra de chilenos mestizos con una composición promedio de entre 40-60% y 50-50% de componentes genéticos amerindios y europeos. En este trabajo, se trabajó con una muestra de Santiago de Chile para evaluar la frecuencia de rasgos morfológicos dentales, en su mayoría rasgos amerindios asociados a ancestría asiática, además de otros rasgos dentales comúnmente asociados a poblaciones europeas. Además, con el objetivo de realizar una validación cuantitativa del sistema ASUDAS usado globalmente se utilizó Morfometría Geométrica como una aproximación cuantitativa a la morfología dental de esta población mestiza. Además, como modo de comparar la clasificación y diferenciación que cada uno de los métodos realiza sobre esta población mestiza se analizó la correspondencia entre la clasificación otorgada por ASUDAS y la agrupación obtenida con Morfometría Geométrica en esta muestra.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Pregunta de investigación**

¿Cuál es el grado de correspondencia entre la clasificación otorgada por el sistema ASUDAS y la agrupación obtenida por medio de herramientas de análisis cuantitativo en población mestiza?

### **2.2. Objetivos**

#### Objetivo general

Conocer la capacidad predictiva del sistema ASUDAS para clasificar morfología dental en poblaciones mestizas.

#### Objetivos específicos

- i. Caracterizar el fenotipo dental de una muestra representativa de la población mestiza de Santiago de Chile con uso del sistema de clasificación ordinal ASUDAS.
- ii. Caracterizar el fenotipo dental de una muestra representativa de la población mestiza de Santiago de Chile con uso de herramientas analíticas cuantitativas.
- iii. Determinar concordancia entre los sistemas de clasificación nominal/ordinal y los de tipo cuantitativo utilizados en una muestra de población mestiza de Santiago de Chile

### **2.3. Hipótesis**

#### Hipótesis nula

La clasificación obtenida con el sistema ASUDAS en la población mestiza no es concordante con la distribución obtenida al aplicar Morfometría Geométrica.

#### Hipótesis alternativa

La clasificación obtenida con el sistema ASUDAS en la población mestiza coincide de forma estadísticamente significativa con la distribución obtenida al aplicar Morfometría Geométrica.



### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Muestra

##### 3.1.1. Cálculo del tamaño muestral

Para calcular el tamaño muestral, se realizó un análisis exploratorio con una muestra piloto compuesta por 20 individuos de sexo femenino con dentición permanente completa hasta el segundo molar superior. Estos individuos pertenecían a la base de datos anonimizada del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2) de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile, que corresponden a población de Santiago de Chile.

En estos primeros 20 individuos se analizó la frecuencia de los siguientes RMD: *diente en pala* para los incisivos centrales y laterales superiores por separado (UI1 y UI2), *rotación mesopalatina* de los incisivos centrales superiores (UI1), *cúspide de Carabelli* en el primer molar superior (UM1), y *reducción del hipocono* en el primer y segundo molar superior (UM1 y UM2).

Utilizando el software GPower v. 3.1 (ver sección “3.2 Materiales”: Softwares), se realizaron tests post hoc del poder estadístico obtenido. Este test pertenece a la familia de pruebas de  $X^2$ , y mide bondad de ajuste utilizando tablas de contingencia. Este test compara la frecuencia de cada RMD en dos o más sub-grupos, para obtener el tamaño o magnitud del efecto (effect size) de cada rasgo, y con esto la relación entre tamaño muestral y poder estadístico de cada rasgo.

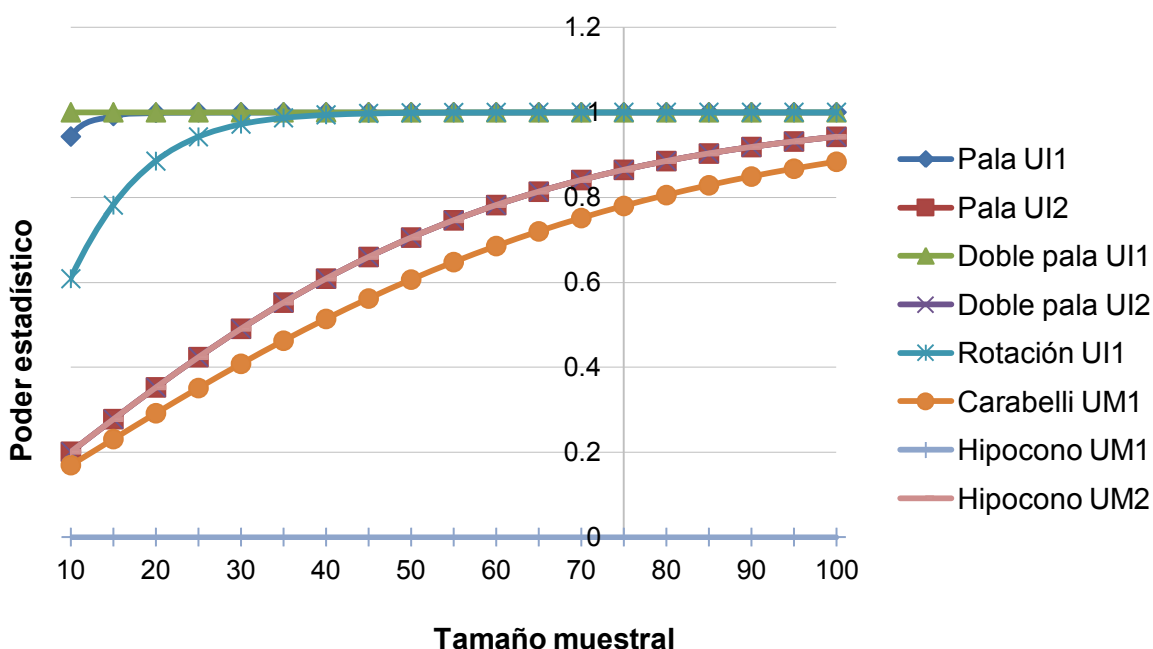
Para obtener los sub-grupos necesarios para el test se utilizó como criterio de clasificación la presencia de uno o más de los rasgos considerados amerindios, versus la ausencia de todos estos rasgos. Los rasgos considerados amerindios para efecto de esta división fueron *diente en pala* y *doble pala* y *rotación mesopalatina* o “winging”. Si bien la ausencia de *reducción del hipocono* en el segundo molar superior puede considerarse como un rasgo amerindio, al ser un rasgo de baja frecuencia a nivel global, su ausencia en cualquier individuo particular no es necesariamente indicativa de una ancestría, motivo por el cual no se usó para discriminar en este proceso (Ver apartados “1.2. Sistema de Antropología Dental ASU” y “4.2.2 Frecuencias poblacionales” de este trabajo).

Bajo estos criterios, la muestra piloto se dividía en dos sub-grupos: uno de 9 individuos con rasgos amerindios y uno de 11 individuos sin rasgos amerindios. En la **Tabla 1** se muestran los resultados del test post hoc de poder estadístico. En ella se puede observar la magnitud del efecto para cada RMD, junto con el poder estadístico calculado para un tamaño muestral de 25, 50, 75 y 100 individuos, considerando un error de  $\alpha = 0.05$ . En el **Gráfico 2** se muestran las curvas de poder estadístico según tamaño muestral para cada uno de los rasgos observados.

**Tabla 1: Magnitud del efecto, poder estadístico y tamaño muestral de cada RMD**

Rasgo	Magnitud del efecto	Poder estadístico n=25	Poder estadístico n=50	Poder estadístico n=75	Poder estadístico n=100
Pala UI1	1.1190408	0.999861	1	1	1
Pala UI2	0.3533545	0.423501	0.704933	0.864372	0.942208
Doble pala UI1	31.6069613	1	1	1	1
Doble pala UI2	0.3533545	0.423501	0.704933	0.864372	0.942208
Rotación UI1	0.7065765	0.942131	0.998802	0.999984	1
Carabelli UM1	0.3152136	0.350731	0.606023	0.779312	0.883403
Hipocono UM1	0	0	0	0	0
Hipocono UM2	0.3533545	0.423501	0.704933	0.864372	0.942208

**Gráfico 2: Curvas poder estadístico \* tamaño muestral para cada RMD**



Los rasgos que demostraron una magnitud del efecto mayor fueron *diente en pala* y *doble pala* en el incisivo central superior, seguidos por la *rotación mesopalatina* de los incisivos centrales superiores. Esta gran magnitud del efecto significa que los tres rasgos mencionados alcanzan un poder estadístico superior al 0.8 con un tamaño muestral de 25 individuos.

A continuación, se encuentran los rasgos que demostraron un valor intermedio de magnitud del efecto: *diente en pala* y *doble pala* en el incisivo lateral superior, y *reducción*

*del hipocono* en el segundo molar superior. Estos rasgos alcanzan un poder estadístico superior al 0.8 con un tamaño muestral de 75 individuos (ver línea de referencia en **Gráfico 2**). Luego se encuentra la *cúspide de Carabelli* en el primer molar superior, también con un valor intermedio de magnitud del efecto, pero cuyo poder estadístico de 0.8 se alcanza con un tamaño muestral entre los 75 y los 100 individuos. Un análisis más detallado del poder estadístico de este rasgo demostró que este poder de 0.8 se alcanza con un tamaño muestral de 79 individuos.

Por último, el rasgo *reducción del hipocono* en el primer molar superior mostró una magnitud del efecto igual a 0, producto de que no se observó ningún caso en la muestra piloto de 20 individuos. En el **Gráfico 2**, la curva de este rasgo se ve sobrepuesta al eje X.

### **3.1.2. Muestra final**

Con la información obtenida de la muestra piloto se tomó la decisión de trabajar con un tamaño muestral de entre 75 y 80 individuos, pues esto permitía trabajar con un poder estadístico alto.

Para seleccionar la muestra final para este estudio se utilizó la base de datos anonimizada del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2), de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile. Esta base de datos se compone de individuos pertenecientes a la ciudad de Santiago de Chile. Para cada uno de ellos se cuenta con un modelo dental con el dato de sexo del individuo y con un código identificador asignado.

De esta base de datos se seleccionaron individuos que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión: (1) dentición permanente completa, hasta el segundo molar superior, (2) con un modelo dental identificado y en buen estado, (3) sin intervención odontológica y (4) sin patologías dentales que impiden la visualización de alguno de los rasgos morfológicos dentales.

La muestra final se compuso de 78 individuos, 39 femeninos y 39 masculinos, pertenecientes a la población mestiza de Santiago de Chile. Entre éstos, 12 contaban con el dato de amerindicidad genética conocida, por estudios realizados previamente en el Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (Ver sección “3.3.1. Amerindicidad genética y estimada” de este trabajo).

### **3.2. Materiales**

Todos los materiales, instrumentos y softwares utilizados en este trabajo pertenecen o fueron facilitados por el Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2), de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile. Éstos son enlistados y descritos a continuación.

#### Modelos dentales

Los modelos dentales que se utilizan en investigación en antropología dental consisten en una impresión dental que tiene como resultado una réplica exacta de la dentición de un individuo, elaborada en yeso. Los modelos dentales utilizados en este trabajo pertenecían a una base de datos anonimizada del CA2, desde la cual se seleccionaron los modelos que cumplían los criterios de inclusión para esta investigación. Como esta selección superaba el tamaño muestral requerido de entre 75 y 80 individuos, no fue necesario elaborar modelos dentales propios, como es el caso de otros trabajos en antropología dental.

#### Placas ASUDAS

Para la aplicación de ASUDAS, se utilizaron réplicas exactas de las placas de yeso oficiales de este sistema, publicadas por Turner, Nichol y Scott en 1991. Estas réplicas fueron previamente obtenidas por investigadores del CA2. En el Anexo de este trabajo se presentan fotografías de estas placas ASUDAS, utilizadas por Haddow (2012) en su trabajo de tesis doctoral.

#### Escáner

Para digitalizar los modelos dentales de la muestra, con el fin de obtener modelos 3D que permitieran el análisis de Morfometría Geométrica, se utilizó el escáner NextEngine Desktop 3D Scanner, modelo 2020i, y la herramienta MultiDrive, que alinea las imágenes de manera automática por medio de la inclinación y rotación del objeto a escanear, reduciendo el tiempo total de digitalización. Las dos configuraciones que se usaron para la digitalización fue: 7 divisiones; 17k puntos/in<sup>2</sup>; luz normal; vista Macro; y, en la primera configuración, inclinación de 30°, y en la segunda, de -10°.

#### Cámara fotográfica

Para generar una imagen 2D de la vista oclusal de los incisivos centrales superiores, necesaria para medir el ángulo de *rotación mesopalatina* de éstos, se utilizó una cámara fotográfica marca Nikon, modelo D3400, con un lente AF-P DX NIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR.

### 3.2.1. Softwares

. A continuación se describe brevemente cada uno de los software utilizados en este trabajo, resumidos en la **Tabla 2**.

**Tabla 2: Softwares utilizados para el análisis de datos**

Nombre	Versión	Autor(es) o institución
GPower	3.1.9.2	Franz Faul, Universität Kiel, Alemania
GenAIEx	6.503	Rod Peakall y Peter Smouse
PAST	3.16	Øyvind Hammer, David A.T. Harper y Paul D. Ryan
Stata	13.0	StataCorp LP
ScanStudio	2.0.2	ShapeTools LLC, y NextEngine Inc.
Landmark Editor	3.0.0.6	Institute for Data Analysis and Visualization (IDAV)
MorphoJ	1.06d	Klingenberg Lab, Universidad de Manchester
tpsDig	2.02	F. James Rohlf
NTSYSpc	2.10a	Applied Biostatistics Inc.

#### GPower

Es un software de análisis de poder estadístico en el cual se pueden realizar diferentes tests (e.g., test de t, test de  $X^2$ ) y calcular magnitud del efecto. Cuenta con la opción de visualizar en tablas y gráficos los resultados de estos análisis. Este software se utilizó en primer lugar para calcular el tamaño muestral de este trabajo a partir de los resultados de una muestra piloto (ver sección “3.1.1. Cálculo del tamaño muestral” de este trabajo). En segundo lugar, se utilizó para calcular el poder estadístico de cada rasgo morfológico dental en la muestra final de este trabajo, tanto para el sistema ASUDAS como para Morfometría Geométrica (ver sección “4.4. Poder estadístico de cada rasgo” de este trabajo).

#### GenAIEx

Genetic Analysis in Excel. Es un complemento de Microsoft Excel® que ofrece diferentes análisis para data de marcadores genéticos. Este software se utilizó para ingresar los datos nominales de los RMD en el sistema ASUDAS, es decir, presencia y ausencia de cada rasgo, representados como 1 y 0. Si bien estos datos corresponden a morfología dental, luego de ingresados en el software, éste los puede interpretar de la misma manera en que interpreta datos de presencia y ausencia de ciertos SNPs para análisis genéticos. Finalmente lo que se obtuvo con este software fue una matriz de distancias “genéticas” (en realidad correspondiente a las distancias entre individuos en su expresión de los RMD estudiados) y un Análisis de Coordenadas Principales (PCoA).

## PAST

Paleontological Statistics. Es un software que ofrece diferentes análisis numéricos estándar utilizados frecuentemente en paleontología cuantitativa. Permite realizar análisis estadísticos univariados y multivariados, además de ciertos análisis filogenéticos simples, pero también tiene funciones que no se encuentran en otros softwares estadísticos por ser específicas de investigación en paleontología y ecología. Este software se utilizó para ingresar tanto los resultados del PCoA para los rasgos ASUDAS, como los resultados del PCA de morfometría geométrica. En ambos casos, lo que se obtuvo con este software fueron los “*scree plot*” y “*broken-stick model*”, instrumentos que se utilizan para identificar los componentes (o coordenadas) significativos en estos tipos de análisis (ver secciones “4.2.3 Análisis de Coordenadas Principales” y “4.3.2. Análisis de Componentes Principales” de este trabajo).

## Stata

Es un software estadístico que permite la gestión de datos, el análisis estadístico y el trazado de gráficos, entre otras opciones. En este trabajo, se utilizó para realizar una regresión lineal simple para generar la variable “Ancestría estimada”, usando los datos de amerindicidad genética conocida de 12 individuos, junto con los datos de la resta de Rothhammer et al. (1968) de los incisivos centrales superiores (ver sección “3.3.1. Amerindicidad genética y estimada” de este trabajo).

## ScanStudio

El NextEngine ScanStudio es una aplicación que viene incluida en el escáner NextEngine. Desde ella se maneja el hardware del escáner, se ingresan los criterios para la digitalización 3D, y se alinean, corrigen y ajustan las imágenes para exportar el modelo 3D. Esta aplicación se utilizó para llevar a cabo la digitalización 3D de los modelos dentales correspondientes a la muestra de este estudio. Con ésta se obtuvieron los archivos en formato “.PLY” necesarios para la aplicación de hitos homólogos y posterior análisis en Morfometría Geométrica.

## Landmark Editor

Es un software para la creación de hitos y semi-hitos (ver sección “3.3.3. Morfometría Geométrica” de este trabajo) en superficies complejas, para su registro, alineación, medición, y uso en análisis de Morfometría Geométrica. En este trabajo se utilizó para aplicar los hitos homólogos a los modelos dentales digitalizados en 3D, primer paso necesario para el análisis en Morfometría Geométrica. Desde este software, se exportan los datos tridimensionales de los hitos homólogos en un archivo en formato “.DTA”, que permite ser analizado con diferentes softwares de Morfometría Geométrica.

### MorphoJ

Es uno de los softwares que se pueden utilizar, y que fue utilizado en este trabajo, para el análisis en Morfometría Geométrica. Éste consiste en una plataforma sencilla de utilizar, que ofrece los análisis principales y más importantes en Morfometría Geométrica, tanto para datos en 2D como en 3D. En este trabajo se utilizó este software para el análisis de Procrustes para datos 3D (hitos homólogos), identificación de valores atípicos (“*outliers*”), análisis discriminante para la variable “sexo”, Análisis de Componentes Principales (PCA) de la forma de los rasgos dentales, Análisis de la varianza (ANOVA), y posteriormente la obtención de la matriz de distancias para el análisis posterior de correspondencia con el sistema ASUDAS.

### tpsDig

Es otro software que se puede utilizar para el análisis en Morfometría Geométrica, para datos en 2D. Este software permite trabajar sobre imágenes digitales (2D) de objetos, para la creación de hitos, semi-hitos y contornos, generando una matriz de coordenadas de dos dimensiones con las ubicaciones de cada hito. Además permite medir distancias y ángulos entre hitos. Este software se utilizó en este trabajo para medir los ángulos de *rotación mesopalatina* en imágenes digitales de la vista oclusal de los modelos dentales.

### NTSYSpc

Numerical Taxonomy System for use on PCs. Es un software para análisis estadístico multivariado, con funciones útiles para estudios ecológicos, genéticos y evolutivos. Este software permite captar patrones o estructuras en datos multivariados de poblaciones, identificando las variables que se encuentran inter-correlacionadas incluso en sub-grupos de las muestras. De esta manera se pueden interpretar orígenes diferentes para muestras de una o más poblaciones, y estimar árboles filogenéticos usando diferentes métodos. En este trabajo, este software se utilizó para trabajar la matriz de distancias de los datos morfométricos geométricos, obtenida desde MorphoJ. Finalmente, en conjunto con la matriz de distancias obtenidas desde el sistema ASUDAS, se realizó el análisis de correspondencias, por medio de un Test de Mantel simple, con permutaciones al azar, obteniendo la correspondencia entre ambas matrices.

### **3.3. Recolección de datos**

#### **3.3.1. Amerindicidad genética y estimada**

De la muestra que se utilizó en este trabajo, se contó con el dato conocido de amerindicidad genética de 12 individuos, parte de un estudio realizado previamente en el Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental. Este dato correspondía a marcadores informativos de ancestría (AIMs) en genoma nuclear, y se encontraba registrado como un valor entre 0 y 1 representando el porcentaje de “amerindicidad”, esto es, la frecuencia de los AIMs asociados a ancestría asiática.

De estos 12 individuos con su ancestría genética conocida, 3 presentaban valores de 0.85 o superiores de amerindicidad; 5 presentaban valores entre 0.85 y 0.15 de amerindicidad; y 4 presentaban valores de 0.15 o menores de amerindicidad. Estos tres grupos representan los dos extremos de la distribución en cuanto a amerindicidad genética, y el grupo intermedio, en el que se encuentra la media poblacional de Santiago de Chile según lo revisado en la sección “1.4. La población mestiza de Santiago de Chile” de este trabajo.

Para obtener un valor estimado de este dato genético para el resto de los individuos de la muestra, se propuso realizar una regresión lineal simple en base a un dato que mostrara una alta correlación estadísticamente significativa con este dato genético. El dato más plausible de cumplir este criterio es la resta propuesta por Rothhammer et al. (1968), llamada *Índice de diente en pala*, que consiste en la diferencia entre el grosor de la fosa central del incisivo y el promedio del grosor de los rodetes mesial y distal del mismo incisivo. Este dato morfométrico lineal había mostrado, en estudios previos del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental, una alta correlación con el dato genético de los individuos (Manríquez, Rodríguez y Salinas, 2015).

Para obtener el dato de Amerindicidad estimada para la muestra, se verificó primero la correlación significativa del dato genético conocido con el *índice de diente en pala* (Rothhammer et al., 1968) en incisivos centrales superiores. Luego, se realizó una regresión lineal simple para obtener un dato estimado de la genética del resto de los individuos de la muestra. Finalmente, se realizó una prueba t de Student para una muestra, con el dato de ancestría estimada, siendo  $H_0$  el promedio observado de amerindicidad genética de los individuos que contaban con este dato. Con esta prueba se obtuvieron los valores de media, desviación estándar e intervalo de 95% de confianza para el dato de amerindicidad estimada. Los valores del intervalo de confianza se utilizaron como valores de corte para clasificar a los individuos en grupos según su ancestría.



### 3.3.2. Sistema de Antropología Dental ASU

Como se expuso en la sección “1.2. Sistema de Antropología Dental ASU” de este trabajo, este sistema consiste en la observación macroscópica de la dentición de un individuo, con la referencia de placas de yeso que representan los diferentes grados de expresión de cada rasgo morfológico dental. En cuanto estas placas, los autores del sistema ASUDAS, Turner, Nichol y Scott (1991) recomiendan el uso directo de las placas como referencia, más que fotografías de éstas, para apreciar los rasgos de manera tridimensional.

Para colecciones arqueológicas, las piezas dentales se pueden analizar directamente y por separado unas de otras, aunque esto limita la observación de la orientación de los dientes *in situ* (e.g., *rotación mesopalatina*). Para estudios en población actual, como es el caso de este estudio, se utilizan modelos dentales de yeso, que son réplicas precisas de la dentición de los individuos.

En la **Tabla 3** se pueden observar los rasgos que se evaluaron en la dentición de los individuos de la muestra, junto con la pieza dental en la que se evalúa el rasgo, la gradación en base a las placas de referencia de ASUDAS, y los valores de grados de expresión que son considerados como *presencia* del rasgo (Turner, Nichol y Scott, 1991; Scott y Turner, 1997).

El rasgo *diente en pala* consiste en un engrosamiento de los rodetes mesial y distal por la superficie palatina, dando “forma de pala” al incisivo central o lateral (Scott y Turner, 1997). La escala de medición para este rasgo fue propuesta por primera vez por Hrdlička (1920). Dahlberg (1956) fue uno de los primeros investigadores en desarrollar una placa de referencia para la observación de este rasgo, que contenía cuatro grados de expresión (Scott y Turner 1997). Los investigadores de Arizona State University desarrollaron posteriormente la escala de siete grados y su respectiva placa de referencia (Turner, Nichol y Scott, 1991).

El rasgo *doble pala* consiste en el engrosamiento de los rodetes mesial y distal por la superficie vestibular del incisivo central o lateral (Scott y Turner, 1997). La placa de referencia para este rasgo por parte de los investigadores de Arizona State University existe para el incisivo central superior (UI1), pieza en la que es más común y pronunciada. Esta misma placa puede ser utilizada para incisivos laterales y caninos aunque la correspondencia en la forma no es totalmente exacta (Rivera, 2012).

El rasgo *rotación mesopalatina* consiste en una rotación bilateral de los márgenes distales de los incisivos centrales superiores, de manera que, en la vista oclusal, se forma una “V” con el vértice apuntando hacia palatino (Scott y Turner, 1997). De la gradación de este rasgo se considera producto de factores genéticos sólo la rotación mesopalatina bilateral, es decir, de ambos incisivos centrales (ver **Tabla 3**). Comúnmente los grados 2 y 4 son considerados como producto de apiñamiento dental. Es por esto que antes de considerar este rasgo como presente es necesario también observar la rotación y el apiñamiento de

los dientes adyacentes (Rivera, 2012). En este trabajo, se consideró como presente el rasgo de *rotación mesopalatina* sólo cuando no había presencia de apiñamiento en el arco dental superior. Además, para calcular el ángulo de la *rotación mesopalatina* de los individuos sin apiñamiento, se tomaron fotografías digitales de la vista oclusal, con la cámara situada en un plano perpendicular al ángulo del incisivo central superior.

El rasgo *cúspide de Carabelli* consiste en una cúspide accesoria en la superficie mesopalatina o palatina del protocono del primer molar superior, aunque también se puede llegar a observar en segundo y tercer molar superior. La forma de expresión de “cúspide”, sin embargo, es la expresión más extrema de un amplio rango de variación de lo que se conoce como “rasgo de Carabelli”, que contempla también pequeños surcos e incisiones en forma de “Y”. La escala de ocho grados de expresión para el rasgo de Carabelli fue propuesta por primera vez por Dahlberg (1956), y fue la más utilizada a nivel global para luego ser incorporada en el sistema ASUDAS (Scott y Turner, 1997). El *rasgo de Carabelli* se puede considerar como presente a partir del grado 2 (Turner, Nichol y Scott, 1991), o a partir del grado 5 si se considera sólo la *cúspide de Carabelli* (Scott y Turner, 1997). En este trabajo se consideró esta última, a partir del grado 5 de expresión.

El rasgo *reducción del hipocono* consiste en la reducción de tamaño de la cúspide distopalatina (o cuarta cúspide) del segundo molar superior, aunque también se puede llegar a observar en el primer y tercer molar superior. En comparación con las otras cúspides, el hipocono es la cúspide que en homínidos se encuentra más frecuentemente reducida en tamaño, incluso llegando a desaparecer en las etapas más tardías de la evolución homínida (Scott y Turner, 1997). Este rasgo se evaluaba con cuatro grados de expresión hasta que Turner, Nichol y Scott (1991) propusieran seis grados en el sistema ASUDAS.

A excepción de la *rotación mesopalatina*, que se mide en ambos incisivos centrales superiores, los otros rasgos morfológicos dentales se evalúan en una pieza dental por individuo. Al ser todos rasgos observados en dientes superiores, lo que resta por decidir es la lateralidad del incisivo o molar para la observación del rasgo. En este trabajo, el rasgo se observó en las piezas dentales de ambos lados, pero se registró el dato sólo de aquel lado en que el rasgo presentaba mayor expresión, o en el que fuese más claramente observable (Turner y Scott, 1977; Scott e Irish, 2016). Así, cada individuo presentó un dato único para cada uno de los rasgos, que son: (1) *diente en pala* en UI1, (2) *diente en pala* en UI2, (3) *doble pala* en UI1, (4) *doble pala* en UI2, (5) *rotación mesopalatina* en UI1, (6) *cúspide de Carabelli* en UM1 y (7) *reducción del hipocono* en UM2.

**Tabla 3: Detalle de gradación de los RMD analizados**

Rasgo	Diente	Gradación	Descripción	Presencia
Diente en pala	UI1	0. Ausencia	Superficie palatina es esencialmente plana	3-6
		1. Leve	Leves elevaciones en mesial y distal	
		2. Trazo	Elevaciones claras en mesial y distal	
		3. Semipala	Rodetes robustos	
		4. Semipala robusta	Rodetes más robustos	
		5. Pala	Rodetes más robustos y desarrollados	
Diente en pala	UI2	0. Ausencia	Superficie palatina es esencialmente plana	3-7
		1. Leve	Leves elevaciones en mesial y distal	
		2. Trazo	Elevaciones claras en mesial y distal	
		3. Semipala	Rodetes robustos	
		4. Semipala robusta	Rodetes más robustos	
		5. Pala	Rodetes más robustos y desarrollados	
		6. Pala robusta	Rodetes más robustos, en contacto con cíngulo	
7. Forma de barril	Rodetes más robustos, en contacto entre sí			
Doble pala	UI1 y UI2	0. Ausencia	Superficie labial es esencialmente plana	2-6
		1. Leve	Leves rastros en mesial y distal, o sólo mesial	
		2. Trazo	Leves elevaciones en mesial y distal	
		3. Pala semidoble	Elevaciones claras en mesial y distal	
		4. Doble pala	Rodetes robustos hasta la mitad de superficie labial	
		5. Doble pala robusta	Rodetes robustos en toda la superficie labial	
6. Doble pala extrema	Rodetes más robustos y desarrollados			
Rotación meso-palatina	UI1	1. Rotación bilateral	Incisivos centrales rotados mesopalatinamente	1
		2. Rotación unilateral	Sólo uno de los incisivos está rotado	
		3. Rectos	Incisivos rectos o en la curvatura de la arcada dental	
		4. Contra-rotación	Uno o ambos incisivos rotados distopalatinamente	
Cúspide de Carabelli	UM1	0. Ausencia	Superficie mesopalatina del protocono es lisa	5-7
		1. Surco	Surco en superficie mesopalatina del protocono	
		2. Punto	Depresión en forma de punto ("pit")	
		3. "Y" leve	Depresión leve en forma de "Y"	
		4. "Y" marcada	Depresión mayor en forma de "Y"	
		5. Cúspide pequeña	Pequeña cúspide, sin ápice libre	
		6. Cúspide media	Cúspide media, ápice contacta el surco distopalatino	
7. Cúspide grande	Gran cúspide con ápice libre			
Reducción del hipocono	UM2	0. Ausencia	Ausencia completa de cuarta cúspide. Superficie lisa	0-1
		1. Puente	Tenue puente presente en lugar de la cúspide	
		2. Cúspide leve	Cuarta cúspide levemente expresada	
		3. Cúspide pequeña	Cuarta cúspide de tamaño pequeño	
		4. Cúspide media	Cuarta cúspide de tamaño medio	
5. Cúspide grande	Cuarta cúspide de gran tamaño			

UI1 = Incisivo central sup.; UI2 = Incisivo lateral sup.; UM1 = Primer molar sup.; UM2 = Segundo molar sup.  
 Datos obtenidos de Turner, Nichol y Scott (1991) y Scott y Turner (1997)

### 3.3.3. Morfometría Geométrica

La aplicación de la morfometría geométrica requiere de la identificación de hitos o “*landmarks*” de significancia estructural, funcional y/o evolutiva, para generar un mapa de hitos homólogos, llamados así por su relación basada en criterios evolutivos (i.e. compartir un ancestro en común). Estos mapas luego son traducidos en un espacio multidimensional y multivariado (llamado “*Kendall shape space*”) en base al cual se puede medir de forma matemática la variación morfológica de todos los rasgos u organismos estudiados. El método permite luego la visualización de la variación en coordenadas de un plano cartesiano. Esta visualización permite conocer el patrón de variación de la forma anatómica mediante una función de extrapolación (“*thin-plate spline*”) que permite visualizar desplazamiento de los hitos a través de la variación estimada a partir de la muestra de datos. Con este enfoque, los avances tecnológicos en cuanto a digitalización de gráficas han permitido producir de forma innovadora ilustraciones de los cambios de las formas en 2D y 3D.

Los primeros pasos para el análisis en Morfometría Geométrica, y que corresponden a los procedimientos de recolección de datos morfométricos geométricos, consisten en (1) definir los hitos homólogos a utilizar, que se deben determinar en base a su significancia estructural, funcional y/o evolutiva. Estos hitos muestran puntos de correspondencia anatómica entre las estructuras biológicas a evaluar (Gamarra et al., 2016); y (2) la construcción de un mapa de hitos homólogos. Este mapa permite definir los hitos que se utilizan para obtener los datos de distancias de Procrustes (ver sección “3.4.4 Análisis de los RMD según Morfometría Geométrica” de este trabajo). El mapa de hitos se definió en base a investigaciones previas del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2) de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

En la **Tabla 4** se presentan los hitos homólogos que se utilizaron para evaluar cada uno de los rasgos morfológicos dentales. Por la naturaleza del análisis en Morfometría Geométrica, que se realiza en la pieza dental de forma global, los hitos homólogos están agrupados por pieza dental. Como los rasgos *diente en pala* y *doble pala* para cada incisivo se miden en las mismas piezas dentales, aunque en ASUDAS se evalúe por separado, en este análisis forman parte del mismo grupo de hitos. Lo mismo ocurre para el caso de *reducción del hipocono* y *cúspide de Carabelli* en UM1, en esta pieza dental estos rasgos conforman un solo grupo de hitos. Para la elección de la lateralidad de la pieza dental a evaluar, se utilizó el mismo criterio aplicado para ASUDAS (ver sección “3.3.2. Sistema de Antropología Dental ASU” de este trabajo), de evaluar la pieza dental del lado en que el o los rasgos presentaran mayor expresión, o en el que fuesen más claramente observables.

**Tabla 4: Hitos homólogos utilizados para Morfometría Geométrica**

Rasgo	Hito	Posición	Descripción
Pala y Doble pala UI1	0	Cíngulo	Punto más prominente del cíngulo del incisivo
	1	Fosa palatina	Punto más profundo de la fosa central, en la cara palatina
	2	Rodete mesial	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 1), en la cara palatina
	3	Rodete distal	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 1), en la cara palatina
	4	Rodete mesial	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 1), en la cara vestibular
	5	Cara vestibular	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 1), en la cara vestibular
Hipocono UM1	6	Rodete distal	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 1), en la cara vestibular
	7	Protocono	Ápice de cúspide mesopalatina
	8	Paracono	Ápice de cúspide mesovestibular
	9	Metacono	Ápice de cúspide distovestibular
	10	Hipocono	Ápice de cúspide distopalatina
Rasgo de Carabelli UM1	11	Fosa central	Punto más profundo de la fosa central, en la cara oclusal
	12	Rasgo en superficie palatina de protocono	(a) Hito en el margen gingival* de la superficie palatina de la cúspide mesopalatina o protocono; (b) Hito en el punto o fosa** de la superficie palatina de la cúspide mesopalatina o protocono; (c) Hito en el ápice de cúspide accesoria*** de la superficie palatina de la cúspide mesopalatina o protocono.
Hipocono UM2	13	Protocono	Ápice de cúspide mesopalatina
	14	Paracono	Ápice de cúspide mesovestibular
	15	Metacono	Ápice de cúspide distovestibular
	16	Fosa central	Punto más profundo de la fosa central, en la cara oclusal
	17	Hipocono	Ápice de cúspide distopalatina
Pala y Doble pala UI2	18	Cíngulo	Punto más prominente del cíngulo del incisivo
	19	Fosa palatina	Punto más profundo de la fosa central, en la cara palatina
	20	Rodete mesial	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 19), en la cara palatina
	21	Rodete distal	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 19), en la cara palatina
	22	Rodete mesial	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 19), en la cara vestibular
	23	Cara vestibular	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 19), en la cara vestibular
	24	Rodete distal	A la altura del punto más profundo de la fosa (hito 19), en la cara vestibular

(\* ) Para casos de ausencia del rasgo; (\*\* ) Para casos de presencia del rasgo en forma de punto o fosa; (\*\*\*) Para casos de presencia del rasgo en forma de cúspide.

### **3.4. Análisis de datos**

#### **3.4.1. Error intra e inter-observador**

Para evaluar el error intra e inter-observador en ASUDAS, se aplicó el test de kappa. Este test es ampliamente utilizado en estudios clínicos de distintas disciplinas (Abraira, 2000; Cerda y Villarroel, 2008; Campo-Arias y Herazo, 2010) donde los investigadores evalúan presencia y ausencia de ciertos diagnósticos en pacientes, es decir, cuando el dato que se mide es de tipo categórico.

Este test entrega como resultado un coeficiente, llamado coeficiente o índice de kappa, que refleja la fuerza de la concordancia entre dos observadores (Cerda y Villarroel, 2008). Este índice tiene incorporado en su cálculo una fórmula de corrección que excluye la concordancia debida exclusivamente al azar. El resultado final es un índice entre 0 y 1, donde la máxima concordancia posible corresponde a  $k = 1$ , y donde  $k = 0$  corresponde a la concordancia que se espera a causa exclusiva del azar (López de Ullibarri y Pita, 2001).

Como resumen, el índice de kappa (1) se usa para evaluar la concordancia o reproducibilidad de instrumentos de medida cuyo resultado es categórico -2 o más categorías- y (2) representa la proporción de acuerdos observados más allá del azar, respecto del máximo acuerdo posible más allá del azar (Abraira, 2000).

Para ASUDAS, las mediciones consideradas para el error inter-observador fueron realizadas siguiendo el mismo procedimiento en el mismo grupo de individuos de la muestra, en primer lugar por la autora de este trabajo, sin experiencia previa en la aplicación de este sistema, y en segundo lugar por un investigador del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2), con experiencia en la aplicación de este sistema. Las mediciones consideradas para el error intra-observador fueron realizadas siguiendo el mismo procedimiento en el mismo grupo de individuos de la muestra, al comienzo del trabajo con el sistema ASUDAS, y luego, meses después, al final de la aplicación de este sistema en toda la muestra.

Para evaluar el error intraobservador en Morfometría Geométrica, se realizó una función discriminante en el software MorphoJ, ingresando como “grupos” las dos mediciones o repeticiones realizadas por la autora de este trabajo. El análisis discriminante entrega los valores de la primera repetición que se corresponden con los de la segunda repetición, y viceversa. Cuando el análisis no discrimina entre primera y segunda repetición de datos, se infiere que no existe un error intraobservador significativo.

### 3.4.2. Poder estadístico

Como se puede ver en la sección “3.1. Muestra” de este trabajo, el software GPower (v. 3.1) se utilizó en una muestra piloto para calcular el tamaño muestral requerido para este estudio. Como parte de los análisis *post hoc* que permite realizar este software, es posible tanto estimar un tamaño muestral para un poder estadístico deseado, como estimar el poder estadístico de un tamaño muestral ya definido. De esta manera, una vez realizado el análisis de los RMD en la muestra de 78 individuos de Santiago de Chile, se pudo calcular el poder estadístico de cada uno de estos rasgos para diferenciar los individuos de la muestra según su amerindicidad genética estimada. Los sub-grupos de la muestra fueron determinados esta vez por la función discriminante explicada en la sección “3.3.1 Amerindicidad genética y estimada” de este trabajo.

Las **Tablas 5 y 6** muestran los criterios y datos ingresados para el cálculo de poder estadístico tanto para datos nominales de ASUDAS como para datos de Procusto en Morfometría Geométrica. Este cálculo de poder estadístico se hace por separado para cada uno de los rasgos, en caso de ASUDAS, y para cada grupo de hitos homólogos en el caso de Morfometría Geométrica.

**Tabla 5: Cálculo de poder estadístico en GPower para datos ASUDAS**

<b>Selección de análisis</b>	Test family	X <sup>2</sup> tests
	Statistical test	Goodnes-of-fit tests: Contingency tables
	Type of power analysis	Post hoc: Compute achieved power – given $\alpha$ , sample size, and effect size
<b>Parámetros ingresados</b>	$\alpha$ err prob	0.05
	Total simple size	78
	Df	1

**Tabla 6: Cálculo de poder estadístico en GPower para datos de MG**

<b>Selección de análisis</b>	Test family	F tests
	Statistical test	MANOVA: Global effects
	Type of power analysis	Post hoc: Compute achieved power – given $\alpha$ , sample size, and effect size
<b>Parámetros ingresados</b>	$\alpha$ err prob	0.05
	Total simple size	78
	Number of groups	3
	Response variables	3p-7 >= 90% PCA total variance

Para calcular el poder estadístico usando los datos de Procusto, se utilizó el estadístico “Pillai’s trace”. Éste es un estadístico propio de los análisis MANOVA y MANCOVA, que consiste en un valor entre 0 y 1. Valores altos de este estadístico indican que el efecto de los elementos es alto y que éstos contribuyen más al modelo en estudio.

Durante el análisis de Procusto en el software MorphoJ, se obtuvo el valor de “Pillai’s trace” para cada grupo de hitos homólogos, es decir, para cada diente analizado. El número de grupos de la muestra fue definido por los resultados de Amerindicidad estimada (ver sección “4.1. Amerindicidad estimada” de este trabajo). El número de variables respuesta (“*response variables*”) se ingresan dependiendo de la cantidad de componentes con los cuales se alcanza una explicación del 90% de la varianza total del grupo de hitos homólogos (**Tabla 6**).

Una vez se obtuvo la magnitud del efecto para cada rasgo y para cada grupo de hitos homólogos, se calculó el poder estadístico de cada uno de ellos en la muestra de 78 individuos.

### **3.4.3. Análisis de los RMD según ASUDAS**

Una vez obtenidos los datos ordinales y nominales por medio del análisis macroscópico usando el sistema ASUDAS, se analizó el comportamiento de los rasgos morfológicos dentales de la muestra de Santiago de Chile. En primer lugar, se calculó la Medida Media de Divergencia (MMD) entre los sub-grupos de la muestra. Luego, se usaron los datos nominales para comparar las frecuencias de los rasgos en la muestra con las frecuencias de éstos en otras poblaciones del mundo. Finalmente se realizó el análisis multivariado Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) para explorar la similitud y disimilitud de los datos.

#### MMD

La Medida Media de Divergencia o *Smith’s Mean Measure of Divergence* (MMD) es un test estadístico que mide divergencia de los datos. Se puede utilizar para evaluar diferencias estadísticamente significativas entre dos grupos, como la prueba t de Student, pero con la diferencia de que la MMD se utiliza para datos nominales.

La MMD es el test estadístico más típicamente usada en la inferencia de relación biológica entre poblaciones a través de datos morfológicos dentales (Marado, 2014). Este test asume que los rasgos nominales ingresados son independientes y no covarían, motivo por el cual se debe excluir de la prueba los rasgos que covarían con otros ya presentes en ésta. Por este motivo el paso previo al test de MMD es un análisis de covarianza entre los rasgos. En este trabajo se utilizó para esto  $X^2$  de Pearson y Test



exacto de Fisher. Con este primer paso se identifican los rasgos que covarían entre sí, para excluir esta covariación del análisis de MMD.

Este test obtiene sus resultados a partir de la divergencia entre la frecuencia media de los rasgos en diversas variables discretas, utilizando cualquier número de muestras (Marado, 2014). La MMD mide *ausencia de similitud*, por lo que resultados cercanos a 0 significan gran similitud, y resultados cercanos a 1 significan gran diferencia.

Con el test de MMD finalmente se obtiene si las diferencias entre los sub-grupos de la muestra son estadísticamente significativas. Se considera la MMD como estadísticamente significativa cuando su valor es mayor al doble de la desviación estándar calculada entre las muestras usando una fórmula específica (Tyrrell, 2000).

### Frecuencias poblacionales

Con los datos de presencia y ausencia de cada rasgo en la muestra de Santiago de Chile se realizó el cálculo de la proporción de cada uno de éstos en la muestra, para luego diagramar en gráficos para la comparación con otras poblaciones arqueológicas y actuales del mundo.

Los datos de poblaciones del mundo fueron principalmente obtenidos desde Scott y Turner (1997). Las subdivisiones geográficas de la humanidad con que estos autores trabajan son: (1) Eurasia occidental, con la población “Europa occidental” usada como referencia para la comparación; (2) Sino-Americanos, con la población “Indígenas americanos” usada como referencia; (3) Sunda-Pacífico, con las poblaciones “Sudeste de Asia” (población prehistórica), “Polinesia” y “Micronesia” usadas como referencia para la comparación; y (4) África Sub-sahariana, con las poblaciones “África occidental” y “Sudáfrica” usadas como referencia para la comparación en este trabajo.

Las otras poblaciones que se incorporaron para la comparación, cuentan con datos únicos para cada población, motivo por el cual se diagramaron como valores únicos y no como medias con error estándar. Estas poblaciones son “Europa” (Irish, 1998), “Indígenas suramericanos” y “Paleoindios” (Turner, 1984), “Mestizos de Bogotá, Colombia” (Herrera y Osorno, 1994), “Perú” (Matsumura, 1995), “Argentina” (Bollini, Atencio y Colantonio, 2012) y “Valle de Azapa” en Chile (Sutter, 2000).

### PCoA

El Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) es un método para explorar la similitud y disimilitud de los datos cuando éstos se presentan en formato nominal. A partir de una matriz de distancias creada desde los datos obtenidos de ASUDAS, el PCoA busca los principales ejes que expliquen las diferencias en esta matriz. Luego este análisis propone la misma cantidad de ejes que la de variables en la matriz original. Cada eje es responsable de un porcentaje de la varianza total de la muestra, y se ordenan de mayor a menor en este porcentaje, que refleja la variabilidad explicada por ese eje.

Este método asigna finalmente a cada ítem (individuo) un lugar en un espacio, con el número de dimensiones correspondiente al número de ejes, y que se puede graficar en dos dimensiones eligiendo dos de estos ejes. Los más utilizados para diagramar suelen estar entre los primeros tres ejes propuestos por el PCoA, pues son los que explican siempre el mayor porcentaje de la varianza total de la muestra.

En el gráfico que se obtiene del PCoA, con los ejes X e Y correspondientes a dos de las coordenadas propuestas por el análisis, se pueden visualizar las diferencias individuales y de grupos dentro de la muestra. Para el análisis con rasgos nominales ASUDAS, el gráfico muestra todas las combinaciones posibles de rasgos ausentes y presentes (0 y 1) en la muestra y cómo se distribuyen en coordenadas que explican esa varianza.

Para explorar la composición de las coordenadas propuestas por el PCoA, y qué tan significativas son, se computó un *Scree plot* con *Broken-stick model*. El *Scree plot* es una función decreciente que muestra el porcentaje de la varianza total del análisis explicada por cada uno de los factores (ejes, o coordenadas en caso del PCoA). Se utiliza principalmente para verificar el punto en que la función se “desacelera”, el punto en el que normalmente no se necesita seguir considerando más factores en el análisis. Esto es útil especialmente para tomar la decisión de qué número de factores considerar cuando el análisis es de un gran número de factores.

Junto a la función del *Scree plot*, se puede graficar el *Broken-stick model*, que es una función genérica que se computa a partir del número total de factores en el análisis. El modelo *Broken-stick* se utiliza como una regla de corte en Análisis de Componentes Principales (PCA) o de Coordenadas Principales (PCoA): Los factores deben considerarse en el análisis siempre y cuando sus valores sean mayores a los correspondientes a esta función genérica de factores al azar (Jackson, 1993). Cuando el valor observado del factor es menor que el esperado por el modelo Broken-stick, se interpreta que el factor (en este caso coordenada) no es significativo, y por ende no debiese utilizarse en el análisis.

Con estas dos funciones, *Scree plot*, y *Broken-stick model*, se analizaron las coordenadas otorgadas por el PCoA: Se evaluaron aquellas que resultaron significativas para el análisis, y se observó qué rasgos morfológicos dentales de ASUDAS tenían mayor peso en esas coordenadas significativas.

#### **3.4.4. Análisis de los RMD según Morfometría Geométrica**

Con la matriz de datos de los hitos homólogos en las piezas dentales, se analizó el comportamiento de la forma de éstas en la muestra de Santiago de Chile. Los pasos a seguir básicos en Morfometría Geométrica están estandarizados y se pueden

complementar con otros análisis multivariados según los objetivos de investigación. En primer lugar, se realizó un análisis de Procrustes de los hitos homólogos. Luego, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para explorar la distribución de la información de la forma de cada pieza dental. Finalmente se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA) para verificar si los sub-grupos de la muestra presentaban diferencias estadísticamente significativas.

#### Análisis de Procrustes

Este análisis superpone los mapas de hitos homólogos con el fin de remover del análisis toda información que no sea relativa a la forma del objeto estudiado, utilizando como proxy de tamaño el tamaño del centroide. En este tipo de análisis, los datos de las coordenadas de cada hito se trasladan, escalan y se rotan (Adams, Rohlf y Slice, 2004; Zelditch et al., 2004) para obtener la variación morfológica real (en distancia), y junto con ello el promedio de forma y la variabilidad de la muestra. La distancia obtenida como diferencia entre las formas de la muestra puede ser utilizada luego para comparaciones estadísticas (Richtsmeier, Burke DeLeon y Lele, 2002; Adams, Rohlf y Slice, 2004; Zelditch et al., 2004; Mitteroecker y Gunz, 2009).

#### Análisis de Componentes Principales (PCA)

Una vez que los datos de la variación morfológica de la muestra se encuentra cuantificada en distancias y coordenadas, se realiza un Análisis de Componentes Principales. El PCA extrae los componentes de mayor variación en cuanto a la forma del objeto estudiado, en este caso las matrices de hitos de coordenadas, y los proyecta a un plano tangente al espacio morfométrico múltiple multivariado, cuyos ejes son los componentes de la forma (análogos a los componentes principales de un PCA realizado con datos de distancias inter-hito). De esta forma es posible apreciar visualmente la distribución y agrupación de los individuos de la muestra en el espacio de distribución morfológica. En el gráfico de dispersión obtenido por el PCA, se pudo observar la distribución de los sub-grupos de la muestra, y si éstos se encontraban separados o agrupados en estos gráficos que representan la variación de la forma de la pieza dental.

Al igual que en el PCoA en ASUDAS (ver sección “3.4.3 Análisis de los RMD según ASUDAS” de este trabajo), para este PCA se exploró la composición de los componentes utilizando las funciones de *Scree plot* con *Broken-stick model*. Además, se añadió al análisis la función de Biplot. Éste es un gráfico cuyos ejes X e Y corresponden a dos factores. En el gráfico se observan vectores correspondientes a las variables ingresadas en el análisis. La distribución de estos vectores en el gráfico explica la relevancia de cada una de las variables en cada uno de los factores. Por ejemplo, vectores muy cercanos al eje X representan variables que tienen un peso importante en la composición del factor en este eje.

Con estas tres funciones se analizaron los componentes otorgados por el PCA: Se evaluaron aquellos que resultaron significativos para el análisis, y se observó qué hitos

homólogos tenían mayor peso en esos componentes significativos. Los componentes que resultaron significativos en este trabajo fueron los que finalmente se utilizaron para diagramar los gráficos de dispersión del PCA.

## ANOVA

El Análisis de la Varianza (ANOVA) es un análisis estadístico que permite conocer la significancia de las diferencias entre dos o más grupos, por medio de la comparación de las medias de éstos. En este trabajo se utilizó para comparar los sub-grupos de la muestra, obtenidos desde la amerindicidad estimada, y verificar si sus medias morfométricas geométricas para cada pieza dental son significativamente diferentes.

### **3.4.5. Análisis de correspondencia**

Una vez que se obtuvieron los resultados tanto de ASUDAS como de Morfometría Geométrica, se procedió a obtener las matrices de distancias de ambos métodos para realizar el análisis de correspondencia de éstas. Este último análisis tiene como objetivo determinar la concordancia taxonómica entre la clasificación basada en una escala nominal (ASUDAS) y la clasificación basada en una escala de intervalos (algoritmos estándar de Morfometría Geométrica).

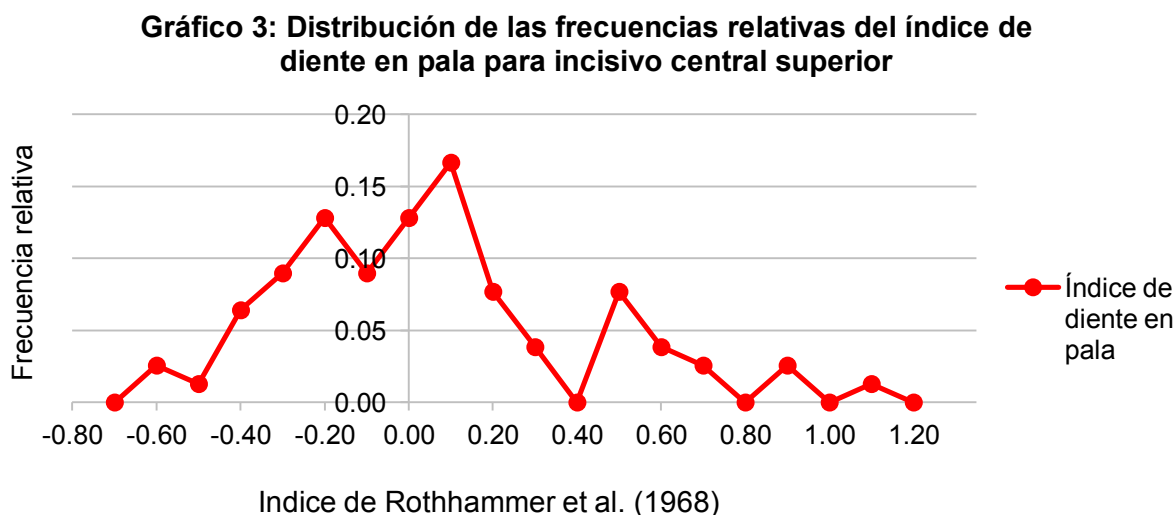
El análisis de correspondencia que se utilizó fue el Test de Mantel de correlación de matrices. Este test mide la congruencia entre dos matrices de distancias, y calcula la significancia estadística de esta congruencia por medio de un procedimiento de permutaciones azarosas en estas matrices (Mantel, 1967). Este test fue desarrollado por Mantel (1967) y generalizado por Manly (1986) y Smouse, Long y Sokal (1986) como una herramienta para investigar los factores que estructuraban la variación biológica, y para evaluar la congruencia de la información de disimilitud contenida en las matrices de distancias (Slice, 2005). El Test de Mantel simple es el que considera dos matrices de distancias. Una extensión del test original es el Test de Mantel parcial, que considera tres matrices de distancias (Bonnet y de Peer, 2002).

Actualmente, el Test de Mantel es ampliamente utilizado en diferentes campos de investigación, como genética de poblaciones, ecología y antropología, entre otros. Este test se ha usado en antropología dental para evaluar la concordancia de los datos morfológicos y los datos genómicos de los individuos (Gamarra et al., 2016; Rathmann et al., 2017). En este trabajo, se realizó un Test de Mantel simple donde las matrices de datos corresponden a los métodos de ASUDAS y Morfometría Geométrica, para evaluar la correspondencia entre ambas matrices de distancias.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Amerindicidad estimada

Para realizar la estimación de amerindicidad para los individuos de la muestra, en primer lugar se midió el *índice de diente en pala*, propuesto por Rothhammer et al. (1968). En el **Gráfico 3** se muestra la distribución de las frecuencias relativas que se obtuvieron de este índice en esta muestra.



La correlación que este dato en el incisivo central superior mostró con la amerindicidad genética conocida de los 12 individuos genotipificados, fue de  $R = 0.866$  y  $R^2 = 0.7506$ , a un nivel estadísticamente significativo. Una vez confirmado esto, se realizó una regresión lineal simple para obtener el dato de “Amerindicidad estimada”. La **Tabla 7** muestra los resultados de esta regresión lineal simple.

**Tabla 7: Resultados de la regresión lineal simple**

	Coef. de regresión	Desv. estándar	t	p	Intervalo 95% conf.
Índice pala	0.7816375	0.1424937	5.49	0.000	0.4641418 – 1.099133
Constante	0.3549729	0.055984	6.34	0.000	0.2302329 – 0.479713

La fórmula de la regresión lineal simple es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Donde “y” es la variable dependiente, “x” es la variable independiente, “β0” es la constante, “β1” es el coeficiente de regresión (**Tabla 7**), y “ε” es el error. El cálculo de la amerindicidad estimada entonces se llevó a cabo de la siguiente manera:

$$Am. est. = 0.3549729 + (0.7816375 * Índice pala) + 0$$

De los valores iniciales que se obtuvieron con esta fórmula, se realizó una normalización de la variable para que la Amerindicidad estimada fuesen valores entre 0 y 1, pues el valor representa la proporción de amerindicidad de cada individuo. Finalmente, la prueba t de Student para una muestra se realizó usando como H<sub>0</sub> el promedio observado de amerindicidad genética, en H<sub>1</sub> el promedio observado en amerindicidad estimada. Los valores del intervalo de 95% de confianza se utilizaron como valores de corte para clasificar a los individuos en grupos según su ancestría. De esta manera, la muestra de 78 individuos terminó clasificada en grupos según ancestría estimada.

En las **Tablas 8 y 9** se pueden observar la conformación de los grupos de la muestra, junto con el detalle de los resultados de la amerindicidad estimada normalizada. Cabe aclarar que los valores 0 y 1 absolutos en amerindicidad estimada normalizada son valores teóricos, y no biológicos: los valores más cercanos a estos extremos en amerindicidad genética conocida fueron de 0.060 y de 0.980 de amerindicidad, siendo éstos ya inusualmente extremos. La agrupación en grupos de Amerindio, No amerindio e Intermedio de los individuos con ancestría genética conocida resultó consistente con su proporción de amerindicidad genética. Tanto los valores infinitesimales como los grupos nominales de “Amerindicidad estimada” fueron utilizados como variables para los posteriores análisis del sistema ASUDAS y los de Morfometría Geométrica.

**Tabla 8: Resultados de Amerindicidad estimada (grupos)**

n	Media	SD	95% intervalo de confianza	
78	0.384	0.21323	0.3360216	0.4321748

Grupo	n	%	Amerindicidad estimada			
			media	mínimo	máximo	SD
Amerindio	27	34.62	0.615	0.437	1.000	0.16005
Intermedio	17	21.79	0.384	0.355	0.418	0.01932
No amerindio	34	43.59	0.201	0.000	0.334	0.08714

**Tabla 9: Resultados de Amerindicidad estimada (detalle)**

<b>Índice de diente en pala</b>	<b>n</b>	<b>Am. genética</b>	<b>Am. estimada (valor inicial)</b>	<b>Am. estimada (normalizada)</b>	<b>Grupo Am. estimada</b>
-0.535	1	--	-0.063	0.000	No amerindio
-0.515	1	--	-0.048	0.012	No amerindio
-0.430	1	--	0.019	0.064	No amerindio
-0.395	1	--	0.046	0.085	No amerindio
-0.350	1	--	0.081	0.112	No amerindio
-0.335	1	--	0.093	0.121	No amerindio
-0.330	1	--	0.097	0.124	No amerindio
-0.310	1	--	0.113	0.137	No amerindio
-0.295	1	--	0.124	0.145	No amerindio
-0.275	1	--	0.140	0.157	No amerindio
-0.270	2	--	0.144	0.161	No amerindio
-0.220	1	--	0.183	0.191	No amerindio
-0.210	2	--	0.191	0.197	No amerindio
-0.200	1	0.06	0.199	0.203	No amerindio
-0.195	2	0.324	0.203	0.206	No amerindio
-0.185	1	--	0.210	0.212	No amerindio
-0.175	1	0.134	0.218	0.218	No amerindio
-0.170	1	--	0.222	0.221	No amerindio
-0.160	2	--	0.230	0.227	No amerindio
-0.150	1	0.135	0.238	0.234	No amerindio
-0.105	1	--	0.273	0.261	No amerindio
-0.060	2	--	0.308	0.288	No amerindio
-0.045	1	--	0.320	0.297	No amerindio
-0.040	2	0.132	0.324	0.300	No amerindio
-0.025	1	--	0.335	0.309	No amerindio
-0.015	1	--	0.343	0.315	No amerindio
0.005	1	--	0.359	0.327	No amerindio
0.015	1	--	0.367	0.334	No amerindio
0.050	1	--	0.394	0.355	Intermedio
0.060	1	0.533	0.402	0.361	Intermedio
0.065	1	--	0.406	0.364	Intermedio
0.070	1	--	0.410	0.367	Intermedio
0.075	1	--	0.414	0.370	Intermedio
0.080	2	--	0.418	0.373	Intermedio
0.085	1	--	0.421	0.375	Intermedio
0.100	3	--	0.433	0.385	Intermedio
0.110	2	0.327	0.441	0.391	Intermedio
0.120	1	--	0.449	0.397	Intermedio
0.150	2	0.569	0.472	0.415	Intermedio

0.155	1	0.492	0.476	0.418	Intermedio
0.185	3	--	0.500	0.437	Amerindio
0.195	1	--	0.507	0.442	Amerindio
0.200	1	--	0.511	0.445	Amerindio
0.230	1	--	0.535	0.464	Amerindio
0.245	3	--	0.546	0.472	Amerindio
0.275	1	--	0.570	0.491	Amerindio
0.320	1	--	0.605	0.518	Amerindio
0.365	1	0.949	0.640	0.545	Amerindio
0.370	1	--	0.644	0.548	Amerindio
0.500	1	--	0.746	0.628	Amerindio
0.530	2	0.973	0.769	0.645	Amerindio
0.545	1	--	0.781	0.655	Amerindio
0.560	1	--	0.793	0.664	Amerindio
0.590	1	--	0.816	0.682	Amerindio
0.670	1	--	0.879	0.731	Amerindio
0.675	2	--	0.883	0.734	Amerindio
0.710	1	--	0.910	0.755	Amerindio
0.740	1	--	0.933	0.773	Amerindio
0.920	1	--	1.074	0.882	Amerindio
0.940	1	--	1.090	0.894	Amerindio
1.115	1	0.980	1.226	1.000	Amerindio



## 4.2. Resultados ASUDAS

La **Tabla 10** muestra las frecuencias obtenidas de los rasgos morfológicos dentales analizados en la muestra de 78 individuos de Santiago de Chile. También se muestran las frecuencias entre las que fluctúa el rasgo en el espectro global.

**Tabla 10: Frecuencia relativa de los RMD en muestra de Santiago de Chile**

Rasgo	Diente	n	%	% global*
Diente en pala	UI1	21	26.92	Entre 0 y 90
Diente en pala	UI2	9	11.54	-
Doble pala	UI1	23	29.49	Entre 0 y 70
Doble pala	UI2	5	6.41	-
Rotación mesopalatina	UI1	4	5.13	Entre 0 y 50
Cúspide de Carabelli	UM1	11	14.10	Entre 0 y 30
Reducción del hipocono	UM2	18	23.08	Entre 0 y 35

\*Fuente: Scott y Turner, 1997

Como se puede ver, los rasgos con una frecuencia absoluta mayor en esta muestra fueron *diente en pala* y *doble pala* para el incisivo central superior (27% y 29% respectivamente), y *reducción del hipocono* para el segundo molar superior (23%). El incisivo lateral superior mostró frecuencias más bajas de *diente en pala* y *doble pala* en comparación con el incisivo central (12% y 6% respectivamente). Por su parte, la *cúspide de Carabelli* en el primer molar superior se presentó en un 14% de los casos y la *rotación mesopalatina* o “winging” de los incisivos centrales superiores se presentó en un 5% de los casos.

Los rasgos de *reducción del hipocono* y *cúspide de Carabelli* son de alta frecuencia en poblaciones europeas a nivel global. Por su parte, los rasgos *diente en pala* y *doble pala* (observado en incisivo central y lateral por separado), *rotación mesopalatina* de los incisivos centrales superiores son rasgos de alta frecuencia en poblaciones amerindias (Scott y Turner, 1997) (Ver sección “4.2.2. Frecuencias poblacionales” de este trabajo). Además, la ausencia del rasgo *reducción del hipocono*, es decir, la presencia de un segundo molar superior con cuatro cúspides en lugar de tres, también puede ser considerado como rasgo amerindio.

En la **Tabla 11** se observa la cantidad y porcentaje de individuos de la muestra que presentan ninguno, uno, o más (hasta 6) de los rasgos amerindios asociados a ancestría asiática: *diente en pala* en incisivo central y lateral por separado, *doble pala* en incisivo central y lateral por separado, *rotación mesopalatina* en incisivo central, y cuatro cúspides (ausencia de *reducción del hipocono*) en el segundo molar superior.

**Tabla 11: Frecuencia de RMD asociados a población amerindia**

Número de rasgos	n	%	Am. Estimada promedio
0	12	15.38	0.22679
1	41	52.56	0.30308
2	8	10.26	0.51387
3	8	10.26	0.57031
4	5	6.41	0.62746
5	3	3.85	0.66693
6	1	1.28	0.98000
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100.00</b>	<b>0.38410</b>

**Tabla 12: Promedio de número de RMDs asociados a población amerindia**

	No Amerindio	Intermedio	Amerindio
<b>Promedio</b>	0.88235	1.05882	2.74074

A modo general, se puede observar que un 15.38% de los individuos pertenecientes a la muestra de Santiago de Chile no presentó ninguno de los rasgos asociados comúnmente a población amerindia. Por otro lado, un 84.62% de la muestra presentó a lo menos uno de estos rasgos (**Tabla 11**). Además, se puede ver que el grupo de individuos que no presenta ningún rasgo amerindio tiene el promedio de amerindicidad estimada más bajo, y que a medida que aumentan la cantidad de rasgos amerindios presentados, los grupos se componen de menos cantidad de individuos, y éstos presentan consecutivamente mayores promedios de amerindicidad estimada. De la misma manera, en la **Tabla 12** se puede ver que los individuos del grupo “Amerindio” presentan un promedio de rasgos amerindios mayor que los grupos “Intermedio” y “No Amerindio”.

### Resultados MMD

Antes de aplicar el test de Medida Media de Divergencia (MMD), se hizo un cálculo de  $X^2$  entre los valores nominales de presencia y ausencia de los rasgos ASUDAS de los individuos agrupados como “Amerindios” y “No Amerindios” en ancestría estimada.

El cálculo de  $X^2$  arrojó que los rasgos que covarían de forma estadísticamente significativa son *diente en pala* UI2 con los rasgos: *diente en pala* UI1; *doble pala* en UI1 y UI2, y con el rasgo *rotación mesopalatina* UI1. Además, *rotación mesopalatina* UI1 también covaría con el rasgo *doble pala* del UI2. Por este motivo, como en el análisis de MMD las variables no pueden covariar, para este análisis se omitió el rasgo de *diente en pala* y *doble pala* del UI2.

Finalmente, el cálculo de la MMD dio como resultado que los grupos “Amerindios” y “No Amerindios” presentan diferencias estadísticamente significativas en lo que respecta a la frecuencia de los rasgos morfológicos dentales analizados.

#### 4.2.1. Error intra e inter-observador en ASUDAS

El cálculo del índice kappa para verificar la concordancia intra-observador e inter-observador arrojó los siguientes resultados:

Para el error inter-observador, la evaluación de los rasgos diente en pala en UI1, rotación mesopalatina en UI1, y cúspide de Carabelli en UM1, obtuvieron una fuerza de concordancia muy buena. La evaluación de los rasgos diente en pala UI2, y reducción del hipocono en UM2, obtuvieron una fuerza de concordancia buena. Por último, la evaluación de los rasgos doble pala en UI y en UI2 obtuvo una fuerza de concordancia débil. El promedio de k en la evaluación inter-observador de los rasgos fue de 0.69710, correspondiente a una fuerza de concordancia buena (**Tabla 13**).

Para el error intra-observador, la evaluación de los rasgos diente en pala en UI1, doble pala en UI2, rotación mesopalatina en UI1, y rasgo de Carabelli en UM1, obtuvieron una fuerza de la concordancia muy buena. La evaluación de los rasgos diente en pala en UI2, doble pala en UI1 y reducción del hipocono en UM2, obtuvieron una fuerza de concordancia buena. El promedio de k en la evaluación intra-observador de los rasgos fue de 0.88423, correspondiente a una fuerza de concordancia muy buena (**Tabla 13**).

**Tabla 13: Valoración del Índice de Kappa**

Valor de k	Fuerza de la concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Fuente: López de Ullibarri y Pita, 2001

#### 4.2.2. Frecuencias poblacionales

En los **Gráficos 4 al 8** se presentan las frecuencias obtenidas para cada RMD en comparación con las frecuencias poblacionales descritas en otras poblaciones. En primer lugar se presentan los rangos mundiales descritos por Scott y Turner (1997) para cada rasgo morfológico dental, y con éstos, las frecuencias que son consideradas como bajas,

medias y altas a nivel global. Luego están agrupadas por color las sub-divisiones de la humanidad que hacen estos autores. En color azul, Eurasia occidental; en color naranja, Sino-Americanos; en color amarillo, Sunda-Pacífico; y en color rojo, África Sub-sahariana. Dentro de estas sub-divisiones se presentan las frecuencias obtenidas en todos estos RMD para diferentes poblaciones del mundo.

En el **Gráfico 4** se puede observar que el rasgo *diente en pala* en incisivos centrales superiores tiene una frecuencia baja en población europea y africana, y una frecuencia muy alta en poblaciones de indígenas americanos arqueológicos y subactuales. En población arqueológica del Valle de Azapa, en Chile (Sutter, 2000), también se obtuvo una frecuencia alta de *diente en pala*. En una población mestiza actual de Bogotá, Colombia (Herrera y Osorno, 1994), se obtuvo una frecuencia media de este rasgo. En este estudio, en población mestiza actual de Santiago de Chile, se obtuvo una frecuencia de 26.92% para *diente en pala* en el incisivo central superior, lo que se considera una frecuencia media a nivel global.

En el **Gráfico 5** se puede observar que el rasgo *dobles pala* en incisivos centrales superiores se comporta de manera similar a *diente en pala*, pero con frecuencias en general más bajas. Las poblaciones que muestran frecuencias más bajas de este rasgo nuevamente son las europeas y africanas, mientras que las poblaciones de indígenas americanos arqueológicos y subactuales muestran las frecuencias más altas de este rasgo. En este estudio se obtuvo una frecuencia de 29.49% para *dobles pala* en el incisivo central superior, lo que se considera una frecuencia media a nivel global.

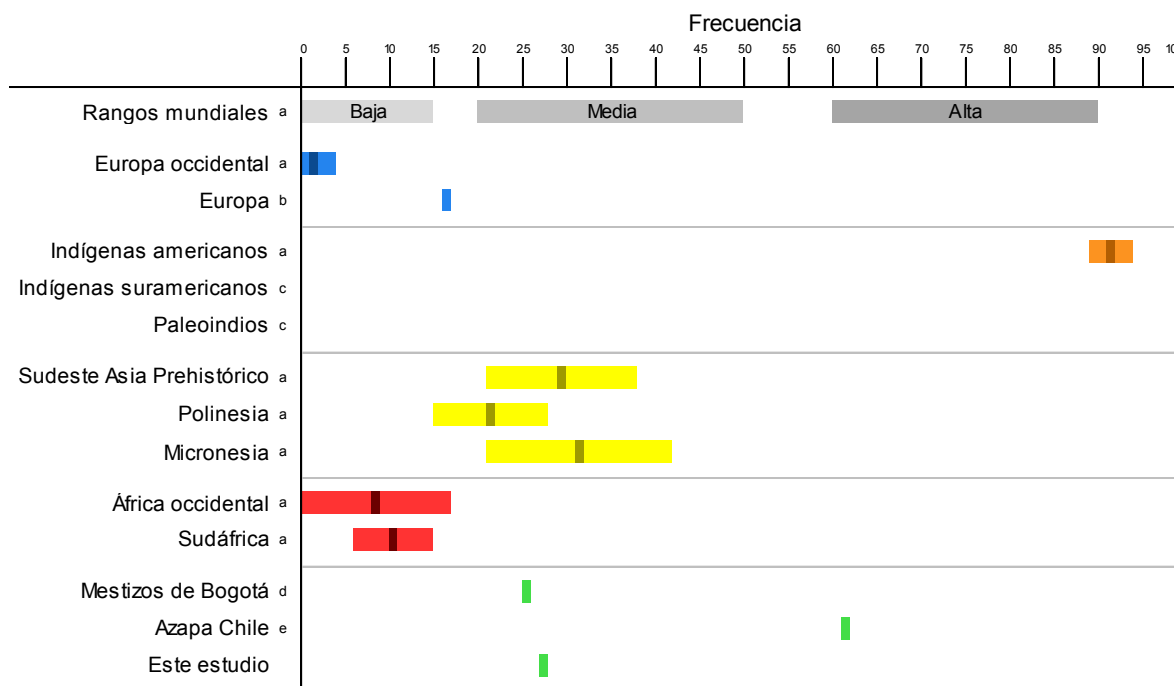
En el **Gráfico 6** se puede observar que el rasgo *rotación mesopalatina* o “winging” en incisivos centrales superiores tiene una frecuencia baja en población europea y una frecuencia muy alta en poblaciones de indígenas americanos, aunque una frecuencia media a nivel global en población Paleoindia (Turner, 1984) En población arqueológica del Valle de Azapa, en Chile (Sutter, 2000), se obtuvo una frecuencia media de *rotación mesopalatina*. En este estudio, en población mestiza actual de Santiago de Chile, se obtuvo una frecuencia de 5.13% para *rotación mesopalatina* en incisivos centrales superiores, lo que se considera una frecuencia baja a nivel global.

En el **Gráfico 7** se puede observar que el rasgo *cúspide de Carabelli* en primer molar superior tiene frecuencias globales más bajas que los otros rasgos. Si bien la tendencia global es a considerar éste como un rasgo “europeo”, esta suposición no es del todo correcta (Scott y Turner, 1997). Las poblaciones europeas muestran frecuencias altas de este rasgo, mientras que poblaciones indígenas americanas publicadas por Scott y Turner (1997) muestran frecuencias bajas. Sin embargo, en poblaciones de indígenas suramericanos y de Paleoindios publicadas por Turner, en 1984, las frecuencias de este rasgo eran altas. En poblaciones de Sunda-Pacífico y de África Sub-sahariana, la tendencia es a frecuencias medias de este rasgo. En la población mestiza actual de Bogotá, Colombia (Herrera y Osorno, 1994), y la población arqueológica del Valle de Azapa, en Chile (Sutter, 2000), se obtuvieron frecuencias altas de *cúspide de Carabelli* en

primer molar superior. En este estudio, en población mestiza actual de Santiago de Chile, se obtuvo una frecuencia de 14.10% para este rasgo, lo que se considera una frecuencia media a nivel global.

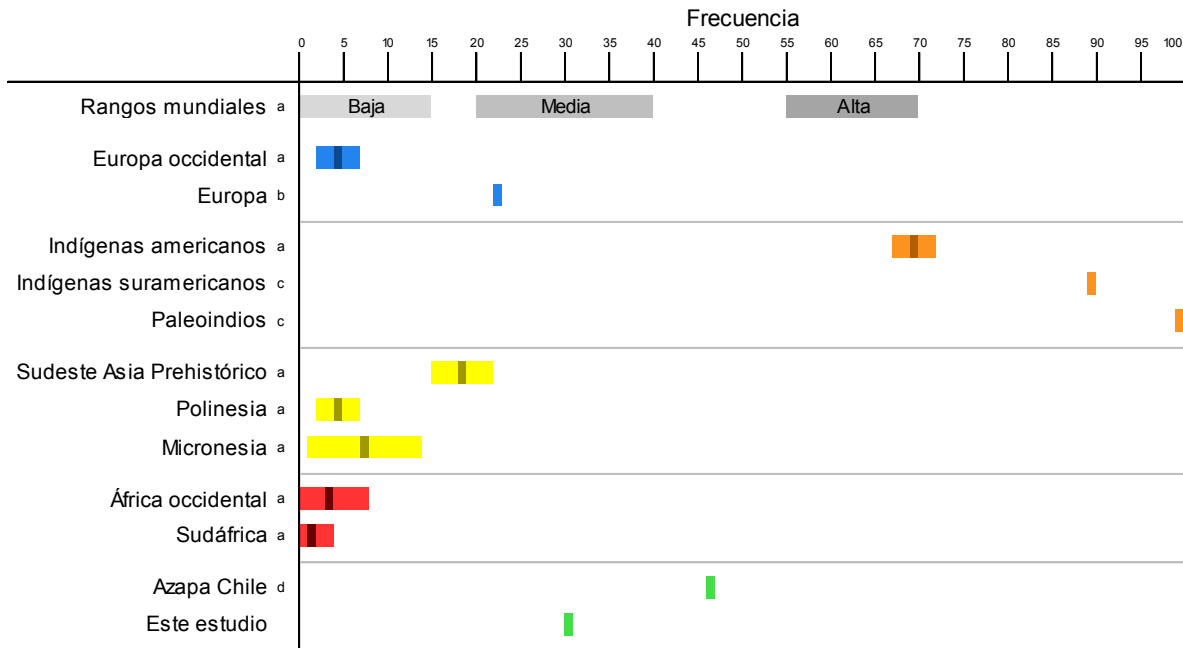
En el **Gráfico 8** se pueden observar las frecuencias del rasgo *reducción del hipocono* en segundo molar superior. Para este rasgo se encontró menos información disponible en la literatura referida previamente, por lo que se agregaron como referencias los datos de Matsumura (1995) y Bollini, Atencio y Colantonio (2012) para población actual de Perú y Argentina respectivamente. Scott y Turner (1997) mencionan que este rasgo, si bien muestran una tendencia a reducirse en el linaje homínido, muestra un rango de frecuencia bastante limitada a nivel global (Scott y Turner, 1997). Las poblaciones africanas muestran las frecuencias más bajas de este rasgo (menores a 10%). Por su parte, las poblaciones del Sunda-Pacífico muestran frecuencias medias, apenas mayores al 10%. En el sub-grupo Sino-Americano, las poblaciones de indígenas americanos muestran frecuencias medio-bajas de este rasgo. Las poblaciones europeas muestran frecuencias altas de *reducción del hipocono* (desde un 20%). Poblaciones actuales de Sudamérica muestran frecuencias medias de este rasgo (Matsumura, 1995; Bollini, Atencio y Colantonio, 2012). En este estudio, en población mestiza actual de Santiago de Chile, se obtuvo una frecuencia de 23.08% para *reducción del hipocono* en el segundo molar superior, lo que se considera una frecuencia alta a nivel global.

**Gráfico 4: Frecuencias poblacionales de *diente en pala* en UI1**



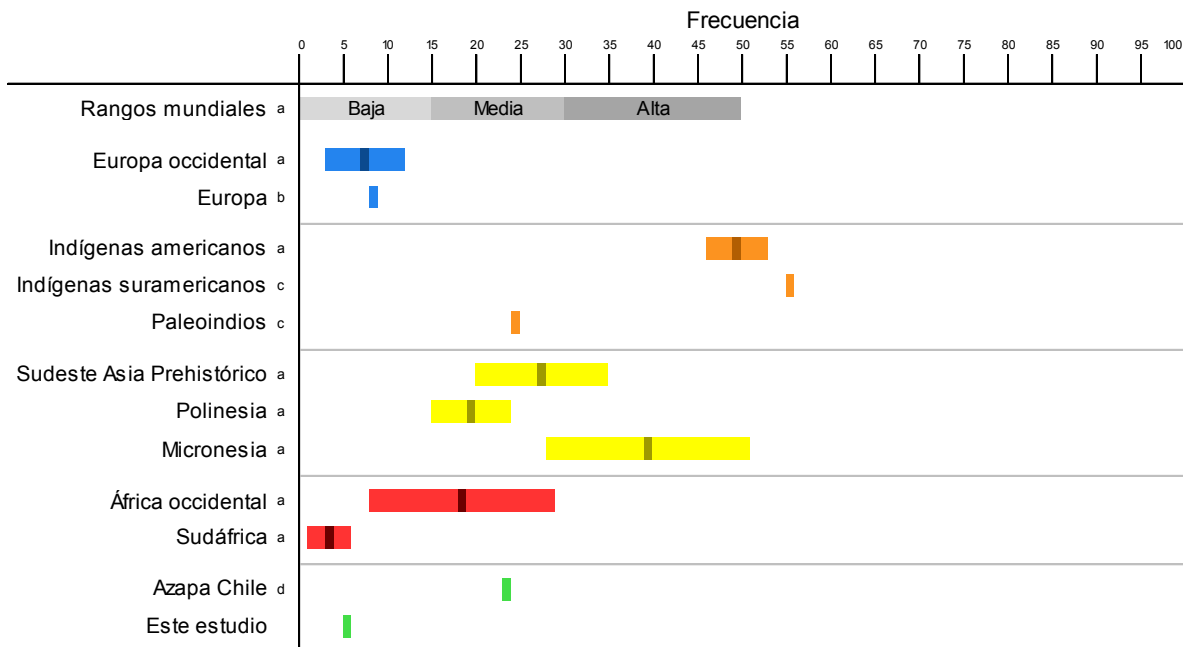
(a) Scott y Turner, 1997; (b) Irish, 1998; (c) Turner, 1984; (d) Herrera y Osorno, 1994; (e) Sutter, 2000

**Gráfico 5: Frecuencias poblacionales de *doble pala* en UI1**



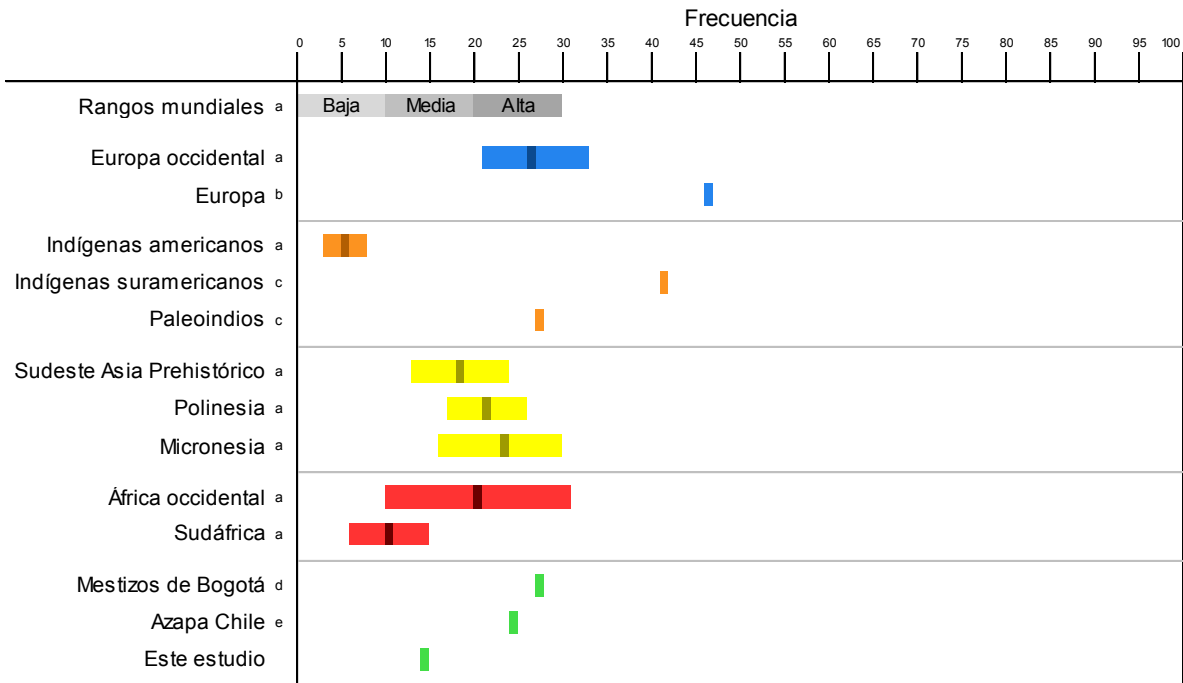
(a) Scott y Turner, 1997; (b) Irish, 1998; (c) Turner, 1984; (d) Sutter, 2000

**Gráfico 6: Frecuencias poblacionales de *rotación mesopalatina* en UI1**



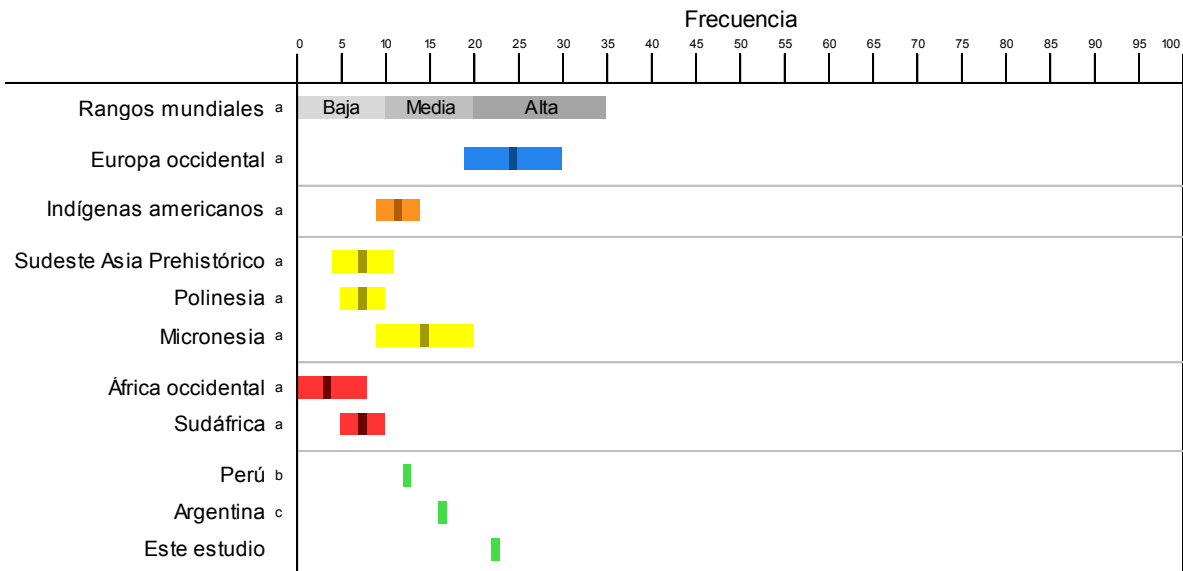
(a) Scott y Turner, 1997; (b) Irish, 1998; (c) Turner, 1984; (d) Sutter, 2000

**Gráfico 7: Frecuencias poblacionales de *cúspide de Carabelli* en UM1**



(a) Scott y Turner, 1997; (b) Irish, 1998; (c) Turner, 1984; (d) Herrera y Osorno, 1994; (e) Sutter, 2000

**Gráfico 8: Frecuencias poblacionales de *reducción del hipocono* en UM2**



(a) Scott y Turner, 1997; (b) Matsumura, 1995; (c) Bollini, Atencio y Colantonio, 2012

### 4.2.3. Análisis de Coordenadas Principales (PCoA)

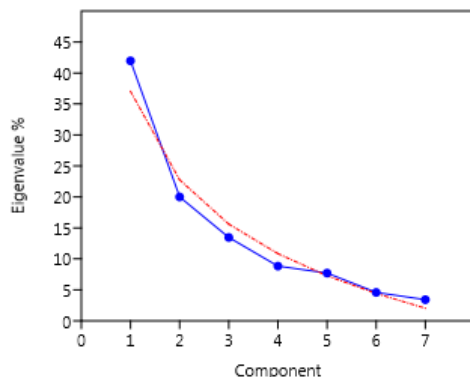
A continuación se presentan los resultados del Análisis de Coordenadas Principales. En la **Tabla 14**, se ven los 7 ejes o coordenadas resultadas del análisis, cada una con su valor propio, el porcentaje de la varianza que explica, y el porcentaje acumulado de la varianza desde la primera hasta la última coordenada. De esta manera se puede observar que los primeros 3 ejes explican un 75% de la varianza total.

**Tabla 14: Coordenadas en PCoA de rasgos ASUDAS**

Eje	valor propio	%	% acumulado
1	29.922	41.969	41.969
2	14.26	20.001	61.970
3	9.5939	13.457	75.427
4	6.3032	8.841	84.268
5	5.4999	7.7143	91.982
6	3.2758	4.5947	96.577
7	2.4404	3.4229	100

Ahora bien, es necesario revisar los resultados del *Scree plot* con *Broken-stick model*. En la **Figura 3** se puede observar que las coordenadas 2, 3 y 4 observadas (en color azul), no son mayores que las coordenadas de una función genérica de factores al azar (en color rojo), por ende no son significativas. Las primeras dos coordenadas que muestran significativas son la 1 y la 5, aunque en conjunto expliquen sólo un 49.683% de la varianza de la muestra (**Tabla 14**).

**Figura 3: Scree plot y Broken-stick model de PCoA**



En la **Tabla 15** podemos ver la composición de cada una de las coordenadas del PCoA. Aquí podemos ver que las cargas más grandes de la Coordenada 1 provienen de los rasgos *diente en pala* y *doble pala* del UI1, seguido por *diente en pala* del UI2. En cuanto



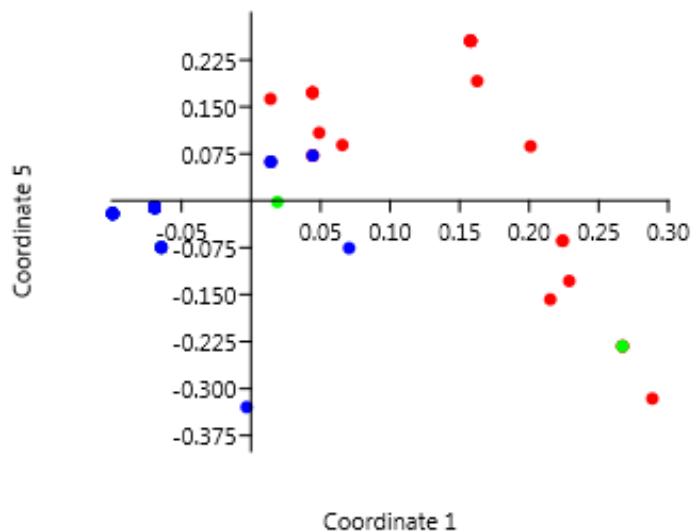
a la Coordenada 5, que es la siguiente coordenada significativa, sus cargas más grandes provienen de los rasgos *diente en pala* del UI2 y *diente en pala* del UI1 en un vector negativo. Podemos decir entonces que los rasgos morfológicos dentales más significativos del sistema ASUDAS son aquellos propios de los incisivos centrales y laterales superiores. Con esto en mente, podemos observar en el **Gráfico 9** las Coordenadas 1 y 5 distribuyendo a los individuos de la muestra según sus rasgos ASUDAS. Se puede observar a los individuos del grupo Amerindio distribuidos en la parte superior derecha de la dispersión, y a los del grupo No amerindio en la parte inferior izquierda, menos dispersos pero claramente diferenciados.

**Tabla 15: Carga de cada Coordenada del PCoA de rasgos ASUDAS**

	PCo 1	PCo 2	PCo 3	PCo 4	PCo 5	PCo 6	PCo 7
P UI1	0.62089	-0.045586	-0.15723	0.63199	-0.42939	-0.06223	-0.006239
P UI2	0.36175	0.04936	-0.13127	0.10667	0.74877	-0.1271	-0.51116
PP UI1	0.62158	0.26294	0.29013	-0.64855	-0.19373	0.02987	-0.035773
PP UI2	0.236	0.0073878	-0.16061	-0.017719	0.39474	-0.23297	0.84145
W UI1	0.11698	0.041316	0.053693	0.12976	0.19612	0.95059	0.15099
C UM1	0.026131	-0.25555	0.90439	0.27168	0.15035	-0.12224	0.068883
H UM2	-0.16494	0.92697	0.16517	0.27862	0.023524	-0.078975	0.042612

P = Diente en pala; PP = Doble pala; W = Rotación mesopalatina; C = Carabelli; H = Reducción del hipocono

**Gráfico 9: Gráfico de dispersión de PCoA de rasgos ASUDAS**



Colores según grupo de Amerindicidad estimada.  
 Rojo: Amerindios; Azul: No Amerindios; Verde: Intermedios

### 4.3. Resultados Morfometría Geométrica

#### 4.3.1. Error intraobservador en Morfometría Geométrica

La función discriminante realizada en MorphoJ para las dos repeticiones hechas por la autora de este trabajo arrojó los resultados que se muestran en la **Tabla 16**. Estos resultados son los que se obtienen de la validación cruzada (“*cross-validation*”) con 1000 permutaciones. El análisis se realiza sobre los hitos homólogos de 10 individuos en dos ocasiones, una al comienzo del trabajo en Morfometría Geométrica, y otra al final de todo el proceso.

**Tabla 16: Resultados de validación cruzada en función discriminante**

	Medición 1	%	Medición 2	%	Total
Medición 1	5	50%	5	50%	10
Medición 2	4	40%	6	60%	10

En la primera fila podemos ver que, de 10 individuos analizados la primera vez, después de la validación cruzada el análisis asigna 5 a la primera medición y 5 a la segunda medición. En la segunda fila podemos ver que, de los mismos individuos analizados la segunda vez, el análisis asigna 4 a la primera medición y 6 a la segunda medición. Lo que estos resultados quieren decir es que los datos de los individuos pueden ser indistintamente de la primera o la segunda medición, y que éstos no se diferencian significativamente. Por lo tanto, se interpretó que no existía un error intraobservador significativo en la aplicación de los métodos de Morfometría Geométrica.

#### 4.3.2. Análisis de Componentes Principales (PCA)

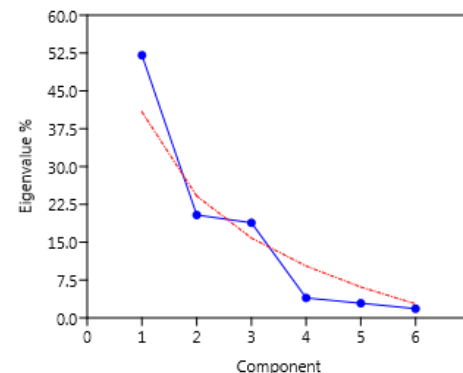
##### Incisivo central superior (UI1)

En la **Tabla 17** se presentan los resultados del PCA para el grupo de hitos correspondiente al UI1. Se puede observar el valor propio, el porcentaje de la varianza, y el porcentaje acumulado de la varianza que explica cada componente. En la **Figura 4** se muestran las funciones *Scree plot* y *Broken-stick model* para UI1. En el caso de este grupo de hitos homólogos, los primeros componentes que resultaron significativos fueron el PC1 y el PC3. En conjunto, los componentes 1 y 3 explican un 70.927% de la varianza de la forma del incisivo central superior (**Tabla 17**).

**Tabla 17: Componentes en PCA de UI1**

PC	valor propio	%	% acum.
1	0.002881	52.069	52.069
2	0.00112875	20.4	72.469
3	0.00104343	18.858	91.327
4	0.000218835	3.955	95.282
5	0.00016048	2.9004	98.1824
6	0.000100579	1.8178	100

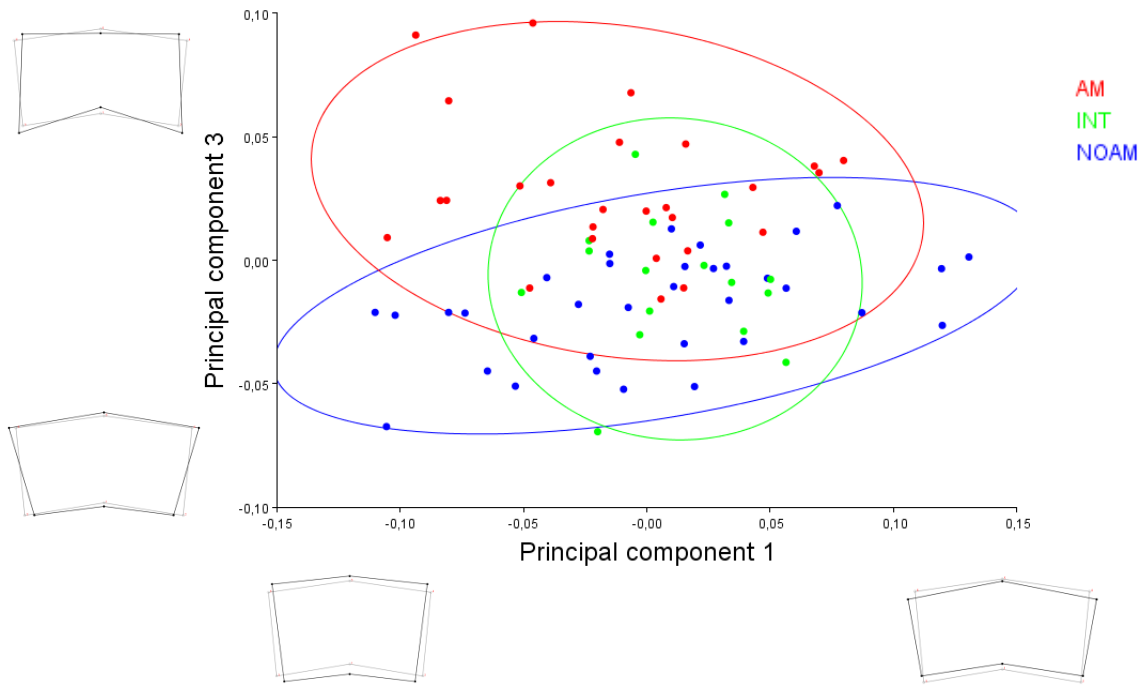
**Figura 4: Scree plot y Broken-stick model del PCA de UI1**



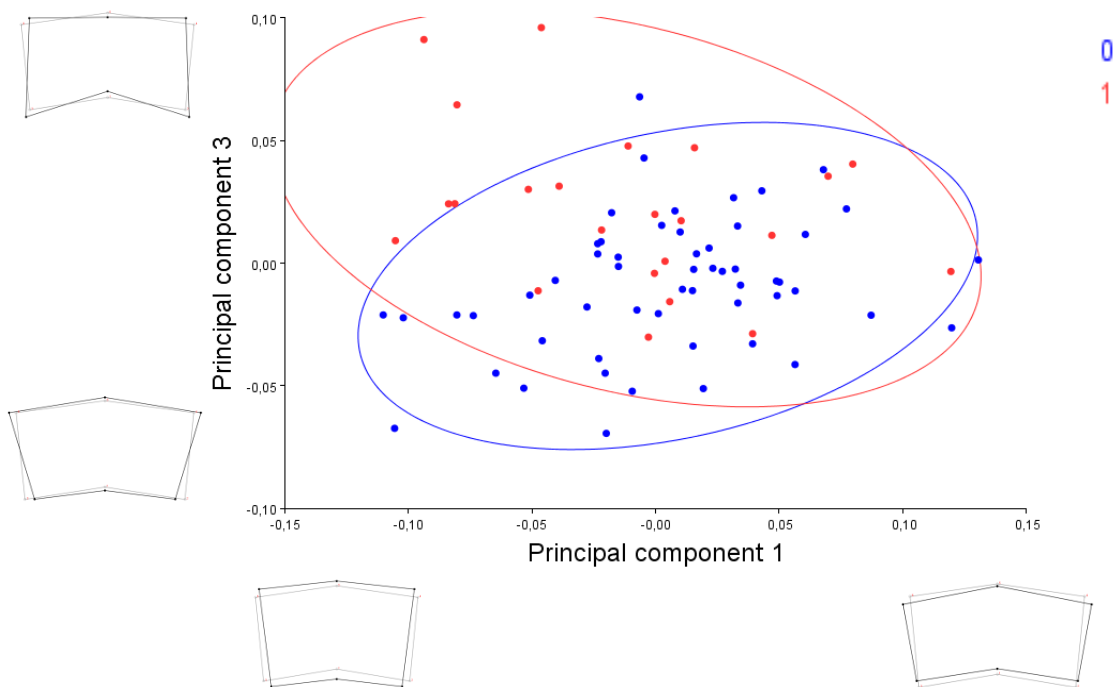
En el **Gráfico 10** se puede observar la dispersión de la muestra entre los componentes PC1 y PC3. Los individuos se encuentran coloreados según grupo de Amerindicidad estimada: “Amerindios”, “Intermedios”, y “No Amerindios”. Las elipses representan un 95% de confianza para cada grupo. En cada eje se pueden ver diagramadas las formas de los valores menores y mayores de cada componente. Valor positivo de PC1 se puede asociar a incisivos más alargados en sentido mesiodistal, mientras que el valor positivo de PC3 se puede asociar a una pala más marcada y rodetes más prominentes hacia vestibular. Se puede apreciar que en el Componente 1 los grupos no se diferencian claramente, mientras que en el Componente 3 se separan los grupos “Amerindios” y “No Amerindios”.

En el **Gráfico 11** se presenta la misma dispersión entre PC1 y PC3 que el **Gráfico 10**, pero esta vez diferenciados según ausencia “0” o presencia “1” del rasgo *diente en pala* del UI1. Se puede observar que los individuos con presencia del rasgo se agrupan en la parte superior de la dispersión. Como se puede observar en el **Gráfico 10**, esta zona es ocupada principalmente por individuos del grupo “Amerindio”.

**Gráfico 10: PCA de UI1 según grupos**



**Gráfico 11: PCA de UI1 según *diente en pala***



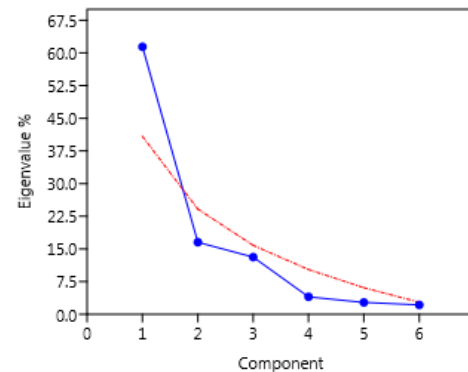
### Incisivo lateral superior (UI2)

En la **Tabla 18** se presentan los resultados del PCA para el grupo de hitos correspondiente al UI2. En la **Figura 5** se muestran las funciones *Scree plot* y *Broken-stick model* para UI2. En el caso de este grupo de hitos homólogos, los primeros componentes que resultaron significativos fueron el PC1 y el PC6. En conjunto, los componentes 1 y 6 explican un 63.5683% de la varianza de la forma del incisivo lateral superior (**Tabla 18**).

**Tabla 18: Componentes en PCA de UI2**

PC	valor propio	%	% acum.
1	0.00357475	61.406	61.406
2	0.000963225	16.546	77.952
3	0.000764692	13.136	91.088
4	0.000233806	4.0163	95.1043
5	0.000159122	2.7334	97.8377
6	0.000125881	2.1623	100

**Figura 5: Scree plot y Broken-stick model del PCA de UI2**



En el **Gráfico 12** se puede observar la dispersión de la muestra entre los componentes PC1 y PC6. Los individuos se encuentran coloreados según grupo de Amerindicidad estimada: “Amerindios”, “Intermedios”, y “No Amerindios”. Las elipses representan un 95% de confianza para cada grupo. En cada eje se pueden ver diagramadas las formas de los valores menores y mayores de cada componente. Valor positivo de PC1 se puede asociar a incisivos más alargados en sentido mesiodistal, mientras que valor positivo de PC6 se puede asociar a pala menos profunda. Se puede apreciar que a simple vista ni el PC1 ni el PC6 diferencian los grupos.

En el **Gráfico 13** se presenta la misma dispersión entre PC1 y PC6 que el **Gráfico 12**, pero esta vez diferenciados según ausencia “0” o presencia “1” del rasgo *diente en pala* del UI2. Se puede observar que la presencia o ausencia de *diente en pala* no se separan en los PC1 y PC6, siendo que éstos mostraron ser los dos componentes significativos y que explican cerca de un 64% de la varianza de la forma de la forma del incisivo lateral superior (**Figura 5 y Tabla 18**).

Gráfico 12: PCA de UI2 según grupos

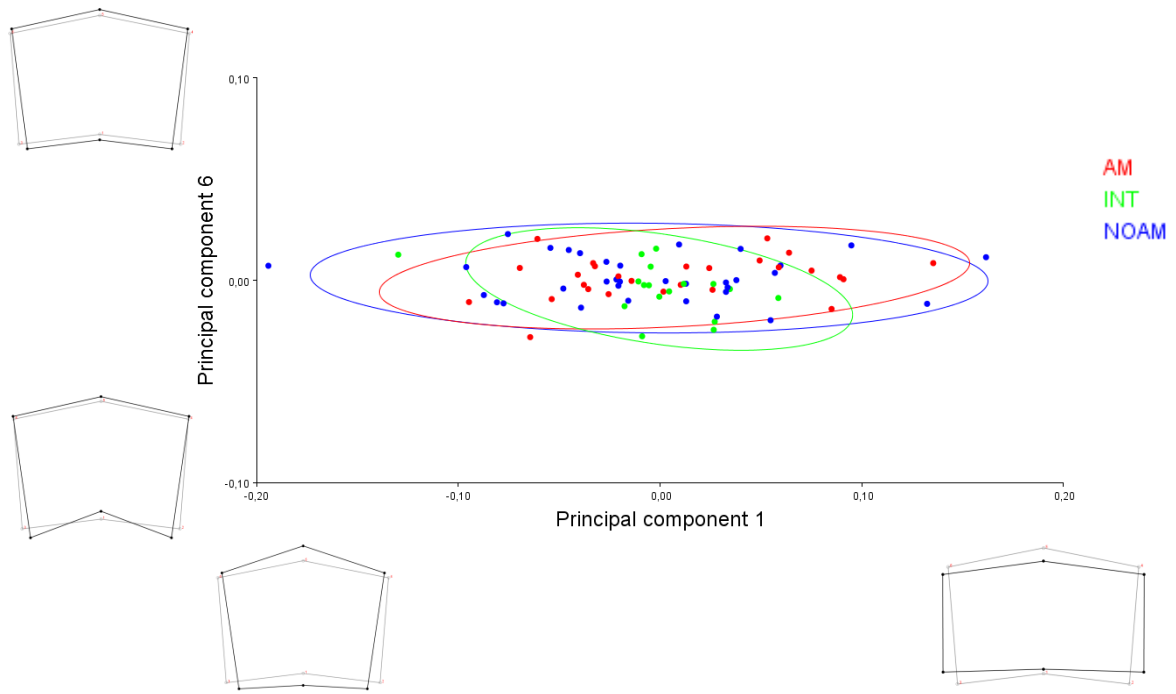
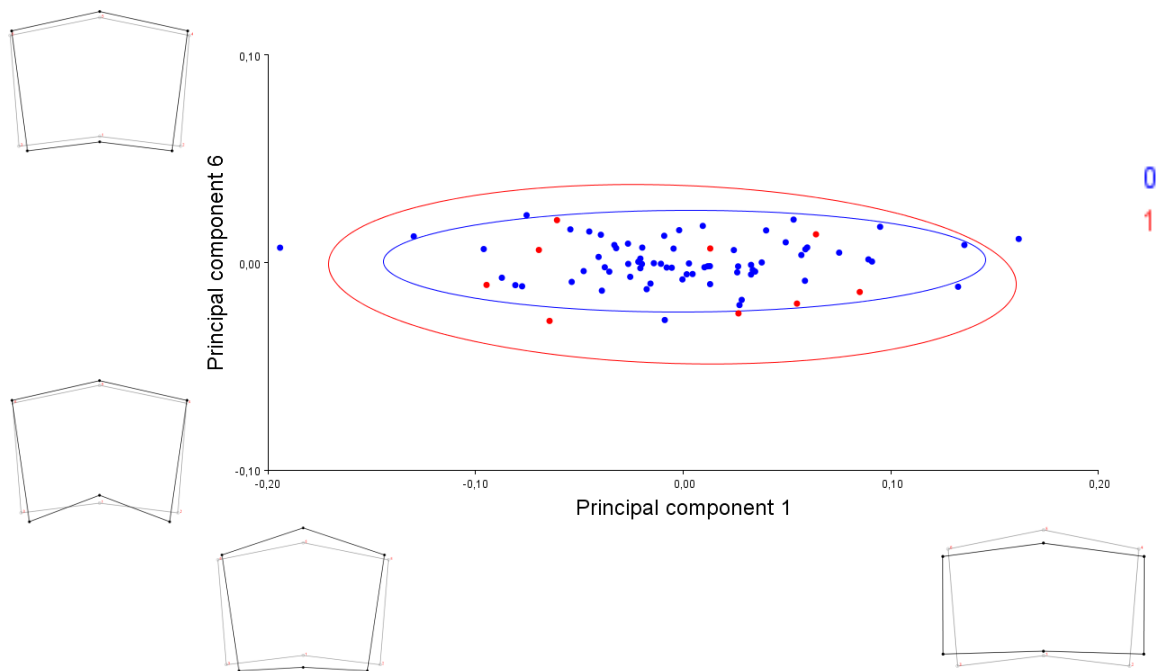


Gráfico 13: PCA de UI2 según *diente en pala*



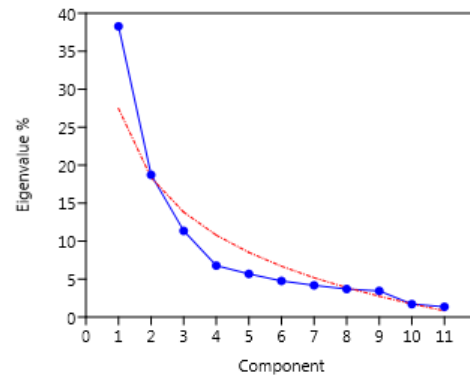
### Primer molar superior (UM1)

En la **Tabla 19** se presentan los resultados del PCA para el grupo de hitos correspondiente al UM1. Se puede observar el valor propio, el porcentaje de la varianza, y el porcentaje acumulado de la varianza que explica cada componente. En la **Figura 6** se muestran las funciones *Scree plot* y *Broken-stick model* para UM1. En el caso de este grupo de hitos homólogos, los primeros componentes significativos resultaron el PC1 y el PC2. En conjunto, los componentes 1 y 2 explican un 57.015% de la varianza de la forma del primer molar superior (**Tabla 19**).

**Tabla 19: Componentes en PCA UM1**

PC	valor propio	%	% acum.
1	0.00581791	38.284	38.284
2	0.00284641	18.731	57.015
3	0.00172617	11.359	68.374
4	0.00103044	6.7807	75.1547
5	0.000864454	5.6885	80.8432
6	0.000723821	4.7631	85.6063
7	0.000635799	4.1838	89.7901
8	0.000561532	3.6951	93.4852
9	0.000524279	3.45	96.9352
10	0.000259425	1.7071	98.6423
11	0.000206352	1.3579	100

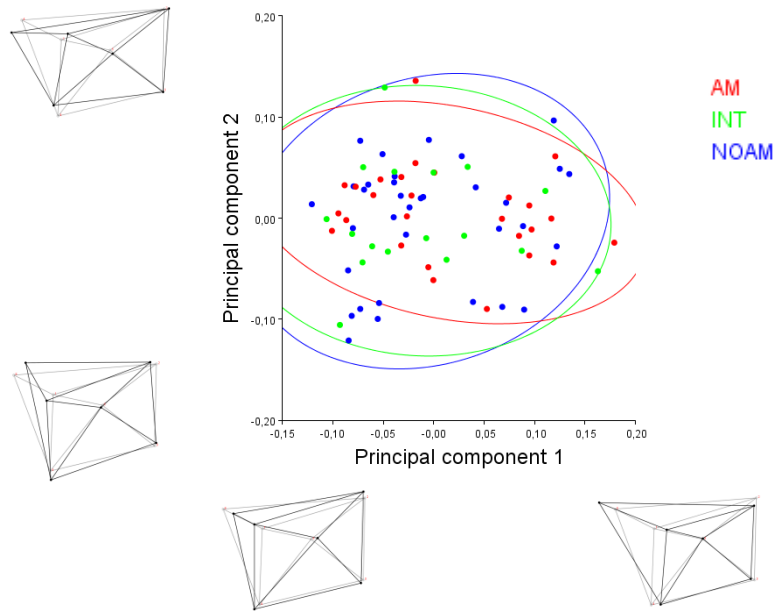
**Figura 6: Scree plot y Broken-stick model del PCA de UM1**



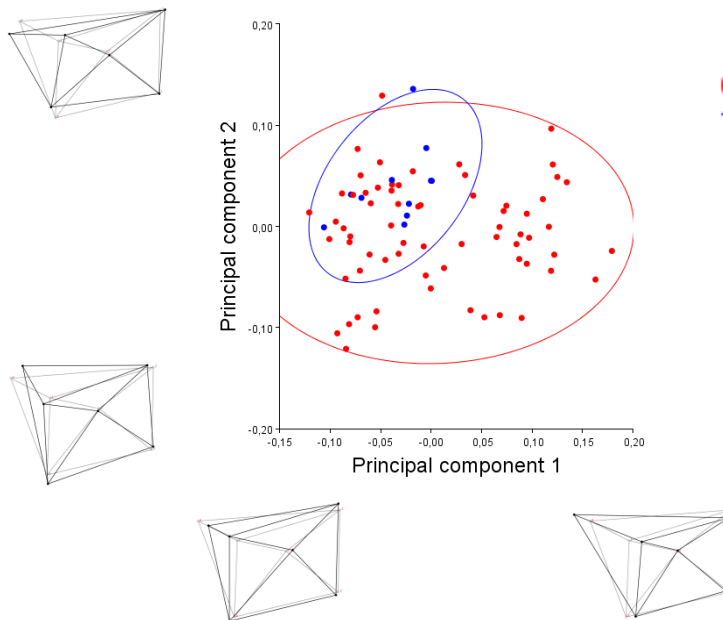
En el **Gráfico 14** se puede observar la dispersión de la muestra entre los componentes PC1 y PC2. Los individuos se encuentran coloreados según grupo de Amerindicidad estimada: “Amerindios”, “Intermedios”, y “No Amerindios”. Las elipses representan un 95% de confianza para cada grupo. En cada eje se pueden ver diagramadas las formas de los valores menores y mayores de cada componente. Valor positivo de PC1 se puede asociar a mayor distancia entre las cúspides del molar y el hito asignado al rasgo de Carabelli. Valor positivo de PC2 se puede asociar a un desplazamiento hacia distal del hito asignado al rasgo de Carabelli. Se puede apreciar que ni el PC1 ni el PC2 diferencian a simple vista los grupos según amerindicidad estimada.

En el **Gráfico 15** se presenta la misma dispersión entre PC1 y PC2 que el **Gráfico 14**, pero esta vez diferenciados según ausencia “0” o presencia “1” del rasgo *cúspide de Carabelli*. Se puede observar que los individuos con presencia del rasgo se agrupan en la parte superior izquierda de la dispersión. Como se puede observar en el **Gráfico 14**, esta zona es ocupada por individuos de los tres grupos de Amerindicidad estimada.

**Gráfico 14: PCA de UM1 según grupos**



**Gráfico 15: PCA de UM1 según cúspide de Carabelli**





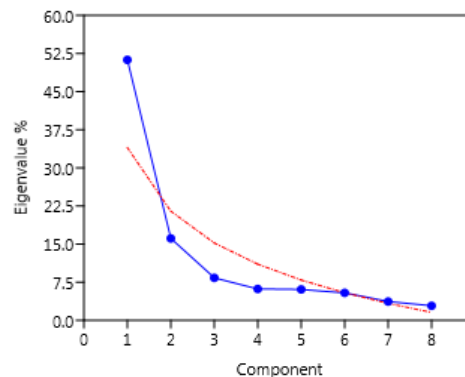
## Segundo molar superior (UM2)

En la **Tabla 20** se presentan los resultados del PCA para el grupo de hitos correspondiente al UM2. Se puede observar el valor propio, el porcentaje de la varianza, y el porcentaje acumulado de la varianza que explica cada componente. En la **Figura 7** se muestran las funciones *Scree plot* y *Broken-stick model* para UM2. En el caso de este grupo de hitos homólogos, los primeros componentes que resultaron significativos fueron el PC1 y el PC6. En conjunto, los componentes 1 y 6 explican un 56.6683% de la varianza de la forma del segundo molar superior (**Tabla 20**).

**Tabla 20: Componentes PCA de UM2**

PC	valor propio	%	% acum.
1	0.0123625	51.251	51.251
2	0.00388869	16.121	67.372
3	0.00201803	8.3662	75.7382
4	0.00148902	6.1731	81.9113
5	0.00146732	6.0831	87.9944
6	0.00130673	5.4173	93.4117
7	0.000895363	3.7119	97.1236
8	0.000693636	2.8756	100

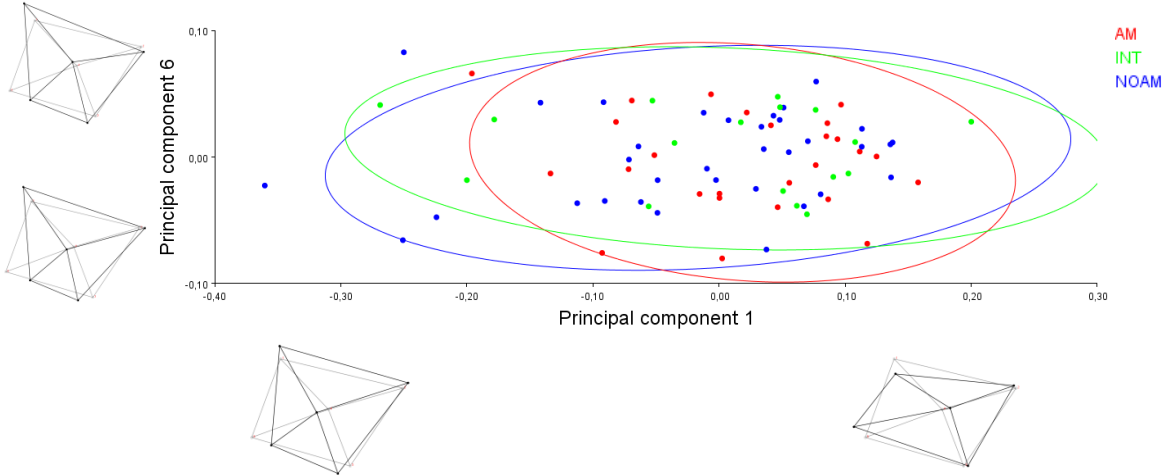
**Figura 7: Scree plot y Broken-stick model del PCA de UM2**



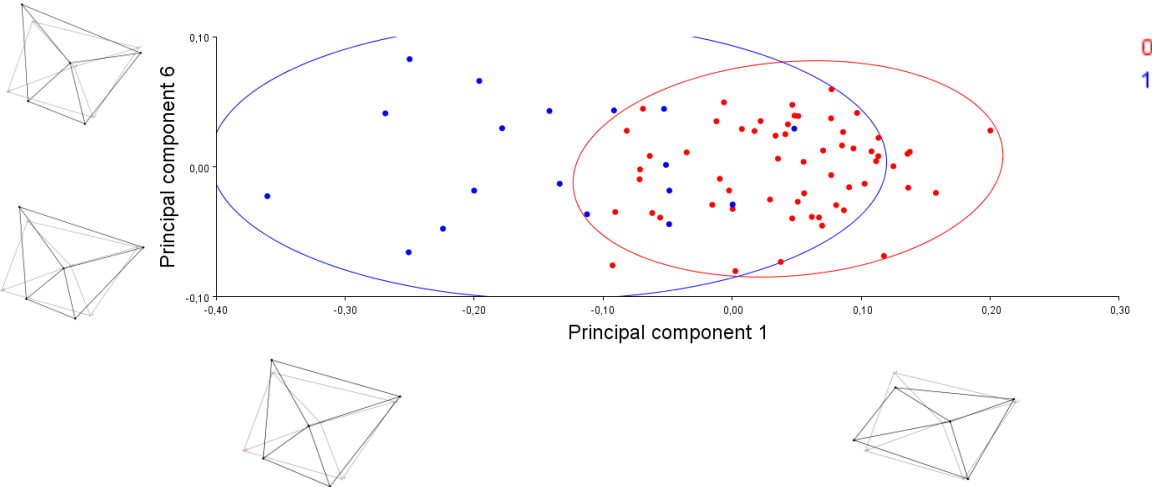
En el **Gráfico 16** se puede observar la dispersión de la muestra entre los componentes PC1 y PC6. Los individuos se encuentran coloreados según grupo de Amerindicidad estimada. Las elipses representan un 95% de confianza para cada grupo. En cada eje se pueden ver diagramadas las formas de los valores menores y mayores de cada componente. Valor positivo de PC1 se puede asociar a una mayor distancia entre el hito del hipocono y el resto de las cúspides del molar. Los valores del PC6 se pueden asociar a la posición relativa de las cúspides y la fosa central del molar. Se puede apreciar que el PC6 no diferencia a simple vista los grupos según amerindicidad estimada, aunque en el PC1 el grupo “Amerindios” se encuentra menos disperso que los grupos “No Amerindio” e “Intermedio”.

En el **Gráfico 17** se presenta la misma dispersión entre PC1 y PC6 que el **Gráfico 16**, pero esta vez diferenciados según ausencia “0” o presencia “1” del rasgo *reducción del hipocono* del UM2. Se puede observar que los individuos con *reducción del hipocono* se concentran a la izquierda de la dispersión. Como se puede observar en el **Gráfico 16**, esta zona es ocupada principalmente por individuos de los grupos “No Amerindio” e “Intermedio”.

**Gráfico 16: PCA de UM2 según grupos**



**Gráfico 17: PCA de UM2 según *reducción del hipocono***



### 4.3.3. ANOVA

Del Análisis de la Varianza de la forma de Procusto entre los grupos de Amerindicidad estimada, se obtuvieron los resultados expuestos en la **Tabla 21**. En ésta, “SS” corresponde a la suma de cuadrados (“*Sum-of-squares*”), valor que identifica la variación total entre los grupos; “MS” corresponde a la media de cuadrados (“*Mean squares*”), calculada dividiendo la SS entre los grados de libertad (“df”); y los estadísticos “F” y “p” reflejan el radio y la significancia de las diferencias en las medias de cada grupo. Comúnmente, las diferencias significativas en las medias de los grupos se pueden interpretar a partir del valor de la suma de los cuadrados “SS”, y de un valor de  $F > 4$  y de  $p < 0.05$ . La **Tabla 21** muestra estos valores para cada uno de los grupos de hitos homólogos, correspondientes a cada diente analizado (UI1, UI2, UM1 y UM2).

**Tabla 21: Resultados ANOVA de Procusto**

Grupo de hitos	SS	MS	df	F	p
UI1	0.05285267	0.0044043892	12	14.95	<0.0001
UI2	0.02813309	0.0023444245	12	2.79	0.0571
UM1	0.01991793	0.0009053605	22	0.65	0.8892
UM2	0.06769057	0.0042306605	16	1.42	0.1267

De estos resultados, se puede interpretar que la forma del diente presentó diferencias significativas entre grupos sólo para el caso del incisivo central superior. Los otros grupos de hitos homólogos, correspondientes al incisivo lateral superior, y primer y segundo molar superior, no demostraron diferencias significativas entre grupos de Amerindicidad estimada.

Con estos resultados se puede confirmar lo observado en los **Gráficos 10** al **17**, sugiriendo que las agrupaciones observadas en los ejes x e y de la distribución del PCA se pueden atribuir a los grupos de Amerindicidad estimada sólo en el caso del UI1. En el caso del UI2 no se observó una división de los grupos en los ejes x e y, a la vez que el ANOVA reveló que las diferencias entre estos grupos no son significativas. Para el caso del UM1 y UM2, reflejando los rasgos *cúspide de Carabelli* y *reducción del hipocono* respectivamente, si bien la presencia-ausencia del RMD se distinguía en la distribución del PCA, los resultados de este ANOVA confirman que éstas no corresponden a diferencias significativas entre grupos según Amerindicidad estimada.

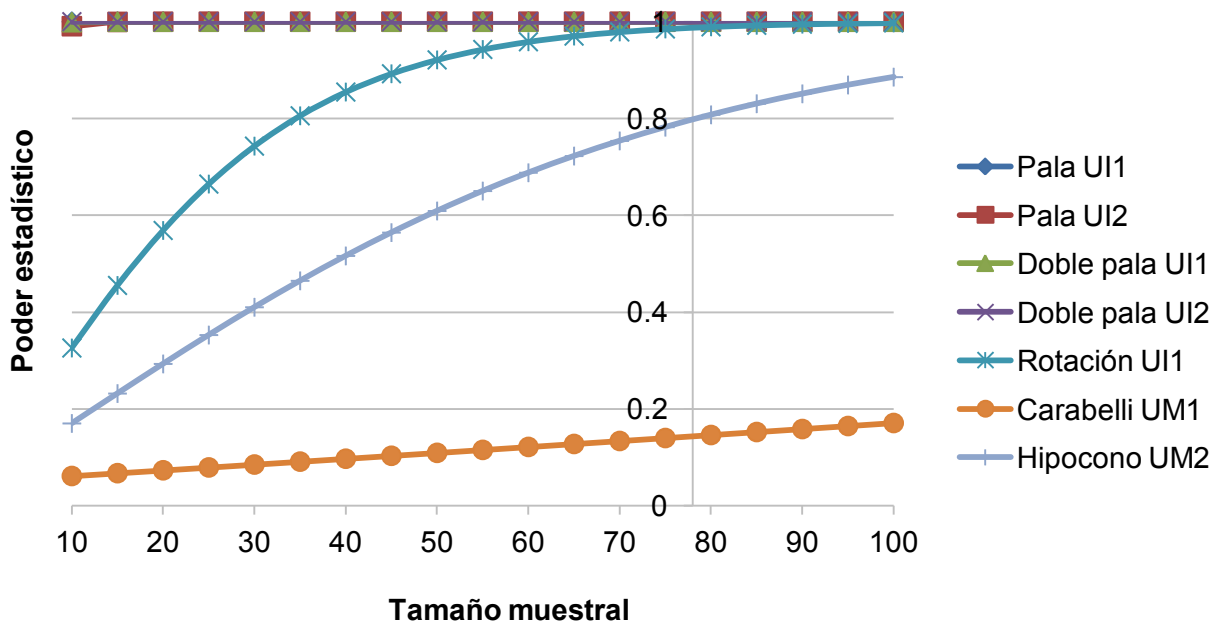
#### 4.4. Poder estadístico de cada rasgo

Los resultados de poder estadístico para cada rasgo ASUDAS se pueden observar en la **Tabla 22** y **Gráfico 18**. La magnitud del efecto es un número absoluto, por lo que sus valores pueden superar a 1. Normalmente una magnitud de 0.5 es considerada grande, una de 0.3 es considerada media, y una de 0.1 es considerada pequeña. El poder estadístico es un valor entre 0 y 1 que varía según el tamaño muestral. En este caso, el tamaño muestral fue de 78 individuos, y con este análisis se puede confirmar que se obtuvo un poder estadístico alto para cada rasgo, excepto para Cúspide de Carabelli. Un análisis en detalle reveló que para el rasgo Cúspide de Carabelli en UM1, sería necesaria una muestra de n=780 para tener un poder estadístico de 0.8.

**Tabla 22: Poder estadístico de cada rasgo morfológico dental ASUDAS**

Rasgo	Magnitud del efecto	Poder estadístico n=78
Diente en pala UI1	23.3809253	1
Diente en pala UI2	1.3648190	1
Doble pala UI1	1.5901948	1
Doble pala UI2	14.9907496	1
Rotación mesopalatina UI1	0.4769971	0.987863
Cúspide de Carabelli UM1	0.1004056	0.143798
Reducción del hipocono UM2	0.3162981	0.797721

**Gráfico 18: Curvas poder estadístico \* tamaño muestral ASUDAS**



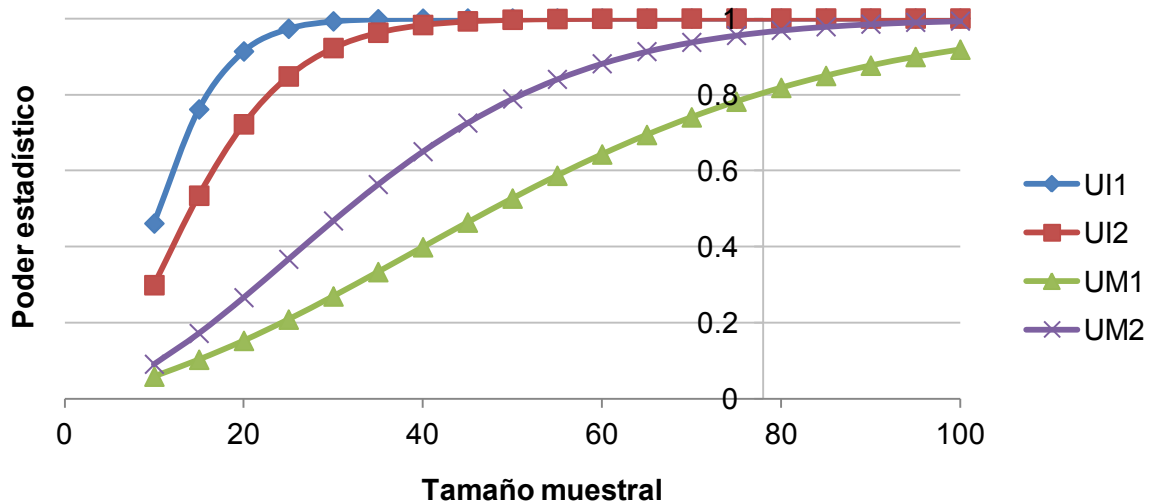
Los resultados de poder estadístico para cada grupo de hitos homólogos en Morfometría Geométrica se pueden observar en la **Tabla 23** y **Gráfico 19**. Pillai's trace es un valor entre 0 y 1 que se obtiene desde un análisis MANOVA en MorphoJ, para cada grupo de hitos homólogos. Valores altos de este estadístico indican que el efecto de los elementos es alto y que éstos contribuyen más al modelo en estudio. La cantidad de variables respuesta se ingresaron dependiendo de la cantidad de Componentes del PCA con los cuales se alcanza una explicación del 90% de la varianza total del grupo de hitos homólogos.

Para la muestra de 78 individuos, los cuatro conjuntos de hitos cuentan con un poder estadístico superior a 0.8

**Tabla 23: Poder estadístico de cada grupo de hitos homólogos MG**

Grupo de hitos	Pillai's trace	Variables respuesta	Magnitud del efecto	Poder estadístico n=78
UI1	0.71	3	0.5503876	1
UI2	0.52	3	0.3513514	0.9999858
UM1	0.24	8	0.1363636	0.8036754
UM2	0.32	6	0.1904762	0.9638728

**Gráfico 19: Curvas poder estadístico \* tamaño muestral Morfometría Geométrica**



#### 4.5. Análisis de correspondencia

La **Tabla 24** muestra los resultados que se obtuvieron con el test de Mantel simple realizado con el software NTSYSpc. En ésta se pueden ver los resultados de cada par de matrices. El primer análisis se hizo entre las distancias de rasgos nominales ASUDAS y las distancias de Procusto del incisivo central superior (MorfoUI1), que consideraba los rasgos *diente en pala* y *doble pala*. El segundo análisis se hizo entre las distancias de rasgos nominales ASUDAS y las distancias de Procusto del incisivo lateral superior (MorfoUI2), que consideraba los rasgos *diente en pala* y *doble pala*. El tercer análisis se hizo entre las distancias de rasgos nominales ASUDAS y las distancias de Procusto del primer molar superior (MorfoUM1), que consideraba el *rasgo de Carabelli*. El último análisis se hizo entre las distancias de rasgos nominales ASUDAS y las distancias de Procusto del segundo molar superior (MorfoUM2), que consideraba el rasgo *reducción del hipocono*.

**Tabla 24: Resultados Test de Mantel simple**

Matrices	Test de Mantel			1000 permutaciones			
	r	t	p	< Z	= Z	> Z	p
ASUDAS x MorfoUI1	0.20812	3.1043	0.9990	999	0	1	0.0030
ASUDAS x MorfoUI2	0.14749	2.0878	0.9816	981	0	19	0.0210
ASUDAS x MorfoUM1	-0.05983	-1.0839	0.1392	119	0	881	0.1199
ASUDAS x MorfoUM2	0.05089	0.7279	0.7666	781	0	219	0.2208

Los resultados se pueden interpretar a partir de la columna “r” del test de Mantel, que corresponde al índice de correspondencia de las matrices, o bondad de ajuste de los dos sistemas taxonómicos, y de la columna “p” de las 1000 permutaciones, que corresponde a la probabilidad de que las correspondencias entre matrices se deban al azar luego de haber realizado 1000 permutaciones azarosas en las matrices que se están analizando.

El primer par de matrices, rasgos ASUDAS con las distancias de Procusto del incisivo central superior (MorfoUI1), es el que obtuvo mayor correspondencia, de 0.20812. Aunque este no es un valor alto, se puede afirmar que la probabilidad de que esta correspondencia se deba al azar es sólo de un 0.003. Por su parte, las matrices de ASUDAS con las distancias de Procusto del incisivo lateral superior (MorfoUI2) obtuvieron una correspondencia de 0.14749, que puede considerarse media-baja, aunque la probabilidad de que esta correspondencia se deba al azar es de un 0.021 (**Tabla 24**). Estos dos pares de matrices son los únicos que obtuvieron resultados significativos en el análisis de correspondencias.

Por su parte, las distancias de Procusto del primer molar superior (MorfoUM1) y segundo molar superior (MorfoUM2), obtuvieron valores muy bajos de correspondencia con las distancias de rasgos ASUDAS. Además, estas correspondencias mostraron no ser significativas, con un 12% y un 22% respectivamente de probabilidad de que la correspondencia se debiera al azar (**Tabla 24**).

De estos resultados se puede concluir que sólo las distancias de Procusto de los incisivos centrales y laterales superiores obtuvieron una correspondencia estadísticamente significativa con las distancias obtenidas a partir de los rasgos ASUDAS.

### Índice de diente en pala

Finalmente, para verificar y validar el uso del *Índice de diente en pala* de Rothhammer et al. (1968) en este trabajo como indicador de la profundidad de la pala en los incisivos centrales superiores, y su posterior uso para la estimación de ancestría, se realizó un análisis de correspondencia entre la matriz de distancias de este índice versus las distancias del PC3 del incisivo central superior.

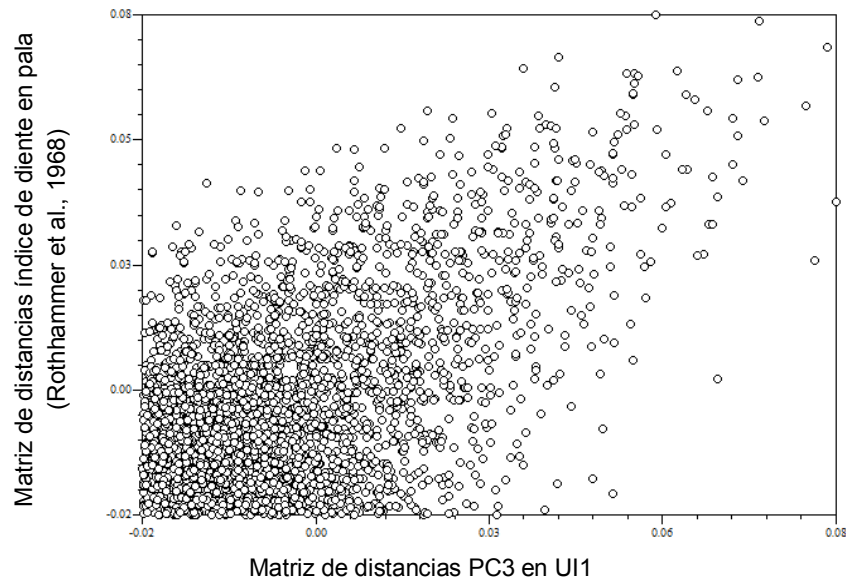
El PC3 explica un 18.86% de la varianza total de la forma del incisivo central superior (**Tabla 17**). Además, como lo visto en la sección “4.3.2. Análisis de Componentes Principales (PCA): Incisivo central superior (UI1)” de este trabajo, es el componente de la forma que se puede asociar a una pala más marcada hacia palatino y rodetes más prominentes hacia vestibular. Este es el Componente que en el gráfico de dispersión separó a los grupos según amerindicidad estimada (“Amerindios” de “No Amerindios”) (**Gráfico 11**), y como lo visto en los resultados del análisis ANOVA, la forma del incisivo central superior fue la única en mostrar diferencias estadísticamente significativas entre los grupos “Amerindios”, “No amerindios” e “Intermedios” de la muestra (ver sección “4.3.3. ANOVA” de este trabajo)

En la **Tabla 25** y la **Figura 8** se pueden observar los resultados del Test de Mantel simple para estas dos matrices de distancias. Se obtuvo que el Índice de diente en pala tiene una correspondencia de 0.56 con el componente morfométrico geométrico del incisivo central superior, y que esta correspondencia tiene una probabilidad de 0.002 de deberse al azar. Es decir, la correspondencia es estadísticamente significativa.

**Tabla 25: Test de Mantel *Índice de diente en pala***

Matriz	Test de Mantel			1000 permutaciones			
	r	t	p	< Z	= Z	> Z	p
Índice diente en pala x PC3-UI1	0.55973	9.2187	1.0000	1000	0	0	0.0020

**Figura 8: Test de Mantel *Índice de diente en pala***



Estos resultados sugieren que la medición lineal de la diferencia entre el grosor de la fosa central del incisivo y el promedio del grosor de sus rodetes mesial y distal, captura la forma del *diente en pala* de manera similar a como lo hace otro método cuantitativo con mayor número de variables en el análisis, como lo es Morfometría Geométrica. Esta correspondencia estadísticamente significativa sugiere que el *Índice de diente en pala* puede utilizarse como indicador de la forma de la pala del incisivo central superior, lo que representa una ventaja práctica, ya que la obtención de este dato es más rápida y simple que un análisis morfométrico geométrico de este diente.



## 5. DISCUSIÓN

En primer lugar, en este trabajo se trabajó con un dato estimado de amerindicidad, elaborado a partir del *Índice de diente en pala* de Rothhammer et al. (1968). La alta correlación significativa del *índice de diente en pala* con el dato genético de AIMs en ADN nuclear, permite utilizar este dato como un proxy de la ancestría en contextos en que no se cuenta con herramientas para obtener el dato. Gracias a este dato de amerindicidad estimada, se pudo visualizar y poner a prueba la capacidad predictiva de cada uno de los rasgos ASUDAS para señalar amerindicidad de los individuos de la muestra mestiza.

A partir de los resultados obtenidos de la aplicación del sistema ASUDAS en la muestra de población mestiza de Santiago de Chile, se pudo apreciar que los rasgos morfológicos dentales pertenecientes a este sistema mostraron diferentes comportamientos en la muestra mestiza. Con respecto a las frecuencias poblacionales de los rasgos, éstas se encontraron dentro de valores esperables para una población de composición europea y amerindia. En la comparación de frecuencias poblacionales con poblaciones de todo el mundo, se puede observar que en la muestra se obtuvieron frecuencias “medias” de los rasgos que tienen alta frecuencia en población amerindia y baja en población europea, y viceversa. A grandes rasgos, la tendencia esperable a que las frecuencias de la población mestiza se encontraran entre los valores de las frecuencias de las poblaciones de referencia, se cumplió.

En el Análisis de Coordenadas Principales de los rasgos ASUDAS, se obtuvo que los rasgos significativos en la distribución fenotípica de los individuos de la muestra fueron aquellos correspondientes a los incisivos centrales y laterales superiores, principalmente *diente en pala* del incisivo central superior. Éste fue el primer resultado que mostró una mayor capacidad predictiva de estos rasgos por sobre los rasgos *cúspide de Carabelli* y *reducción del hipocono*, tendencia que se mantuvo en los resultados de los análisis posteriores.

En el análisis de Morfometría Geométrica, se obtuvo en el Análisis de Componentes Principales que en los incisivos centrales y laterales, el primer Componente tendió a reflejar la forma cuadrada o rectangular de los incisivos, siendo el segundo componente con significancia estadística (PC3 y PC6 respectivamente) el que tendía a reflejar los cambios de *diente en pala* y *doble pala* en los incisivos. En cambio, en el caso de los molares, el segundo molar superior fue el diente en el que mayor porcentaje de la variación de la forma se debía al rasgo morfológico dental analizado. Es decir, el PC1 del segundo molar superior, explicando un 51.251% de la varianza, consistía principalmente en la distancia entre el hito del hipocono y el resto de las cúspides del molar. En el caso del primer molar superior, el PC1 también podía asociarse al rasgo analizado, pues se relacionaba a la distancia entre las cúspides del molar y el hito asignado al *rasgo de Carabelli*, sin embargo este Componente sólo explicaba un 38.284% de la variación de la forma del diente.

A partir del Análisis de la Varianza (ANOVA), se obtuvo que sólo la forma del incisivo central superior presentaba diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de Amerindicidad estimada, confirmando los resultados obtenidos de ASUDAS de la mayor capacidad predictiva de *diente en pala* del incisivo central superior para la diferenciación de estos grupos.

A partir del análisis de correspondencias de las matrices de distancias de ASUDAS y las de Morfometría Geométrica en las distintas piezas dentales, se obtuvo que las distancias entre individuos se correspondieron de manera estadísticamente significativa sólo para los incisivos centrales y laterales superiores. Estos resultados, sumados a los obtenidos previamente en ASUDAS y Morfometría Geométrica, permiten constatar que no todos los rasgos morfológicos dentales evaluados en este trabajo tienen la misma capacidad de diferenciar individuos y grupos dentro de la muestra de población mestiza de Santiago de Chile.

Los resultados más robustos en cuanto a poder estadístico, correlación con Amerindicidad estimada, y capacidad de diferenciar los grupos en la distribución del PCA de Morfometría Geométrica, correspondieron a los incisivos superiores, en particular al incisivo central superior, y a los rasgos *diente en pala* y *doble pala*. Estos resultados permiten interpretar que *diente en pala* y *doble pala* del sistema ASUDAS, en incisivo central superior, son los que presentan mayor capacidad predictiva para clasificar morfología dental en poblaciones mestizas con componente de ancestría asiática. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en investigaciones previas del Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2) (Manríquez, Rodríguez y Salinas, 2015).

Esta capacidad predictiva se puede deber a una señal filogenética fuerte de estos rasgos, producto de la genética subyacente a su expresión fenotípica. La genética subyacente al rasgo de *diente en pala* especialmente, ha sido de alto interés en población americana y asiática porque tienen una historia evolutiva que se puede rastrear hasta los primeros eventos de poblamiento del continente americano. La expresión de los rasgos *diente en pala* y *doble pala* en poblaciones con ancestría asiática se ha asociado al gen EDAR (Kimura et al., 2009; Park et al., 2012; Tan et al., 2014; Peng et al., 2016), cuya variante EDARV370A fue originada en el este de Asia hace 30.000 años, y es conocida por influir hasta la actualidad en diversos rasgos fenotípicos de las poblaciones asiáticas (Peng et al., 2016). La antigüedad de este gen ha permitido a diversos investigadores sugerir que posiblemente el rasgo de *diente en pala* en humanos modernos del este de Asia apareció luego del Pleistoceno tardío (Tan et al., 2014). El hecho de que esta variante genética se haya mantenido por tanto tiempo, determinando hasta el día de hoy el fenotipo de poblaciones asiáticas no sólo de rasgos dentales sino también de otras estructuras del rostro, indican que el gen que determina el rasgo *diente en pala* y *doble pala* cuenta con una señal filogenética particularmente fuerte. La mantención de esta señal filogenética fuerte de estos rasgos es explicada por Scott et al. (2016) como resultado de la deriva génica producto de la migración humana temprana desde Asia y por el paso de Beringia hacia el Nuevo Mundo. Bajo este modelo, se plantea que las poblaciones del Nuevo

Mundo derivan del complejo dental Sinodonte (Scott et al., 2016), con una señal filogenética fuerte de rasgos como *diente en pala* y *doble pala* en estas poblaciones.

El trasfondo e historia de estos rasgos podrían ser la explicación a los resultados significativos para *diente en pala* y *doble pala* de los incisivos centrales y laterales en cada análisis: debido a que su señal filogenética es tan fuerte, ésta se puede percibir independiente del método que se utilice, ya sea ASUDAS, morfometría lineal, geométrica, o cualquier otro método cuantitativo.

Retomando los resultados generales, podemos decir que las significancias estadísticas y correspondencias diferenciadas entre los rasgos ASUDAS analizados, refuerzan la idea de que no todos los rasgos morfológicos dentales son heredados de la misma manera. Scott y Turner (1997) defendían que la variabilidad de algunos rasgos podían tener un componente ambiental importante, mientras que otros podían ser principalmente influenciados por factores genéticos (como el caso de EDARV370A). Si bien muchos rasgos podían presentarse como cuasicontinuos y de herencia compleja, esto no excluía que hubiesen otros mecanismos o estructuras influenciando la expresión de algunos de los rasgos dentales (Scott y Turner, 1997; Paul, Astorino y Bailey, 2016).

Los resultados diferenciados con respecto a poder estadístico y capacidad predictiva de cada rasgo morfológico dental de los propuestos por ASUDAS permiten evaluar la utilidad de cada uno de los rasgos para su uso para discriminar en poblaciones mestizas, por ejemplo en contextos forenses. Los resultados sobre los rasgos del incisivo central superior permiten confirmar que este rasgo tiene gran poder predictivo en este tipo de poblaciones, y se respalda su uso en contextos forenses como una aproximación a la ancestría de individuos y de poblaciones mestizas.

Además de la evaluación de *diente en pala* con sistema ASUDAS, también el *Índice de diente en pala* de Rothhammer et al. (1968) mostró ser de gran utilidad como aproximación a la ancestría genética de los individuos cuando no se cuenta con este dato, y por la facilidad y rapidez con que se puede obtener este dato resulta de utilidad en contextos bioarqueológicos y forenses. Para el uso de la fórmula lineal que permita tener un valor estimado de la amerindicidad del individuo, sin embargo, es necesario su prueba en muestras de mayor tamaño, correcciones estadísticas, y posiblemente mayor desarrollo en la determinación de los valores de corte para la determinación de grupos.

Con respecto a las limitaciones de este trabajo, se menciona a continuación según cada rasgo morfológico dental, puesto que cada uno de ellos presento dificultades de diferente índole. En primer lugar, la *rotación mesopalatina* de los incisivos centrales superiores no demostraron significancia ni poder predictivo en este trabajo. El principal motivo de esto es que se registró una presencia muy baja de rotación mesopalatina en la muestra (5.13%), pero no atribuible a una ausencia del rasgo, sino a una limitación metodológica: Existe con este rasgo una dificultad en la distinción de la causa de esta rotación, producto de la co-morbilidad con el apiñamiento dental. Por lo mismo, este rasgo se registró como

presente sólo cuando no había presencia de apiñamiento en el arco dental superior de los individuos (ver “3.3.2. Sistema de Antropología Dental ASU” de este trabajo), dando como resultado su baja presencia en los análisis de este trabajo.

El trasfondo de esta limitación, está en que en la práctica clínica odontológica, si bien el apiñamiento de los dientes es un cuadro común, el fenómeno y sus posibles causas no han sido estudiadas en profundidad. Existe, no obstante, la noción de que el apiñamiento puede ser tanto una causa como una consecuencia de la rotación de los incisivos (Díaz, com. pers.). Cuando los incisivos centrales y laterales definitivos hacen erupción, cumplen un rol importante en la delimitación anterior del arco dental de los individuos. Cuando éstos hacen erupción rotados mesopalatinamente, por causa de factores genéticos o ambientales, el resto de los dientes tienden a “migrar” hacia mesial, producto del espacio libre que hay en el arco dental. El espacio que antes estaba libre, finalmente es ocupado por los otros dientes. El individuo, una vez adulto, presentará un cuadro de apiñamiento y de rotación mesopalatina, sin que un profesional o investigador del área odontológica puedan distinguir la causa primera de ambos eventos. Además, debido a la baja presencia registrada de este rasgo en esta muestra, tampoco se pudo realizar eficazmente un análisis de correlación de los ángulos de rotación medidos en los incisivos centrales superiores y otras variables en consideración en este estudio.

El rasgo *cúspide de Carabelli* fue el que mostró menor capacidad predictiva, poder estadístico y capacidad de separar grupos según su ancestría estimada. Si bien en esta muestra hubo una frecuencia media de presencia del rasgo, los análisis cuantitativos posteriores reflejaron que el rasgo no tiene una frecuencia significativamente mayor en individuos europeos que en individuos amerindios de la muestra de Santiago de Chile. En 1997, Scott y Turner ya planteaban que la noción de que *diente en pala* equivale a asiático y que *rasgo de Carabelli* equivale a europeo estaba profundamente asentado en el pensamiento antropológico, aunque no fuese totalmente correcto (Scott y Turner, 1997). El poder estadístico que mostró este rasgo para diferenciar poblaciones fue el más bajo, requiriendo de tamaños muestrales considerablemente mayores (superiores a 780 individuos) para cumplir con cierto poder estadístico en el análisis. Además, en el análisis de correspondencia, se obtuvo que la clasificación hecha por el sistema ASUDAS no se correlacionó con los componentes de la forma del primer molar superior.

Como intento de cuantificar el *rasgo de Carabelli* por medio de otros métodos, como morfometría lineal, similar a como se ha hecho en los incisivos superiores, se realizaron en este trabajo mediciones lineales desde el margen gingival del primer molar superior, hasta el hito correspondiente al *rasgo de Carabelli*, ya fuese en su modalidad de punto o fosa o en el ápice de su forma de cúspide. Estos valores de distancia, sin embargo, no mostraron estructura significativa ni correlación significativa con otras variables en consideración en este estudio. Esta dificultad para cuantificar el rasgo de Carabelli no es nueva, puesto que existen ya diversos estudios que se propusieron entender el comportamiento fenotípico de este rasgo y que, aun usando métodos complejos, han

discutido sobre su cuantificación, y sobre las posibles causas subyacentes a su expresión fenotípica (Marado y Campanacho, 2013; Paul, Astorino y Bailey, 2016).

Con respecto a la *reducción del hipocono* en el segundo molar superior, tanto en los análisis de ASUDAS como en los de Morfometría Geométrica presentó un poder estadístico de valor intermedio. Si bien la *reducción del hipocono* tiene un efecto importante en la forma del diente, y es fácilmente identificable con métodos de Morfometría Geométrica, la presencia del rasgo no se correlacionó de forma estadísticamente significativa con la amerindicidad estimada en esta muestra. Tampoco la forma del molar presentó correspondencia significativa con la matriz de distancias obtenida por medio del sistema ASUDAS.

Las dificultades con respecto al rasgo *reducción del hipocono* no se deben a la identificación o medición del rasgo, sino a la interpretación de su presencia o ausencia en un individuo y su frecuencia en una población. La presencia de reducción del hipocono puede asociarse a ancestría europea, pues éstas son las que más frecuentemente presentan este rasgo morfológico dental. Sin embargo, el hecho de que este rasgo relacionado a poblaciones europeas sea de baja frecuencia en poblaciones a nivel global, hace que la ausencia del rasgo no sea un buen indicador, o un indicador directo, de ancestría asiática. Asociar la ausencia del rasgo directamente como indicador de amerindicidad podría terminar en un error estadístico de tipo I, o falso positivo, donde se indica que por ausencia del rasgo el individuo es amerindio, cuando podría no serlo.

Como sugerencias para estudios futuros, se recomienda trabajar en solucionar los problemas metodológicos y teóricos de cada uno de los rasgos morfológicos dentales utilizados en este estudio, con el fin de contar con validaciones cuantitativas para cada rasgo, que robustezcan los métodos de análisis de rasgos morfológicos dentales utilizados en investigación en Antropología Dental. Para el rasgo de *rotación mesopalatina*, se recomienda el desarrollo de estudios diacrónicos, donde sea posible profundizar sobre la co-morbilidad y causalidad entre apiñamiento dental y *rotación mesopalatina*. Sin este tipo de estudios, este rasgo probablemente se mantendrá como poco informativo para ancestría en población mestiza de Santiago de Chile.

Para el rasgo *cúspide de Carabelli*, por su parte, se propone encaminar los trabajos sobre este rasgo hacia el poder dilucidar los factores subyacentes a su expresión fenotípica, tales como su proceso de odontogénesis, modelos de herencia y factores ambientales que influyen en su expresión. Diversos autores han propuesto modelos y explicaciones para este rasgo de expresión tan variable (Marado y Campanacho, 2013; Paul, Astorino y Bailey, 2016), pero a pesar de ser uno de los rasgos morfológicos dentales más estudiados en la historia de la antropología dental, lo que se sabe con certeza sobre la expresión fenotípica de este rasgo es todavía insuficiente.

En tercer lugar, se propone como trabajo a futuro perfeccionar las fórmulas para el cálculo del dato de amerindicidad estimada a partir del *Índice de diente en pala*, y realizar una

validación de estas estimaciones con tamaños muestrales mayores. Los criterios estadísticos para separar las muestras en grupos de “Amerindio” y “No amerindio”, también deberían ser profundizados y puestos a prueba. Con las apropiadas validaciones y correcciones de la fórmula, ésta podría plantearse a futuro como una función accesible y rápida en la estimación de ancestría en poblaciones mestizas en contextos en que no se cuenta con herramientas o recursos para obtener el dato genético.

Para terminar, se ha problematizado también sobre la popularidad y extensión del uso de fenotipo dental como proxy para marcadores genéticos, aún cuando han sido pocos los estudios en los que se ha intentado directamente probar el nivel de congruencia de las distancias de ambos tipos de dato (Rathmann et al., 2017). En este estudio no se contaba con los marcadores genéticos para todos los individuos de la muestra, motivo por el cual no se pudo hacer esta validación. Sin embargo, se utilizó el siguiente dato más cercano, Amerindicidad estimada, para explorar la congruencia, o correspondencia, de los datos fenotípicos que se asumen que están reflejando genotipos. Si bien en este trabajo se puso a prueba la correspondencia entre dos métodos, y se obtuvieron resultados interesantes en cuanto a capacidad predictiva de ciertos rasgos ASUDAS, aún queda como pendiente la prueba exhaustiva de la congruencia del dato genético con el dato fenotípico dental.

## 6. CONCLUSIONES

Con respecto al grado de correspondencia entre la clasificación otorgada por el sistema ASUDAS y la agrupación obtenida por medio de herramientas de análisis cuantitativo en población mestiza, en este trabajo se obtuvo que tal correspondencia es significativa sólo en el caso de *diente en pala* y *doble pala* en los incisivos centrales y laterales superiores, y que para los rasgos *cúspide de Carabelli* y *reducción del hipocono* no se obtuvo correspondencia significativa entre las agrupaciones de ambos métodos.

Sobre la caracterización del fenotipo dental de la población mestiza de Santiago de Chile utilizando el sistema ASUDAS, se puede concluir que esta muestra presentó un fenotipo intermedio entre las poblaciones de referencia europeas y sino-americanas obtenidas de Scott y Turner (1997). Sólo el rasgo de *rotación mesopalatina* mostró valores que no eran intermedios entre ambos grupos, pero esto se debió probablemente a los problemas mencionados previamente asociados al registro de la presencia de este rasgo.

Con el uso de Morfometría Geométrica, se puede concluir que, en esta muestra, en incisivos centrales y laterales superiores la principal variación de la forma se debió a la forma rectangular o cuadrada del incisivo en su plano oclusal. El segundo lugar en el orden de los componentes principales significativos lo ocupó en ambos casos la forma asociada a los rasgos *diente en pala* y *doble pala*. En el caso del primer y segundo molar

superior, la principal variación de la forma se debió a las distancia de las cúspides del molar con respecto al hito correspondiente al *rasgo de Carabelli* y al ápice del hipocono respectivamente, aunque los porcentajes de la variación total explicada fuesen menores. Sólo el incisivo central superior demostró diferencias significativas en su forma entre grupos de Amerindicidad estimada.

Con respecto a la capacidad predictiva del sistema ASUDAS para clasificar morfología dental en poblaciones mestizas, se puede concluir que los rasgos mostraron capacidad predictiva diferenciada, evidenciando las diferentes naturalezas de los rasgos que componen el sistema ASUDAS. En el caso de *diente en pala* y *doble pala* de los incisivos centrales y laterales superiores tienen una capacidad predictiva alta en esta población, y los rasgos de *Carabelli* y *reducción del hipocono* tienen una baja capacidad predictiva.

Se puede concluir que la clasificación otorgada por el sistema ASUDAS coincide de forma estadísticamente significativa con la agrupación obtenida por medio de Morfometría Geométrica en la población mestiza sólo en los casos de *diente en pala* y *doble pala* de los incisivos centrales y laterales superiores.

Debido a los resultados obtenidos en este trabajo, se sugiere el uso del incisivo central superior (UI1) como buen predictor de ancestría asiática en poblaciones mestizas, puesto que este diente y los rasgos *diente en pala* y *doble pala* asociados a éste fueron lo que presentaron significancia estadística en todos los análisis, independiente del sistema o la escala que se usase para medir y evaluar.

Con respecto a las dificultades y limitaciones de este trabajo, cada rasgo morfológico dental presentó sus propias limitaciones que deben ser enfrentadas de manera diferente. En el caso de la *rotación mesopalatina*, sería importante controlar el factor de causalidad entre la presencia del rasgo y el apiñamiento dental, antes de utilizarlo en poblaciones mestizas como indicador de amerindicidad. En el caso del *rasgo de Carabelli*, queda en evidencia que su poder estadístico es bajo, y que serían necesarios tamaños muestrales muy grandes (superior a 780 individuos) para obtener resultados significativos de este rasgo en población mestiza. Por último, en el caso de la *reducción del hipocono*, las limitaciones son, más que en la naturaleza biológica del rasgo, en el sentido de la interpretación de su presencia y su ausencia en población mestiza.

Para terminar, se propone profundizar en la validación y estudio de correspondencias entre genotipo y fenotipo dental en poblaciones mestizas, para seguir ampliando las poblaciones de referencias a nivel global, y también para explorar la herencia, expresión, y factores determinantes de cada uno de los rasgos morfológicos dentales que se utilizan en el sistema ASUDAS.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abraira, V. (2000) El índice kappa. Notas estadísticas. SEMERGEN: 27: 247-249.
- Adams, D.C., Rohlf F.J. y Slice, D.E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71:1, 5-16.
- Adams, D.C., Rohlf, F.J., Slice, D.E. (2013). A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix* 24, 7-14.
- Al-Shahrani, I. (2012). 3D Geometric morphometric analysis of tooth shape in hypodontia. (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Médicas, Newcastle University, UK.
- Alt, K.W., Brace, C.L., y Türp, J.C. (1998). The history of dental anthropology. En: Alt, K.W., Rösing, F.W., y Teschler-Nicola, M. (eds.), *Dental Anthropology: Fundamentals, Limits, and Prospects*. New York: Springer. 15-39.
- Aragón, N., Bastidas, C., Bedón, L.K., Duque, P., Sánchez, M., Rivera, S., Triana, F., Bedoya, N. y Moreno, F. (2008). Rasgos morfológicos dentales coronales en dentición temporal y permanente: Distancia biológica entre tres grupos indígenas del Amazonas Colombiano. *Revista Odontológica Mexicana* Vol. 12, Núm. 1 Marzo 2008, 13-28.
- Baab, K.L., McNulty, K.P. y Rohlf, J. (2012). The shape of human evolution: a geometric morphometrics perspective. *Evolutionary Anthropology*. 21, 151-165.
- Birkby, W. H., Fenton, T. W., Anderson, B. E. (2008). Identifying Southwest Hispanics using nonmetric traits y the cultural profile. *Journal of Forensic Sciences*, 53 (1): 29-33.
- Bock, W.J. (1968) *Phylogenetic Systematics, Cladistics and Evolution*. Nueva York: Evolution, Vol. 22, No. 3, 646-648.
- Bollini, G.A., Rodríguez-Flórez, C.D. y Colantonio, S.E. (2009) Dental non-metric traits in a Pre-Conquest simple "Calchaqui" from Argentina, South America. *International Journal of Morphology*, 27(4):1063-1067, 2009.
- Bollini, G.A., Atencio, J.P., y Colantonio, S.E. (2012). El hipocono en poblaciones aborígenes de Argentina: Un análisis comparativo poblacional. *Revista argentina de antropología biológica*, 14(1), 57-64.
- Bonnet, E., y de Peer, Y. (2002). zt: A Software Tool for Simple y Partial Mantel Tests. *Journal of Statistical Software*, 7(10), 1-12.
- Buikstra, J. E., y Ubelaker, D. (1994). Standards for data collection from human skeletal remains. Research series no. 44. Fayetteville, Arkansas: Arkansas archeological survey research series no 44.



Campo-Arias, A. y Herazo, E. (2010) Concordancia intra- e interevaluadores. Revista Colombiana de Psiquiatría., 39(2), 424-432.

Carmagnani, M. y Klein, H.S. (1965) Demografía histórica: La población del obispado de Santiago. 1777-1778. Boletín de la Academia Chilena de la Historia. Santiago de Chile, 72.

Cerda, J. y Villarroel, L. (2008) Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Revista Chilena de Pediatría, 79(1), 54-58.

Chiu, A. S., Donlon, D.(2000). Anthropological and forensic aspects of odontological variation in two contemporary Australian populations. Dental Anthropology, 14 (2): 20-37.

Cifuentes, L. (2016) Capítulo 2: El Genoma Nuclear de los Chilenos. En: Berríos del Solar, S. (ed.) (2016) El ADN de los chilenos y sus orígenes genéticos. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

Cussen, C. (2016) Capitulo 1: Relato histórico de la formación del actual pueblo chileno. En: Berríos del Solar, S. (ed.) (2016) El ADN de los chilenos y sus orígenes genéticos. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.

Dahlberg, A.A. (1945). The changing dentition of man. Journal of the American Dental Association 32:676-690.

Dahlberg, A.A. (1956) Materials for the establishment of standards for classification of tooth characters, attributes, and techniques in morphological studies of the dentition. Zollar Laboratory of Dental Anthropology, Universidad de Chicago.

Dahlberg, A.A. (1991). Historical perspectives of dental anthropology. En: Kelly, M.A., y Larsen, C.S. (eds.), Advances in Dental Anthropology. Nueva York: Wiley-Liss. 7-11.

Díaz, E., García, L., Fernández, M., Palacio, L., Ruiz, D., Velandia, N., Villavicencio, J., Moreno, F. (2014) Frecuencia y variabilidad de la morfología dental en dentición temporal y permanente de un grupo de indígenas Nasa del municipio de Morales (Cauca, Colombia). Colombia Médica, 45(1): 15-24.

Edgar, H.J.H. (2009) Testing the utility of dental morphological traits commonly used in the forensic identification of ancestry. En: Koppe, T., Meyer, G., Alt, K.W. (eds.) Comparative dental morphology. Frontiers of oral biology, 13: 49-54.

Edgar, H.J.H. (2013) Estimation of Ancestry Using Dental Morphological Characteristics. Journal of Forensic Science. 58(1): 3–8.

Farlex Inc. (2012) Dental anthropology. (n.d.) en Medical Dictionary for the Health Professions and Nursing. Recuperado de <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/dental+anthropology>

Fuentes, M., Pulgar, I., Gallo, C., Bortolini, M.C., Canizales-Quinteros, S., Bedoya, G., González-José, R., Ruiz-Linares, A., y Rothhammer, F. (2014). Geografía génica de Chile: Distribución regional de los aportes genéticos americanos, europeos y africanos. *Revista médica de Chile*, 142(3), 281-289.

Gamarra, B., Nova Delgado, M., Romero, A., Galbany, J. y Pérez-Pérez, A. (2016). Phylogenetic signal in molar dental shape of extant y fossil catarrhine primates. *Journal of human evolution*, 94, 13-27.

Gómez-Robles, A., Martinon-Torres, M., Bermúdez de Castro, J.M., Margvelashvili, A., Arsuaga, J.L., Perez-Perez, A., Estebanz, F., Martínez, L.M. (2007). A geometric morphometric analysis of hominin upper first molar shape. *Journal of Human Evolution*, 53: 272-285

Gómez-Robles, A., Martinon-Torres, M., Bermúdez de Castro, J.M., Prado, L., Sarmiento, S., Arsuaga, J.L. (2008) Geometric morphometric analysis of the crown morphology of the lower first premolar of hominins, with special attention to Pleistocene Homo. *Journal of Human Evolution*, 55: 627-638

Haddow, S.D. (2012) *Dental Morphological Analysis of Roman Era Burials from the Dakhleh Oasis, Egypt.* (Tesis doctoral) Institute of Archaeology, University College London. Londres.

Haeussler, A. M., Irish, J.D., Morris, D.H., Turner, C.G. II. (1989). Morphological y metrical comparison of San y Central Sotho dentitions from Southern Africa. *American Journal of Physical Anthropology*, 78: 115-122.

Hanihara, K. (1954). Studies on the deciduous dentition of the Japanese and the Japanese-American hybrids. I. Deciduous incisors. *Journal of the Anthropological Society of Nippon* 63, 168-85.

Hanihara, K. (1961). Criteria for classification of crown characters of the human deciduous dentition. *Journal of the Anthropological Society of Nippon* 69, 27-45.

Hanihara, K. (1963). Crown characters of the deciduous dentition of the Japanese-American hybrids. En: Brothwell, D.R. (ed.) *Dental Anthropology*. Nueva York: Pergamon Press, 105-24.

Hennig, W. (1965). *Phylogenetic Systematics*. University of Illinois Press, Urbana.

Herrera, E.L. y Osorno, M. (1994). Caracterización cefalométrica y dental de un grupo de mestizos caucasoides habitantes de Bogotá, por sexo. Estudio piloto (Tesis de postgrado). Facultad de Odontología, Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.

- Hillson, S. (1996). *Dental Anthropology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hrdlička, A. (1911). Human dentition and teeth from the evolutionary and racial standpoint. *Dominion Dental Journal* 23:403-421.
- Hrdlička, A. (1920). Shovel-shaped teeth. *American Journal of Physical Anthropology* 3:429-465.
- Hrdlička, A. (1924). New data on the teeth of early man y certain fossil European apes. *American Journal of Physical Anthropology* 7(1):109-132.
- Irish, J.D. (1998). Ancestral dental traits in recent Sub-Saharan Africans and the origins of modern humans. *Journal of Human Evolution*, 34: 81-98.
- Irish, J. D. y Nelson, G. C. (2008). Introduction. En: Irish, J. D.; Nelson, G. C. (ed.) *Technique and application in Dental Anthropology*. New York, Cambridge University Press: 3-9.
- Jackson, D. A. (1993). Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology* 74, 2204–2214.
- Kimura, R., Yamaguchi, T., Takeda, M., Kondo, O., Toma, T., Haneji, K., Hanihara, T., Matsukusa, H., Kawamura, S., Maki, K., et al. (2009) A common variation in EDAR is a genetic determinant of shovel-shaped incisors. *American Journal of Human Genetics*, 85: 528-535
- Klingenberg, C.P. (2013). Visualizations in geometric morphometrics: how to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix* 24, 15-24.
- Lease, L. R. y Sciulli, P.W. (2005). Discrimination between European-American y African-American children based on deciduous dental metrics y morphology. *American Journal of Physical Anthropology*, 126: 56-60.
- López-Lázaro, S., Soto-Álvarez, C., Aramburú, G., Rodríguez, I., Cantín, M., y Fonseca, G.M. (2016). Investigación de Rasgos Dentales No Métricos en Poblaciones Sudamericanas Actuales: Estado de Situación y Contextualización Forense. *International Journal of Morphology*, 34(2), 580-592
- López de Ullibarri, I. y Pita, S. (2001) Medidas de concordancia: el índice de Kappa. *Cadernos de atención primaria*, 1999; 6: 169-71.
- Manríquez, G., González-Bergás, F.E., Salinas, J.C., Espouey, O. (2006). Deformación intencional del cráneo en poblaciones arqueológicas de Arica, Chile: Análisis preliminar de morfometría geométrica con uso de radiografías craneofaciales. *Chungará, Arica*, 38(1), 13-34.

Manríquez, G., Rodríguez, F. y Salinas, J.C. (2015) Caracterización del fenotipo dentario dihíbrido en Chile con uso de modelos virtuales y herramientas de morfometría geométrica tridimensionales. XLVIII Reunión Anual de la Sociedad de Genética de Chile. Valdivia, Chile. Octubre 22-24.

Manly, B. (1986). Randomization and regression methods for testing for associations with geographical, environmental, and biological distances between populations. *Researches on Population Ecology*, 28: 201–218.

Mantel, N. (1967). The Detection of Disease Clustering and a Generalized Regression Approach. *Cancer Research*. 27, 209–220.

Marado, L.M. y Campanacho, V. (2013) Carabelli's trait: Definition and review of a commonly used dental nonmetric variable. *Cadernos do GEEvH* 2(1) 24-39

Marado, L.M. (2014) Characterization of the dental morphology of a Portuguese sample from the 19th and 20th centuries. (Tesis doctoral) Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.

Marcovich, I., Prado, E., Díaz, P., Ortiz, Y., Martínez, C. y Moreno, F. (2012) Análisis de la morfología dental en escolares afrocolombianos de Villa Rica, Cauca, Colombia. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 24(1): 37-61.

Matsumura, H. (1995). Dental characteristics affinities of the prehistoric to modern Japanese with the East Asians, American natives and Australo-Melanesians. *Journal of Anthropological Sciences* 103(3):235-261.

Mellafe, R. (1959) La Introducción de la esclavitud negra en Chile: tráfico y rutas. Santiago, Chile: Ed. Universidad de Chile, 123-37.

Mitteroecker, P., Gunz, P. (2009). Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology* 36(2), 235-247

Park, J. H., Yamaguchi, T., Watanabe, C., Kawaguchi, A., Haneji, K., Takeda, M., et al. (2012) Effects of an Asian-specific nonsynonymous EDAR variant on multiple dental traits. *Journal of Human Genetics* 57: 508–514.

Paul, K., Astorino, C.M. y Bailey, S.E. (2016) The Patterning Cascade Model and Carabelli's trait expression in metamerics of the mixed human dentition: exploring a morphogenetic model. *American Journal of Physical Anthropology*: 162, 3-18

Pedersen, P.O. (1949) The East Greenland Eskimo dentition. *Meddelelser om Grønland* 142, 1-244.

Peng, Q., Li, J., Tan, J. et al. (2016) EDARV370A associated facial characteristics in Uyghur population revealing further pleiotropic effects. *Human Genetics* 135: 99-108.

Rathmann, H., Reyes-Centeno, H., Ghirotto, S., Creanza, N., Hanihara, T. y Harvati, K. (2017) Reconstructing human population history from dental phenotypes. *Scientific Reports, Nature*: 7: 12495.

Retamal, R. (2004). Efectos de la deformación craneana intencional sobre la expresión del dimorfismo sexual en cráneos adultos: un análisis morfométrico geométrico. (Tesis de pregrado) Programa de Genética Humana, ICBM, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Richtsmeier, J.T., Burke, V., Lele, S.R. (2002). The promise of Geometric Morphometrics. *Yearbook of Physical Anthropology* 45, 63-91.

Rivera, M.J. (2012) Estudio comparativo de la frecuencia de rasgos morfológicos dentales entre una población pre-actual del archipiélago de Chiloé y la población de aborígenes Chonos (Tesis de pregrado). Facultad de Odontología, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Rothhammer, F.; Lasserre, E.; Blanco, R.; Covarrubias, E. y Dixon, M. (1968). Microevolution in human Chilean populations: IV. Shovel shape, mesial-palatal version and other dental traits in Pewenche Indians. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie*, Vol. 60(2), 162-169.

Ruiz-Linares, A., Adhikari, K., Acuña-Alonzo, V., Quinto-Sanchez, M., Jaramillo, C., et al. (2014) Admixture in Latin America: Geographic Structure, Phenotypic Diversity and Self-Perception of Ancestry Based on 7,342 Individuals. *PLoS Genet* 10(9): e1004572

Scott, G. R., e Irish, J. D. (eds.) (2016) *A Companion to Dental Anthropology*. Chichester, UK; Malden, MA: Wiley Blackwell.

Scott, G. R.; Turner, C. G. (1997). *The anthropology of modern human teeth. Dental morphology and its variation in recent human populations. Cambridge studies in Biological Anthropology*. Cambridge, Cambridge University Press.

Scott, G.R., Schmitz, K., Heim, K.N., Paul, K.S., Schomberg, R. y Pilloud, M.A. (2016) Sinodonty, Sundadonty, and the Beringian Standstill model: Issues of timing and migrations into the New World. *Quaternary International* (2016) 1-14

Scott, G.R., Navega, D., Coelho, J., Cunha, E. e Irish, J.D. (2017) rASUDAS: A New Method for Estimating Ancestry from Tooth Crown and Root Morphology. (Poster)

Serre, D. y Pääbo, S. (2004). Evidence for Gradients of Human Genetic Diversity Within y Among Continents. *Cold Spring Harbor Laboratory Press*, 14:1679–1685.

Silva, A. M. (2000). Dental anthropology of the Chalcolithic Portuguese population from Cova da Moura (Torres Vedras, Portugal). Permanent lower teeth. En: Varela, T. A. (ed.)

Investigaciones en biodiversidad humana. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela: 367-374.

Slice, D.E. (2005) *Modern Morphometrics In Physical Anthropology*. Kluwer Academic, Plenum Publishers, Nueva York.

Smouse, P., Long, J., y Sokal, R. (1986), Multiple regression and correlation extensions of the Mantel test of matrix correspondence. *Systematic Zoology*. 35:627–632.

Sutter, R.C. (2000) Prehistoric genetic and culture change: a bioarchaeological search for pre-Inka altiplano colonies in the coastal valleys of Moquegua, Peru, and Azapa, Chile. *Latin American Antiquity* 11:43-70.

Takahashi, M., Kondo, S., Townsend, G.C. y Kanazawa, E. (2007) Variability in cusp size of human maxillary molars, with particular reference to the hypocone. *Archives of Oral Biology* 52(12): 1146-1154.

Tan, J.Z., Peng, Q.Q., Li, J.X., Guan, Y.Q., Zhang, L.P., Jiao, Y., Yang, Y.J., Wang, S.J., Jin, L. (2014) Characteristics of dental morphology in the Xinjiang Uyghur and correlation with the EDARV370A variant. *Science China Life Sciences*, 57: 510–518.

Turner, C.G. II. (1984) Advances in the dental Search for native American origins. *Acta Anthropogenica* 8: 23–78.

Turner, C.G. II, Nichol, C.R., y Scott, G.R. (1991). Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: The Arizona State University Dental Anthropology System. En: Kelley, M. A.; Larsen, C. S. (eds.) *Advances in Dental Anthropology*. New York, Wiley-Liss: 13-31.

Turner, C.G. II, y Scott, G.R. (1977). Dentition of Easter Islanders. En Dahlberg, A.A. y Graber, T.M. (eds.), *Orofacial Growth and Development*. The Hague: Mouton, 229–249.

Tyrrell, A. (2000). Skeletal non-metric traits y the assessment of inter- and intra- population diversity: Past problems and future potential. En: Cox, M.; Mays, S. (eds.) *Human osteology in archaeology y forensic science*. London, Greenwich Medical Media: 289-306.

Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D. y Fink, W.L. (2004). *Geometric Morphometrics For Biologists: A Primer*. Elsevier Academic Press.

**ANEXO:**

Fotografías de las placas del sistema ASUDAS. Fuente: Haddow, 2012.

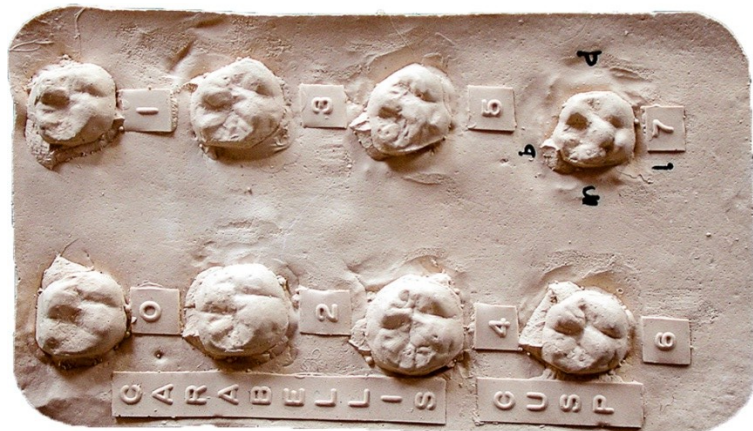
**Placa para *diente en pala* en UI1**



**Placa para *doble pala* en UI1 y UI2**



**Placa para cúspide de Carabelli en UM1**



**Placa para *reducción del hipocono* en UM2**

