



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA
LICENCIATURA EN CIENCIA FORENSE**

**IDENTIFICACIÓN FACIAL FORENSE:
CARACTERIZACIÓN DE LA FORMA FACIAL Y
LABIAL EN POBLACIONES MEXICANAS**

Facultad de Medicina



T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN CIENCIA FORENSE

P R E S E N T A:

MARTÍNEZ GARRIDO ANA PAOLA



**CIENCIA
FORENSE
U N A M**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. MIRSHA E. QUINTO SÁNCHEZ
CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2022**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Mirsha Quinto-Sánchez, primeramente, muchas gracias por haberme recibido en el maravilloso LAOF; por los conocimientos compartidos, por toda la paciencia, apoyo, confianza, amistad y todas las oportunidades brindadas. Muchas gracias por todo.

Agradezco a mi *alma mater*, la UNAM y a la Licenciatura en Ciencia Forense, por haberme brindado todo para mi preparación profesional, pero también, por haberme permitido conocer personas excepcionales.

A mis padres, Mónica y Martín, por creer en mí, pero, sobre todo, por ser los pilares de mi vida, porque gracias a su dedicación, compromiso, pero sobre todo amor, me he convertido en la persona que soy ahora. Gracias por brindarme siempre su apoyo, mismo que me ha permitido realizar la más grande de mis metas. Deseo que este triunfo lo sientan como suyo.

Ing. Alfredo Fernández Astigarraga, no tengo palabras para agradecerte todo el apoyo que me has brindado. Te agradezco infinitamente todas tus atenciones, las cuales han sido fundamentales en el cumplimiento de este gran sueño. También deseo que este triunfo lo sientas como tuyo.

Dra. Rocío Bermúdez Rocha, gracias porque además de la relación profesional, la considero una amiga entrañable. Gracias por estar al pendiente de mi formación, por todos los consejos, experiencias compartidas, pláticas y risas.

A mi tío, Martín Garrido, muchas gracias por todos los momentos amenos, las tardes de botanas, pláticas y risas. Gracias por siempre tener un consejo para dar, por escucharme y apoyarme. Eres un gran ejemplo a seguir.

A Kevin León, te agradezco el haberme alentado a luchar por mis sueños, tu apoyo incondicional, así como todos los consejos que me has dado no solo para el ámbito profesional, sino también para ser mejor persona cada día. Gracias por confiar en mí, incluso cuando yo misma he dudado y, en pocas palabras, gracias por siempre estar ahí para alentarme y hacerme sonreír, te amo.

A mi familia, gracias por todo su cariño, por permanecer siempre tan unidos y risueños a pesar de las adversidades. Tío Daniel, tu partida ha dejado un gran vacío en nuestras vidas, siempre estarás presente en nuestros recuerdos.

A mi abuela, gracias por ser el pilar de esta gran familia.

FINANCIAMIENTO

El presente manuscrito fue beneficiado por el proyecto PAPIIT-DGAPA IA400221 "Morfometría geométrica craneofacial: bases de datos biométricas e innovación en identificación humana" registrado ante la Comisión de Ética de la División de Investigación de la Facultad de Medicina de la UNAM (FM/DI/061/2020) y es parte de la iniciativa FaceMx.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| JUSTIFICACIÓN | 4 |
| OBJETIVOS | 4 |
| HIPÓTESIS | 5 |
| ANTECEDENTES | 6 |
| <i>La identificación forense en México</i> | 8 |
| <i>Bases de datos biométricos en México</i> | 13 |
| <i>Estudios previos de identificación facial forense en población mexicana</i> | 16 |
| <i>Proyecto CANDELA</i> | 17 |
| <i>Atlas antropológico de rasgos faciales femeninos</i> | 18 |
| MARCO TEÓRICO | 21 |
| <i>La cara como unidad de estudio</i> | 23 |
| <i>Desarrollo y crecimiento de la cara</i> | 25 |
| <i>El envejecimiento facial</i> | 29 |
| <i>Identidad e identificación</i> | 30 |
| <i>Identificación facial forense (IFF)</i> | 32 |
| <i>La identificación facial forense según el grupo de trabajo científico de identificación facial</i> | 33 |
| <i>Métodos de comparación facial</i> | 34 |
| <i>Análisis no métrico, morfoscópico o visual</i> | 36 |
| <i>Morfometría geométrica como elemento rector de la caracterización morfológica facial</i> | 36 |
| <i>Landmarks</i> | 38 |
| <i>Elección de landmarks</i> | 38 |
| <i>Análisis hiperdimensional multivariado</i> | 39 |
| <i>Importancia de la estimación de error intraobservador en estudios de identificación facial forense</i> | 42 |
| METODOLOGÍA | 44 |
| <i>Muestra de estudio</i> | 46 |
| <i>Fenotipado</i> | 47 |
| <i>Caracterización por método no métrico</i> | 47 |
| <i>Caracterización por morfometría geométrica</i> | 48 |
| <i>Módulos faciales para la validación de las clasificaciones No-Métricas</i> | 50 |

| | |
|--|------------|
| <i>Diseño experimental</i> | 51 |
| <i>Estimación de error intraobservador</i> | 51 |
| <i>Aproximación No-métrica</i> | 52 |
| <i>Análisis de componentes principales</i> | 52 |
| <i>Frecuencias para la forma facial y labial</i> | 53 |
| <i>Aproximación morfogeométrica: Análisis hiperdimensional multivariado</i> | 53 |
| <i>Caracterización de individuos fuera de la variación normal</i> | 53 |
| <i>Regresión multivariada: edad, índice de masa corporal y sexo</i> | 53 |
| <i>Morfoespacio: Análisis de componentes principales de la variación de la muestra</i> | 54 |
| <i>Validación de las clasificaciones no-métricas en el morfoespacio geométrico</i> | 54 |
| <i>Validación de la discretización para las 12 formas faciales</i> | 54 |
| <i>Análisis de conglomerados</i> | 55 |
| RESULTADOS | 57 |
| <i>Caracterización por método no métrico</i> | 59 |
| <i>Estimación de error intraobservador</i> | 59 |
| <i>Análisis de componentes principales</i> | 59 |
| <i>Frecuencias para la forma facial y labial</i> | 65 |
| <i>Caracterización por morfometría geométrica</i> | 70 |
| <i>Estimación de error intraobservador</i> | 70 |
| <i>Aproximación morfogeométrica: Análisis hiperdimensional multivariado</i> | 73 |
| <i>Caracterización de individuos fuera de la variación normal</i> | 73 |
| <i>Regresión multivariada: edad, índice de masa corporal y sexo</i> | 74 |
| <i>Morfoespacio: Análisis de componentes principales de la variación de la muestra</i> | 77 |
| <i>Validación de las clasificaciones no-métricas en el morfoespacio geométrico</i> | 78 |
| <i>Validación de la discretización para las 12 formas faciales</i> | 78 |
| <i>Análisis de conglomerados</i> | 107 |
| DISCUSIÓN | 108 |
| CONCLUSIONES | 125 |
| REFERENCIAS | 127 |
| ANEXOS | 141 |
| <i>Anexo 1. Estudio de error intraobservador: aproximación No-métrica</i> | 143 |
| <i>Anexo 2. Clusters de la validación de las características no-métricas en el morfoespacio geométrico</i> | 145 |

INTRODUCCIÓN

La identificación facial forense, de acuerdo con el FISWG (*Facial Identification Scientific Working Group*, 2012a), es un examen de las diferencias y similitudes que pueden existir entre dos imágenes (mismas que consisten en fotografías de la cara de los sujetos de estudio) o entre una imagen y un sujeto, con la finalidad de determinar si se trata o no de una misma persona. Es un método de identificación humana que puede ser empleado para reducir el universo de búsqueda y, posteriormente, realizar otras pruebas para obtener una identificación positiva.

Este examen puede realizarse mediante cuatro métodos: la comparación holística, el análisis morfológico, el morfométrico y la superposición, en la presente investigación nos enfocaremos en dos métodos: el morfoscópico y el morfométrico (FISWG, 2012b). El método no métrico, también conocido como morfológico o morfoscópico, consiste en la comparación facial de la cara en general o estructuras anatómicas particulares de la misma, en la que las características de la cara son descritas, clasificadas y comparadas. Este método se apoya de esquemas bajo los cuales se realiza la clasificación de las características faciales. Otro método empleado es el morfométrico, que consiste en la medición digital de las dimensiones y ángulos de la cara mediante el mapeo facial (señalización de puntos antropológicos), es empleado para cuantificar proporciones y características de la cara.

Los problemas que podemos encontrar en el método no métrico son que las evaluaciones y descripciones que se realizan son subjetivas, además de que no hay, hasta el momento, un protocolo estándar para realizar las clasificaciones y descripciones con población actual.

Dicho lo anterior, la presente investigación busca determinar si el método de identificación facial no métrico es confiable para obtener una identificación, para ello, dicho método fue validado con el método morfométrico.

La presente tesis emplea 600 fotografías de la cara de individuos de población mexicana (50% hombres y 50% mujeres), recolectadas por el Proyecto CANDELA (Quinto-Sánchez, 2016), mismas que se evaluaron mediante el método no métrico, empleando el esquema de descripción y clasificación: *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009) y una validación de dichos resultados por el método morfométrico utilizando 17 *landmarks* y 42 *semilandmarks*.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los delitos que han sido capturados por sistemas de videograbación, así como imágenes que requieren que se verifique la identidad de una persona, se deben apoyar de un método confiable para lograr una identificación basada en los rasgos faciales documentados. Realizar una identificación facial con métodos confiables que garanticen los resultados es una necesidad actual para poder verificar la identidad de una persona o reducir el universo de búsqueda.

La clasificación de la cara con base en las características faciales presentes es el primer paso para lograr una identificación a partir de una imagen donde la cara es visible, posteriormente, la identificación positiva de una persona se puede llevar a cabo empleando otros métodos como lo puede ser la antropometría (Ritz-Timme et al., 2010).

Esta clasificación facial se lleva a cabo aplicando el análisis morfoscópico o no métrico de la cara, evaluando así (tanto global como localmente) la forma, apariencia, presencia y ubicación de los rasgos faciales. Sin embargo, a pesar de que este método cuenta con esquemas de clasificación, hay estudios que indican que existen diferencias entre observadores al momento de realizar la evaluación (FISWG, 2012b; Ritz-Timme et al., 2010), esto puede deberse a que diferentes analistas llegan a clasificar las mismas características faciales de manera distinta e incluso un mismo analista puede ser inconsistente con sus evaluaciones a lo largo del tiempo (Valentine & Davis, 2015). Es así que, el análisis morfoscópico de la cara es considerado altamente subjetivo y un ejemplo de ello es que los criterios para realizar la comparación facial no siempre serán los ideales, por ejemplo, el empleo de diferentes ángulos de cámara al momento de tomar una fotografía (Stephan et al., 2018). Debido a esta subjetividad se han desarrollado una variedad de listas sobre las características faciales a evaluar (Vanezis et al., 1996; FISWG, 2013), así como atlas de clasificación facial (Ritz-Timme et al., 2011; Ritz-Timme et al., 2010; Ohlrogge et al., 2009), mismos que son muy poco empleados en México y Latinoamérica. Además, cabe señalar que, de acuerdo con Farrera, García-Velasco y Villanueva (2016), existen pocas caracterizaciones morfoscópicas faciales para la población mexicana (Villanueva, 2001, 2003 & 2010).

A pesar de los esfuerzos por desarrollar esquemas y atlas de clasificación, a la fecha no se ha logrado establecer un estándar universal de clasificación facial (Stephan et al., 2018; FISWG, 2012b).

Debido a que la forma de la cara, así como las características de los labios son anexadas en los formatos de media filiación para personas desaparecidas y a que es empleada en un sinnúmero de credenciales para identificación legal, es necesario conocer si estas clasificaciones realizadas a partir del método morfoscópico son confiables para el propósito que buscan, además de conocer si la forma de la cara de la población mexicana corresponde a lo establecido en atlas de clasificación facial; para ello, valiéndose de que la morfometría geométrica combina las herramientas empleadas en geometría y biología (Bookstein, 1997), esta técnica puede ser empleada para el estudio de la variación de la forma y tamaño del fenotipo facial (Slice, 2005; Quinto-Sánchez, 2019).

Cabe destacar que el uso de la morfometría geométrica tiene la ventaja de procurar la preservación de la geometría completa de las muestras de estudio (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007), lo anterior gracias a que la representación de la muestra se realiza mediante la posición en la que se encuentren los puntos antropológicos, mismos que se pueden ubicar con precisión por parte del evaluador y así establecer una correspondencia uno a uno entre todas las muestras incluidas en el análisis (Klingenberg, 2011), además, gracias a estos puntos de referencia se puede analizar la forma y tamaño de la muestra de estudio (Torcida & Pérez, 2012).

Otro aspecto en el que la morfometría geométrica contribuye en el estudio es en la generación de resultados gráficos claros sobre los cambios de forma asociados (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007) mismos que son producto del análisis de estadística multivariada al que es sometida la representación de la muestra (Klingenberg, 2011), facilitando así al evaluador percibir las diferencias que pueden existir en la forma entre especímenes individuales o grupos (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007).

Por las razones expuestas, la presente investigación pretende validar dicha clasificación facial y labial empleando un método morfogeométrico bidimensional (2D), aportando así un grado de confianza para las autoridades que realicen este análisis como primer paso para la identificación de un individuo por medio de imágenes y/o videos, así como el conocer si los atlas de clasificación pueden adaptarse para su uso en población mexicana.

JUSTIFICACIÓN

México enfrenta una crisis de gran magnitud debido a los casos de personas desaparecidas, no identificadas, entre otros (Hincapie & Bravo, 2017). Por otro lado, entre las necesidades latentes de México se encuentra la identificación de personas que presuntamente hayan cometido un delito. En ambos casos, lograr la identificación exacta de una persona es imprescindible, por esta razón es necesario el empleo de métodos de identificación confiables y seguros (López, 2018) que permitan la reducción del universo de búsqueda y/o la identificación humana propiamente dicha, además de la creación de bases de datos libres con la finalidad de que peritos y personal encargado de la procuración de justicia puedan ejercer su labor apoyándose de éstas.

Por lo expuesto anteriormente, los resultados obtenidos de la presente investigación serán empleados para generar reportes científicos sobre la variabilidad facial en poblaciones mexicanas, específicamente para datos morfoscópicos validados por métodos morfométricos. Aunado a lo anterior, con los resultados se realizará una tabla de frecuencias de características fenotípicas faciales presentes en la población mexicana, empleando como esquema de clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009), además de la base de datos CANDELA para la clasificación de características faciales. De igual manera, los resultados contribuirán a la construcción de bases de datos libres que pretenden ser útiles para los peritos al momento de realizar confrontas. Finalmente, la presente investigación busca contribuir al protocolo de identificación facial propuesto por el FISWG (*Facial Identification Scientific Working Group*).

OBJETIVOS

La presente tesis tiene como finalidad realizar la validación del método morfoscópico, empleando morfometría geométrica, con fines de identificación facial. Es por ello que el objetivo general es caracterizar la variabilidad facial de una muestra de sujetos mexicanos para la forma facial y labial empleando un método morfoscópico y validando su pertinencia con morfometría geométrica.

Objetivos específicos:

1. Analizar la variabilidad de la forma facial general mediante el protocolo morfoscópico o no-métrico.
2. Analizar la variabilidad de la forma de los labios en la población mexicana mediante el protocolo morfoscópico o no-métrico.
3. Reportar las frecuencias de cada fenotipo y compararlas con los resultados obtenidos por Ritz-Timme et al. (2011), sobre Italia, Alemania y Lituania.
4. Validar los resultados morfoscópicos mediante la aplicación de morfometría geométrica y estadística multivariada.

HIPÓTESIS

Realizando la clasificación de las características faciales de fotografías de la cara de individuos mexicanos y validando los resultados obtenidos mediante un método morfogeométrico 2D, se establecerá que el método no métrico es confiable para establecer una identificación facial forense. De igual manera, al realizar la validación del método no métrico, se establecerá que la forma de la cara de la población mexicana corresponde con lo establecido por el atlas de clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009) y es concordante con las frecuencias de otros países.

ANTECEDENTES

La identificación forense en México

México enfrenta una crisis de gran magnitud debido a los casos de personas desaparecidas, personas no identificadas, entre otros (Hincapie & Bravo, 2017). Por otro lado, una de las necesidades latentes de México es la identificación de una persona que haya cometido un delito. En ambos casos, lograr la identificación exacta de una persona es imprescindible, por esta razón es necesario el empleo de métodos de identificación confiables y seguros (López, 2018).

En el contexto de la identificación forense en México, se encuentra el documento publicado en 2015 por la ahora Fiscalía General de la República (FGR), mismo que lleva por título “Protocolo para el tratamiento e identificación forense”, en éste se habla principalmente de la identificación de cadáveres, abordando el procedimiento a seguir paso a paso dependiendo el campo de estudio. El documento menciona que como parte de las tareas del proceso de identificación se encuentra la descripción y registro fotográfico de las prendas del cadáver, así como de sus pertenencias, de igual manera menciona que se le deben tomar fotografías con fines de identificación al cadáver, este registro fotográfico debe incluir fotografía facial, fotografía de dientes anteriores, así como fotografías corporales en las que se muestren caracteres individualizantes como lo son lunares, tatuajes, cicatrices, entre otros. En este protocolo para la identificación forense también se abordan las tareas que se deben realizar en otras áreas como lo es la odontología, menciona que el examen de la cavidad oral debe ser realizado, de ser posible, por el odontólogo forense, sin embargo, le otorga al médico forense la capacidad para realizar dicha evaluación debido a la necesidad de contar con el registro dental por cada cadáver no identificado. Por último, el protocolo para el tratamiento e identificación forense indica los pasos a realizar para la toma de impresiones dactilares del cadáver, la toma de muestras biológicas para la obtención de ADN, así como la obtención de información *ante mortem* por medio de una entrevista psicológica a familiares.

Ejemplo de las disciplinas empleadas con fines de identificación de personas y las acciones documentadas en el protocolo mencionado, se encuentra el registro de Personas Fallecidas Sin Identificar del Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses, éste aborda una guía para el llenado de un formulario con fines de búsqueda e interpretación de resultados, en este registro se realiza la descripción de tatuajes, prendas e indumentarias, sexo, edad, entre otros (Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses, 2021). Por otro lado, dentro de las áreas del

departamento de identificación del Instituto de Ciencias Forenses (INCIFO) del Tribunal Superior de Justicia de la Ciudad de México se encuentran: odontología, antropología, fotografía, dactiloscopia, cuyos registros están sincronizados con el Sistema Nacional de Seguridad Pública, además, contempla otras ciencias auxiliares como la genética (INCIFO, 2019). Con el Sistema Nacional de Seguridad Pública se instaló el Registro Nacional de Huellas Dactilares (AFIS), así como enlaces digitales con las principales dependencias federales y estatales, lo que permite actualizar la información en tiempo real, lo anterior se encuentra contemplado en el Sistema Nacional de Información (Medina, 2000), mismo que está conformado por registros nacionales en materia de detenciones, armamento, equipo y personal de seguridad pública, medidas cautelares, soluciones alternas, formas de terminación anticipada, bases de datos del ministerio público e instituciones policiales relativas a la información criminalística, huellas dactilares de personas sujetas a investigación o proceso penal, teléfonos celulares, sentenciados y demás bases destinadas a la prevención, investigación y la persecución de delitos, lo anterior de acuerdo con la Ley General del Sistema Nacional de Seguridad Pública (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2019).

De acuerdo con el censo nacional de gobierno, seguridad pública y sistema penitenciario estatal (2016), a nivel nacional en México se contaba con 33,643 cámaras de vigilancia en la vía pública, la entidad federativa con más cámaras de videovigilancia en la vía pública por cada cien mil habitantes era la actual Ciudad de México (INEGI, 2017). Lo anterior adquiere importancia debido a que las leyes que regulan la videovigilancia en México abordan tres ámbitos de intervención: la protección de la privacidad y datos personales, la fidelidad de las grabaciones y la destrucción de la información. En el primer caso, la ley establece la necesidad de proteger los datos personales de la población que ha sido videograbada; en el caso de las leyes de Durango, Aguascalientes y Colima, se tiene contemplado borrar o hacer ilegibles las imágenes de las personas identificadas o potencialmente identificables. En el segundo aspecto, la inalterabilidad de las imágenes y sonidos cobra importancia debido a que pueden emplearse como prueba en algún caso legal. Por último, cada ley contempla la necesidad de eliminar las grabaciones después de transcurrido cierto tiempo, mismo que es variable en cada ley o reglamento (Arteaga, 2016).

Por otro lado, dentro del sector académico, una de las técnicas con las que cuenta México para la identificación de personas es el retrato hablado, mismo que tiene por objetivo

proporcionar una representación gráfica, detallada y lo más exacta posible sobre determinada persona, incluyendo aquellas características más distintivas de la misma. El retrato hablado tiene como base una descripción verbal que es proporcionada por el declarante. Con base en esta declaración, se procede a la construcción de bocetos o retratos hablados, éstos se realizan con técnicas que abarcan desde el dibujo a mano alzada hasta el uso de sistemas computarizados (Larin-Fonseca, Meneses & Vazquez, 2014). Ejemplo de los sistemas computarizados se encuentra el acervo de imágenes “Caramex” para la elaboración de los retratos hablados asistidos por computadora que se manejan empleando el programa AdobePhotoshop, mediante la superposición de imágenes. Caramex, también conocido como “la cara del mexicano”, es un identificador de rasgos faciales para la población mexicana asistidos por computadora; en éste se pueden elegir una serie de características faciales, como lo es la forma de la cara, el tipo de calvicie o cabellera, la pilosidad facial, tipos de cejas, ojos, nariz, labios, entre otros. Una vez elegidas las características faciales se obtiene un retrato hablado generado a partir del acervo de imágenes del mismo sistema (Villanueva, 2010).

Una institución que colabora con otras organizaciones para la identificación de personas es el Instituto Nacional Electoral (INE), mismo que proporciona información contenida en el padrón electoral para realizar comparaciones de huellas dactilares y fotografías faciales con la finalidad de identificar personas desaparecidas, cadáveres o restos humanos, así como para prevenir delitos como el robo de identidad y fraudes en instituciones bancarias (INE, 2018, 2020).

Publicada el 17 de noviembre del 2017, la Ley General en Materia de Desaparición de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas aborda las características que debe poseer el Banco Nacional de Datos Forenses. El Banco Nacional de Datos Forenses es una herramienta del Sistema Nacional que concentra bases de datos de entidades federativas, así como de la federación y otras bases de datos que contengan información pericial y forense útil para la identificación de personas, por ejemplo: el Registro Nacional de la Ley Nacional de Seguridad Pública, el Registro Nacional de Personas Fallecidas y No Identificadas y la Ley Nacional del Registro de Detenciones. Este banco se encuentra a cargo de la fiscalía, debe estar interconectado con herramientas de búsqueda e identificación y debe ser actualizado en tiempo real. La información contenida en estos registros puede ser

empleada en investigaciones con la finalidad de identificar a una persona (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2017).

A pesar de los esfuerzos por lograr la creación de bases de datos que coadyuven con la identificación forense en México, todavía se tienen muchas tareas pendientes para lograrlo, ejemplo de lo anterior son los proyectos pendientes como lo es el Banco de ADN para el Uso Forense de la Ciudad de México. El 24 de diciembre del 2019 se publicó la Ley por la que se crea el Banco de ADN para el Uso Forense de la Ciudad de México, misma que tiene por objeto crear y regular un banco de perfiles genéticos para su uso forense en la Ciudad de México, con el fin identificar a presuntos responsables de un delito, establecer bases de datos de servidores públicos que laboren en instituciones de seguridad ciudadana y procuración de justicia, así como de las víctimas de secuestro, violación, feminicidio y estupro (Congreso de la Ciudad de México, 2019).

Otro de los proyectos que se incluyen dentro del sector académico y que además pretende coadyuvar con la identificación de personas en México es el denominado Proyecto NN, nombrado así por la clasificación que se otorga a partir de la expresión latina *nomen nescio* (sin nombre) a las personas que no pudieron ser identificadas en el Instituto de Ciencias Forenses. Este proyecto busca generar un protocolo de identificación humana, realizar la gestión integral de fosas comunes y crear una colección osteológica nacional. El proyecto NN busca crear una base de datos forense apoyándose de la base de datos *ante mortem/post mortem* del Comité Internacional de la Cruz Roja, además de la creación de una aplicación de acceso libre para el uso de peritos y así apoyar a la labor de identificar personas desconocidas o desaparecidas. Este proyecto se está llevando a cabo en el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense de la Licenciatura en Ciencia Forense perteneciente a la Facultad de Medicina de la UNAM, a cargo del Dr. Mirsha Quinto-Sánchez (Guzmán, 2019).

El Comité Internacional de la Cruz Roja, en su documento titulado “PERSONAS DESAPARECIDAS, ANÁLISIS FORENSE DE ADN E IDENTIFICACIÓN DE RESTOS HUMANOS. Guía sobre prácticas idóneas en caso de conflicto armado y de otras situaciones de violencia armada” (2009) menciona los medios científicos que integran el proceso de recolección *ante mortem* y *post mortem* de datos, permitiendo así efectuar una identificación con alto nivel de certidumbre (CICR, 2009). Estos medios se encuentran resumidos en la figura 1, la cual muestra que una identificación obtenida por medio del reconocimiento visual u otros

medios debe ser respaldada por la comparación de datos *ante mortem* y *post mortem* con la finalidad de recolectar pruebas que coadyuven con la identificación, además de que la identificación humana debe realizarse empleando por lo menos una forma de identificación científica (CICR, 2009).

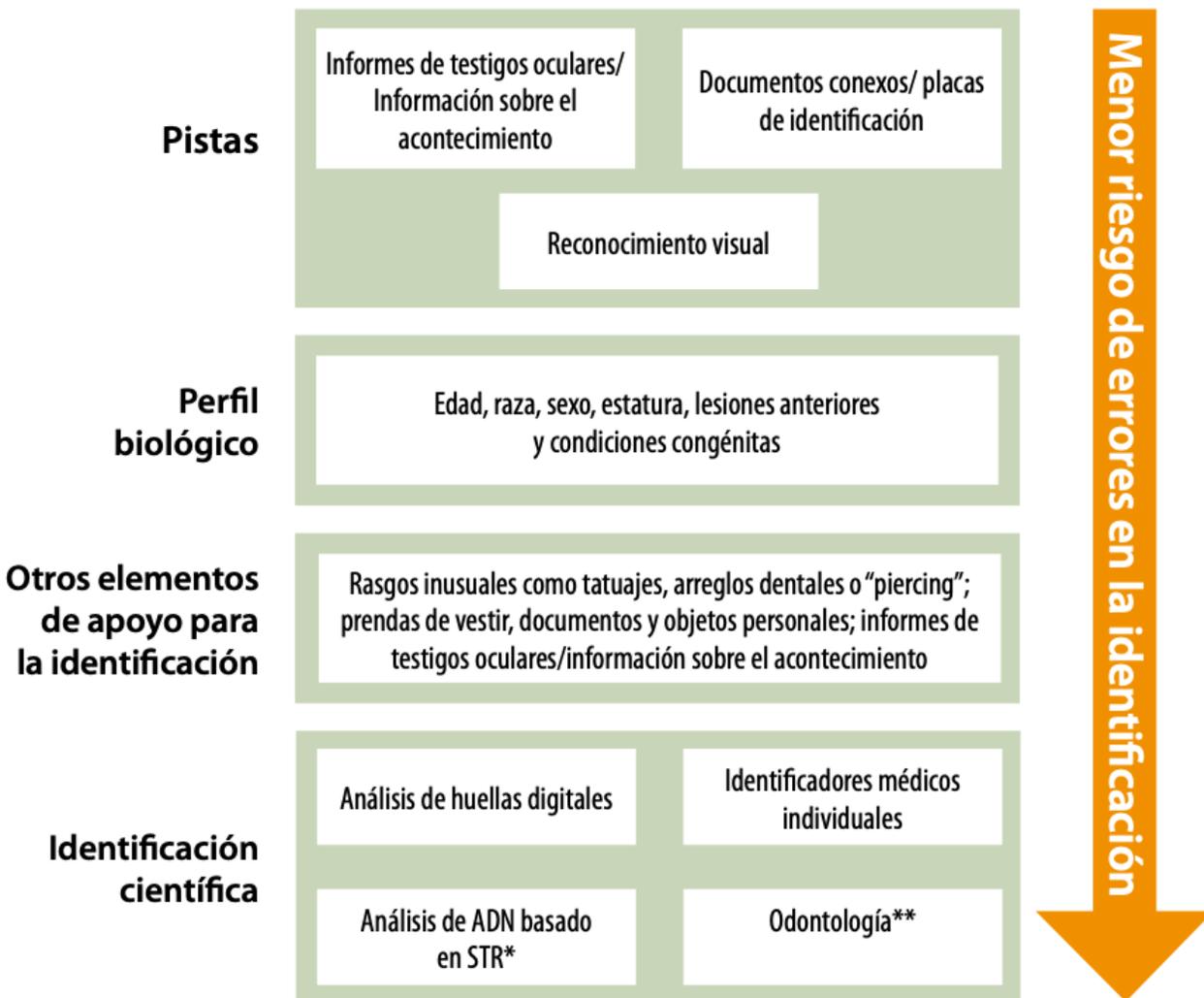


Figura 1. Medios científicos empleados para el proceso de recolección de datos *ante mortem* y *post mortem*. Esquema recuperado de CICR (2009).

Sin embargo, en México, así como en otros países de América Latina, los procesos de identificación forense no han sido sistematizados ni estandarizados. Entre los grandes problemas en el ámbito forense se encuentra que las instituciones forenses no cuentan con el equipo necesario para llevar a cabo los procesos de confronta para poder identificar a las personas, asimismo, no en todos los casos se realiza el registro *post mortem*. Aunado a lo anterior, no se cuenta con espacios designados a la atención de familiares, no existe una comunicación óptima

entre instituciones de procuración de justicia y, además, el presupuesto asignado a los servicios médicos forenses no es suficiente (CICR, 2014).

Bases de datos biométricos en México

Un sistema biométrico es un sistema de reconocimiento de patrones que opera adquiriendo datos biométricos de un individuo, extrayendo características de los datos adquiridos y comparándolas con información contenida en alguna base de datos. Dependiendo del contexto de la aplicación, un sistema biométrico puede operar en modo de verificación o en modo de identificación: el primero se refiere a que el sistema valida la identidad de una persona y, en el modo de identificación, el sistema reconoce a un individuo al buscar una coincidencia en una base de datos donde existe información de diversos individuos (Jain, Ross & Prabhakar, 2004).

Las bases de datos con los que México cuenta para realizar la identificación forense de personas son las siguientes:

- Sistema Automatizado de Identificación de Huellas Dactilares (AFIS): es un sistema informático que tiene la capacidad de administrar huellas dactilares, su finalidad es optimizar los procesos de registro, consulta e identificación de individuos. Facilita el intercambio de información entre instituciones de procuración y administración de justicia, lo que permite registrar, almacenar y comparar huellas dactilares de presuntos responsables de la comisión de un delito; además, está conectada a la Plataforma México (Aguilar, 2011), misma que es una herramienta de información con la finalidad de apoyar a las instituciones de seguridad pública, vinculando los diferentes sistemas de seguridad pública de los tres órdenes de gobierno. Esta herramienta permite el análisis e intercambio de información, así como la organización de operaciones policiales, de investigación e inteligencia (SEGOB, 2018).
- Base de Datos en Genética Forense: consiste en un archivo electrónico el cual contiene perfiles genéticos obtenidos a partir de muestras biológicas relacionadas con alguna investigación judicial (Aguilar, 2011).
- Base de Datos de Análisis de Voz: es un sistema que se encarga del registro y comparación de voces con el fin de identificar las características acústicas de la voz de una persona que puede estar relacionada con la comisión de un delito (Aguilar, 2011).

→ Sistema Automatizado de Identificación Biométrica (ABIS): este sistema exige la recopilación de las diez huellas dactilares rodadas, mínimo cinco fotografías tomadas desde distintos ángulos y raspado oral para obtención de perfil genético (Senado de la República, 2018). Esta base de datos también se define como el sistema biométrico de identificación automática por rostro (INE & SEGOB, 2018).

El documento publicado por la Secretaría de Seguridad Pública, titulado “Lineamientos del Sistema de Identificación Biométrica por Reconocimiento Facial”, en su primera versión, menciona que como parte de las tecnologías que conforman la Plataforma México del Sistema de Identificación Biométrica por Reconocimiento Facial se conforma de herramientas útiles para la identificación, así como la validación de identidad de una persona. Además, define a este sistema como un conjunto de equipos y aplicaciones con fines de recopilación e identificación biométrica por medio de la imagen digital del rostro, lo anterior mediante la comparación de características faciales con información contenida en bases de datos. El documento señala que serán motivo de registro fotográfico las personas integrantes de instancias de seguridad pública, indiciados, procesados o sentenciados, cadáveres sin alteraciones o deformaciones, imágenes faciales sometidas a investigación pericial, así como imágenes obtenidas mediante retrato hablado. Estos registros fotográficos deben cumplir con ciertos requisitos como lo es fotografía frontal, cara completa, expresión neutra, sin accesorios como lentes, perforaciones, etc., así como sin vello facial, entre otros aspectos. Finalmente, la Plataforma México, así como demás instituciones de seguridad pública se encargarán de revisar constantemente el porcentaje de registros contenidos en esta base de datos (SSP, s.f.).

Como se mencionó anteriormente, el Instituto Nacional Electoral, INE, colabora con otras instituciones para la identificación de personas, esto lo hace proporcionando información contenida en el Padrón Electoral, así como información contenida en las bases de datos ABIS y AFIS. El Padrón Electoral es el registro de mexicanos que han solicitado su inscripción al mismo para obtener su credencial para votar. Esta base de datos contiene información como: nombre completo, domicilio, fecha de nacimiento, género, fotografía, firma, clave única de registro de población (CURP), clave de elector y las diez huellas dactilares de los ciudadanos. El INE solicita a los ciudadanos sus datos biométricos de huellas dactilares y los rasgos faciales desde el año 2001. Cabe destacar que la totalidad de los registros en esta base de datos cuenta con biometría facial. Dentro de la función social de esta base de datos, se encuentra el convenio con

la Comisión Nacional de Búsqueda de Personas Desaparecidas con la finalidad de brindar el servicio de autenticación de identidad a nivel nacional, así como contribuir a la identificación de personas (INE, 2020).

La credencial de elector emitida por el INE es uno de los documentos con el cual se identifican los mexicanos. Este documento cuenta con varios elementos, entre ellos, los elementos de información, control y presentación del ciudadano los cuales son: nombre completo del elector, domicilio, sexo, edad, folio nacional, clave de elector, identificación geoelectoral, Clave Única de Registro de Población (CURP), número identificador, firma, huellas de los dedos pulgar e índice (actualmente incorporadas en los códigos QR dentro de la misma credencial), entre otros. Cabe destacar que este documento cuenta con la fotografía facial en vista frontal del ciudadano (INE, 2019) como se observa en el ejemplo de la figura 2.



Figura 2. Ejemplo del anverso de la credencial de elector INE. Imagen obtenida de INE (2019).

Existen diversos documentos que tienen la finalidad de acreditar la identidad de individuos mexicanos y que, además, contienen la fotografía facial en vista frontal del individuo, estos documentos son: a) pasaporte, es un documento de viaje que se expide a los mexicanos para acreditar identidad y nacionalidad ante autoridades extranjeras (Secretaría de Relaciones Exteriores, 2021); b) la licencia para conducir; c) la matrícula consular que es un documento que sirve para identificarse ante instituciones gubernamentales locales y autoridades mexicanas (Secretaría de Relaciones Exteriores, 2021); d) el título y cédula profesional; e) la cartilla de identidad postal emitida por el servicio postal mexicano a los connacionales que necesiten realizar trámites postales; f) la cartilla nacional de salud; g) la credencial nacional para personas

con discapacidad; h) la credencial del Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (INAPAM); i) la cartilla de identidad del servicio militar liberada; j) el certificado de nacionalidad mexicana; k) la carta de naturalización otorgada a extranjeros que acreditan residencia en el territorio mexicano; l) la credencial para jubilados y pensionados y; m) la credencial o certificado de estudios (Secretaría de Relaciones Exteriores, s.f.; CNPSS, s.f.).

Por otro lado, México cuenta con herramientas para ayudar a la localización y recuperación de personas, estas son las fichas de media filiación de personas desaparecidas, por ejemplo, la alerta amber y la alerta odisea. La función de estas alertas es la difusión masiva de los datos de una persona, acompañados de una fotografía reciente en la que se muestre la cara de la persona cuyo paradero es desconocido (Gobierno de México, s.f.). Cabe destacar que entre la información contenida en estas fichas y/o alertas, se encuentra la clasificación del tamaño de la boca, forma del mentón, tipo de cejas, tipo de nariz, clasificación de los labios, así como la forma de la cara, sin embargo, se desconoce qué clasificación de características faciales, atlas de clasificación o listas de caracteres a evaluar son empleados para realizar dichas clasificaciones.

Estudios previos de identificación facial forense en población mexicana

Los estudios previos que sobre identificación facial en población mexicana pueden ser divididos en aquellos que se realizaron empleado el método morfoscópico y aquellos realizados empleando fotoantropometría.

Los trabajos previos en población mexicana que emplean el método morfoscópico son los realizados por María Villanueva Sagrado, en los cuales, ha elaborado las frecuencias de fenotipos faciales femeninos y masculinos de acuerdo con la clasificación basada en los niveles de intensidad o fuerza de las regiones faciales digestiva, respiratoria y cerebral (Villanueva, 2001); de igual manera, ha realizado las frecuencias de las diez formas faciales propuestas por Rudolf Pöch en 1916 (Villanueva, 2003). Por último, publicó un conglomerado de trabajos para conocer la variabilidad facial en México empleando las clasificaciones faciales mencionadas, además de incluir análisis sobre asimetría facial, entre otros (Villanueva, 2010). Estos trabajos han aportado información basta sobre los rasgos faciales de los mexicanos, así como las

frecuencias de éstos a nivel nacional, sin embargo, estos datos no se han comparado con otras poblaciones con la finalidad de conocer si existen rasgos faciales distintivos del mexicano en contraste con otras poblaciones. Además, no existen estudios en población mexicana donde se empleen, como método de clasificación, listas o atlas de clasificación que tienen el objetivo de estandarizar las clasificaciones faciales. Si bien los estudios en identificación facial forense en población mexicana donde se emplea el método morfoscópico son pocos, los estudios que emplean la antropometría se encuentran en menor proporción, por lo que es necesario realizar más estudios en este campo de estudio.

Por otro lado, los trabajos previos en población mexicana que emplean la fotoantropometría son los realizados por Farrera, García-Velasco y Villanueva (2016), quienes describen la variación morfológica por sexo y grupos de edad, de imágenes faciales en vista frontal y lateral en 2D, además del trabajo realizado por Quinto-Sánchez y otros en 2015, cuyo estudio consistió en evaluar la forma facial tridimensional (3D) con la finalidad de caracterizar la asociación entre ascendencia genética y asimetría individual en una muestra de poblaciones mixtas latinoamericanas.

Proyecto CANDELA

El proyecto CANDELA se trata de un consorcio multidisciplinario internacional en el que colaboran investigadores especialistas en la diversidad biológica de individuos latinoamericanos, además de su entorno social. Este trabajo está centrado en las poblaciones urbanas de cinco países: Colombia, Perú, Chile, Brasil y México. En individuos pertenecientes a las mencionadas poblaciones, el proyecto CANDELA realiza la tarea de caracterizar su apariencia física, examinando su acervo genético y su entorno social así como evaluar su percepción y actitudes en torno a ellos mismos y a otros, con la finalidad de verificar hipótesis establecidas en materia de antropología, investigación biológica y médica, así como la relación entre la auto percepción de la identidad y el aspecto físico externo, la ancestría genética y el ambiente socio cultural, con la finalidad de conocer la relación entre factores sociales y biológicos (Quinto-Sánchez, 2016).

En este proyecto se realizó el muestreo de aproximadamente 7,342 individuos (Ruiz-Linares et al., 2014) a los cuales se les realizó la toma de muestra sanguínea, el fenotipado

consistente en mediciones antropométricas generales y la toma de fotografías faciales, además de una encuesta socioeconómica (Quinto-Sánchez, 2016).

Actualmente, bajo este proyecto, se han llevado a cabo investigaciones sobre las características de la forma facial en un modelo 3D, mismo que fue capturado mediante métodos fotogramétricos, dentro de estos trabajos se encuentran los realizados por Quinto-Sánchez (2015, 2016).

Atlas antropológico de rasgos faciales femeninos

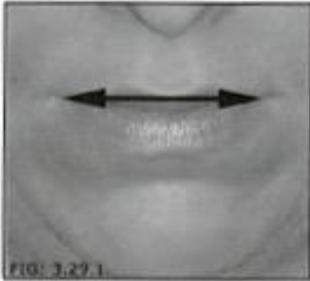
El atlas sobre rasgos faciales de población femenina europea fue financiado por la Unión Europea mediante el proyecto que lleva por nombre *Optimisation of Methods for Identification of Persons from Photographs (photoidentification): A Contribution to Combat and Prevention of Crime in Europe* (Ohlrogge et al., 2009).

Este atlas promueve la base para un registro estandarizado de los rasgos faciales, sus variaciones, así como para la adquisición de datos con la finalidad de establecer frecuencias de estos rasgos (Ohlrogge et al., 2009).

Anthropological atlas of female facial features por su nombre en inglés, elaborado por Ohlrogge y colaboradores en 2009, ilustra cuarenta y cinco características faciales de la población femenina europea. Para cada una de estas cuarenta y cinco características se muestran diversas variaciones que se pueden presentar, incluyendo la variación promedio. Estas características son presentadas tanto en forma escrita como gráfica, además de proporcionar un ejemplo fotográfico de las variaciones (Figura 3).

En el atlas se incluye una hoja de calificación que permite una descripción rápida y estandarizada de las características. Además, se adjunta un borrador para un resumen de la evaluación.

3 | 29. Labial breadth (frontal)



Distance between the corners of the labial commissures in neutral expression in frontal view

- Possible characteristics:
1. Narrow
 2. Average
 3. Broad



1. Narrow



2. Average



3. Broad



Photographic example: 3. Broad

Figura 3. Ejemplo de descripción escrita y gráfica del rasgo facial 29: amplitud labial (frontal). Imagen obtenida de *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009).

| No | Feature | No | Feature |
|-----|---|-----|--|
| 01. | Head shape (frontal) | 23. | Nasal breadth (frontal) |
| 02. | Frontal height (frontal) | 24. | Nostrils (lateral) |
| 03. | Frontal breadth (frontal) | 25. | Philtrum height (frontal) |
| 04. | Frontal hairline (frontal) | 26. | Philtrum depth (frontal) |
| 05. | Forehead bias (lateral) | 27. | Philtrum shape (frontal) |
| 06. | Eyebrow height (frontal) | 28. | Upper lip notch (frontal) |
| 07. | Eyebrow density (frontal) | 29. | Labial breadth (frontal) |
| 08. | Eyebrow shape (frontal) | 30. | Orientation of mouth corner (frontal) |
| 09. | Mono-brow (frontal) | 31. | Mouth slit shape (frontal) |
| 10. | Distance upper eyelid - eyebrow (frontal) | 32. | Upper vermillion (frontal) |
| 11. | Upper eyelid (frontal) | 33. | Lower vermillion (frontal) |
| 12. | Inner eye base (frontal) | 34. | Chin shape (frontal) |
| 13. | Lid axis (frontal) | 35. | Chin height (frontal) |
| 14. | Nasal root (frontal) | 36. | Chin transition (frontal) |
| 15. | Nose bridge length (frontal) | 37. | Chin protrusion (lateral) |
| 16. | Nose bridge breadth (frontal) | 38. | Chin dimple (frontal) |
| 17. | Nose bridge process (frontal) | 39. | Ear height (lateral) |
| 18. | Nose profile (lateral) | 40. | Ear breadth (lateral) |
| 19. | Inclination of the columella (lateral) | 41. | Ear lobe size (lateral) |
| 20. | Nose tip shape (frontal) | 42. | Ear lobe attachment (lateral) |
| 21. | Nose tip incisure (frontal) | 43. | Ear protrusion (frontal) |
| 22. | Nose protrusion (lateral) | 44. | Transition head - neck (frontal) |
| | | 45. | Pronunciation of cheek bones (frontal) |

Figura 4. Lista de las características faciales descritas en *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009).

MARCO TEÓRICO

La cara como unidad de estudio

La complejidad de la cabeza se debe, en primera instancia, a que realiza diversas funciones que son efectuadas por los diversos componentes de la misma y que no solo comparten muchos de los mismos espacios y soportes estructurales, sino que también deben crecer y cambiar a lo largo de todo el ciclo de vida. Además de lo anterior, se suma el gran número de componentes y su grado de integración (Lieberman, 2011).

La cabeza humana, estructuralmente hablando, está situada por encima de la columna vertebral, sostenida por el atlas, y es la parte más elevada del esqueleto (White & Folkens, 2005).

El cráneo es una de las partes más complejas del esqueleto humano; anatómicamente, el cráneo humano adulto está constituido por 28 huesos (White, Folkens & Beck 2011), mismos que constituyen sus dos partes: el neurocráneo y el viscerocráneo. El neurocráneo hace referencia a los huesos que protegen al encéfalo y a las meninges cerebrales, está formado por ocho huesos: frontal, etmoides, esfenoides, occipital y dos pares bilaterales, el temporal y parietal. Por otro lado, el viscerocráneo o esqueleto facial, conforma la parte anterior del cráneo, se compone de los huesos maxilares, mandíbula, la nariz o cavidad nasal y la mayor parte de las órbitas o cavidades orbitarias (Moore, Dalley & Agur, 2013).

El viscerocráneo está constituido por quince huesos irregulares: tres huesos impares (mandíbula, etmoides y vómer) y seis huesos pares bilaterales (maxilar, concha nasal inferior, cigomático, palatino, nasal y lagrimal). Los huesos maxilares son parte del esqueleto facial superior y la mandíbula constituye el esqueleto facial inferior (Moore, Dalley & Agur, 2013).

Como parte del cráneo se encuentra la cara, que es la región más anterior de la cabeza, representa una de las estructuras más variables en los humanos, cuya cualidad más distintiva es que se emplea para la identidad personal (Nguyen & Duong, 2020).

La forma de la cara está determinada por los huesos subyacentes (temporales, frontal, parietales y occipital). Cabe resaltar que la individualidad de la cara se debe a variaciones anatómicas en cuanto a la forma y prominencia de los huesos subyacentes del cráneo, el depósito de tejido adiposo, en el color y cambios provocados por el envejecimiento sobre la piel, así como la disposición y abundancia de pelo sobre la cara y sobre el cuero cabelludo (Moore, Dalley & Agur, 2013).

Además de la descripción ósea, la cara también puede ser descrita anatómicamente por medio del tejido blando. Al cráneo se adhieren los músculos faciales y capas de epitelio que

permiten realizar diversas funciones como lo es la expresión facial, entre otras (Nguyen & Duong, 2020). Para la descripción del tejido blando, la cara se ha dividido en tercios (el tercio superior, medio o central e inferior, cuyas descripciones pueden variar entre autores), por estructuras (orejas, ojos, nariz, boca, mejillas, frente) y autores como Rouvière y Delmas (2005) han dividido la cara en dos partes (superior e inferior). La parte superior incluye dos regiones medias (la región de la nariz y la región de las cavidades nasales) y dos regiones laterales que son las regiones orbitarias. La parte inferior o bucofaríngea incluye regiones que están dispuestas alrededor de la cavidad oral y la faringe: la región oral o labial, la región mentoniana, la región de la mejilla, región mesentérica, región infratemporal, región palatina, región retrofaríngea, región laterofaríngea y el suelo de la boca (Rouvière & Delmas, 2005).

La anatomía de la cara se puede definir en tres regiones (Nguyen & Duong, 2020):

Cara superior: comienza desde la línea del cabello y termina debajo del párpado inferior. Los bordes laterales de la cara superior terminan alrededor de la región temporal. Esta región contempla:

- La frente: es la parte superior de esta región.
- Los ojos: se encuentran en las cuencas orbitarias en la región superior de la cara.
- La región temporal.

Cara media/central: comienza en el párpado inferior y termina por encima del labio superior, siendo las orejas los bordes laterales de esta región de la cara. Esta región contempla:

- Nariz: es una estructura ubicada sobre la línea media que sobresale del rostro.
- Mejillas: se ubican en los lados laterales a la nariz.
- Orejas: son estructuras laterales que delimitan la región de la cara media.

Cara inferior: comienza en el labio superior y termina en el borde inferior de la barbilla. El borde lateral de esta región está formado por el ángulo de la mandíbula. La cara inferior contempla los labios (superior e inferior), el mentón y la mandíbula.

La representación gráfica de la división de la cara en los tres segmentos anteriormente descritos se puede observar en la figura 5.

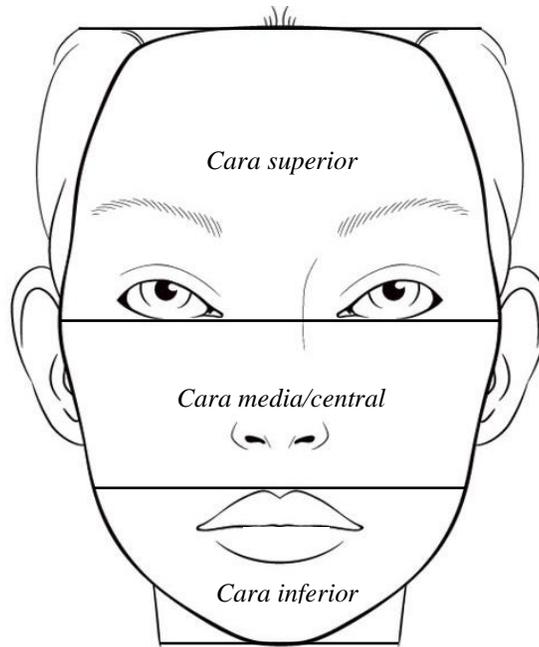


Figura 5. Fotografía que muestra las divisiones faciales en sus tres segmentos. Imagen modificada de *Google Images* (<https://i.pinimg.com/originals/9a/e3/1d/9ae31daddfc3525220b5108c23d4fde6.jpg>).

Desarrollo y crecimiento de la cara

El desarrollo mediante el cual se genera la morfología completa de la cara se puede dividir en tres niveles de jerarquización: 1) patrón, en el cual se generan las unidades de la cabeza; 2) morfogénesis, la cual genera tejidos y órganos de la cabeza y; 3) crecimiento y desarrollo, en el cual, como su nombre lo indica, las dos unidades mencionadas maduran por medio del crecimiento subsiguiente. Cabe destacar que los cambios de forma y tamaño son resultado de la combinación de factores intrínsecos y extrínsecos (Lieberman, 2011).

La morfogénesis facial ocurre entre la cuarta y octava semana de gestación. A partir de la cuarta semana se forman cinco procesos o abultamientos faciales alrededor del estomodeo o boca primitiva: a) el proceso frontonasal medial, es un proceso único y se encuentra arriba del estomodeo; b) los procesos maxilares, son dos y se colocan a ambos lados del estomodeo y; c) los procesos mandibulares, son dos y se colocan alrededor del estomodeo, por debajo de los procesos maxilares. Los procesos maxilares y mandibulares forman parte del primer par de arcos faríngeos (Arteaga & García, 2013; Moore & Persaud, 2004). Las prominencias se producen principalmente por la proliferación de células de la cresta neural, éstas son el principal componente del tejido conjuntivo como lo es el cartílago, hueso, así como ligamentos de la

región facial y bucal (Moore & Persaud, 2004). Para esta etapa del desarrollo, el estomodeo se compone por una delgada membrana de origen ectodérmico y endodérmico, así como de la membrana bucofaríngea (Arteaga & García, 2013).

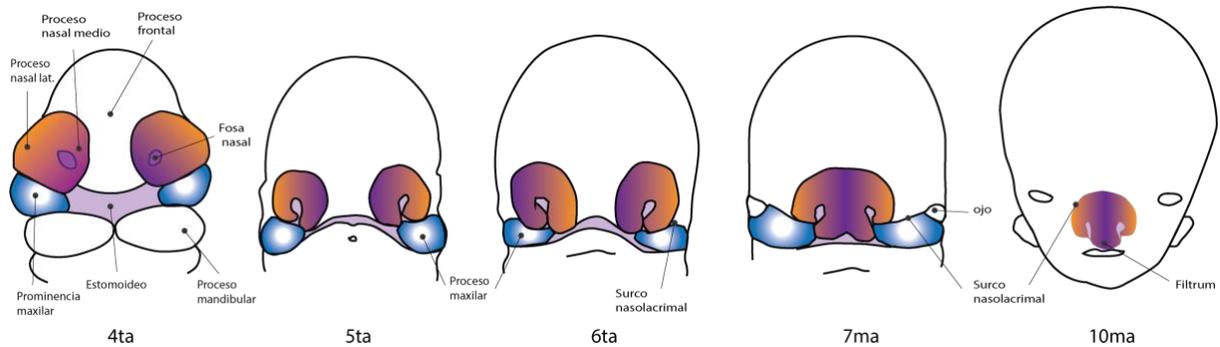


Figura 6. Representación gráfica del proceso de desarrollo embrionario de las estructuras faciales desde la cuarta semana a la décima. Imagen obtenida de Quinto-Sánchez (2016).

El proceso maxilar posee células de la cresta neural que provienen del prosencéfalo y mesencéfalo; el proceso mandibular posee células del mesencéfalo y del rombencéfalo. El proceso frontonasal recibe células de la cresta neural del prosencéfalo y se encuentra formado por dos porciones: la porción frontal, ubicada en la parte superior y a partir de la cual se desarrollará la frente y la porción nasal, ubicada en la parte inferior y que dará origen a la nariz. Estos procesos faciales son centros constantes de crecimiento del mesénquima (Arteaga & García, 2013). Las primeras partes de la cara en formarse son la mandíbula y el labio inferior, mismos que provienen de la unión de los extremos mediales de las prominencias mandibulares en el plano medio (Moore & Persaud, 2004).

El primordio de las orejas comienza su desarrollo al final de la quinta semana de gestación. Alrededor de la primera hendidura faríngea se forman los primordios de la oreja y meatos acústicos. Finalizando la sexta semana, las prominencias maxilares inician su fusión con la prominencia nasal lateral, esta fusión da origen al segmento intermaxilar, mismo que determina la formación del labio y encía superior. De igual manera, lo anterior formará la nariz definitiva y hará que los ojos alcancen su posición final, siendo separados por la raíz de la nariz (Arteaga & García, 2013). La fusión de los procesos maxilares con la prominencia nasal medial da origen al segmento intermaxilar que forma, en la superficie, el filtro del labio superior, surco subnasal o *filtrum*. Los procesos maxilares son los encargados de la formación de la parte

superior de las mejillas, porciones laterales del labio superior, la mayor parte del maxilar y paladar y al segmento intermaxilar. Por su parte, los procesos mandibulares forman la parte inferior de las mejillas, el labio inferior y el mentón. Por último, el mesénquima de ambos procesos forma el tejido muscular, conectivo y vascular de la mayor parte de la cara (Arteaga & García, 2013).

Entre la octava y décima semana de gestación culmina el proceso de fusión de los procesos faciales, así como el desarrollo del prosencéfalo y de la región cervical del embrión; se colocan a los ojos y los pabellones auriculares en su posición definitiva, con esto queda conformada la cara fetal. El desarrollo final de la cara ocurre durante el periodo fetal, en el cual se presentan cambios en las proporciones de los componentes de la cara, dichos cambios culminarán hasta la vida posnatal (Arteaga & García, 2013).

En el recién nacido, la mandíbula se encuentra dividida en dos mitades, mismas que se encuentran unidas en la línea media por la sínfisis mandibular. La unión definitiva de ambas mitades de la mandíbula ocurre entre el primer y segundo año de la vida posnatal. Por otro lado, la erupción de dientes es otro cambio en el desarrollo facial durante la vida posnatal debido a que produce cambios morfológicos en las encías, provocando un cambio en el fenotipo facial, lo mismo ocurre con los senos paranasales, mismos que se pueden encontrar ausentes al nacer (Arteaga & García, 2013).

El desarrollo y/o fusión de algunos de los procesos o prominencias faciales puede fallar, lo que ocasiona una gran variedad de anomalías faciales. Estas alteraciones faciales pueden ocurrir por problemas en la fusión o hipoplasia de los procesos faciales, o incluso por exceso de crecimiento en alguno de éstos. Entre las anomalías congénitas faciales se pueden encontrar las siguientes (Arteaga & García, 2013):

- Fisuras faciales: son la falta de continuidad anatómica de las estructuras que forman la cara, ya sea en tejido blando u óseo. Son resultado de la deficiencia embrionaria de tejido mesenquimatoso, así como consecuencia de la perturbación en la migración de células de la cresta neural.
- Labio hendido: es el tipo de fisura facial más frecuente, caracterizado por la falta de continuidad en el labio superior.

- Paladar hendido: es un defecto en el paladar que se encuentra más frecuentemente en el sexo femenino. Es causado por la ausencia de fusión o fusión incompleta de los procesos palatinos laterales entre sí o con el segmento intermaxilar.
- Hendidura facial oblicua: es una fisura facial que se caracteriza por extenderse a lo largo de la cara, desde el labio superior hasta la comisura interna del ojo.
- Hendidura facial lateral o macrostomía: es una fisura facial que se manifiesta como una “boca grande” ya sea en uno o ambos lados, pudiendo extenderse hasta la oreja.
- Holoprosencefalia: causado por un problema en el desarrollo del prosencéfalo, afecta la formación de estructuras faciales como los ojos, nariz y boca. Puede ocasionar hipotelorismo (ojos muy próximos entre sí) y ciclopia (un ojo único o dos dentro de una misma cavidad orbitaria).
- Displasia frontonasal: causado por el exceso de tejido mesenquimático del proceso frontonasal medial. Causa hipertelorismo (ojos muy separados entre sí y de la línea media), puente nasal ancho e incluso nariz bífida, narinas separadas y labio hendido medial.
- Micrognatia: es un defecto que se caracteriza por una mandíbula pequeña, con una desproporción con el resto de las estructuras faciales.
- Agnatia (otocefalia): es la ausencia total de mandíbula, orejas implantadas muy bajas que ocupan la porción ventral del cuello.

Entre otras anomalías faciales se encuentran (Moore & Persaud, 2004):

- Microstomía: al contrario de la macrostomía, la microstomía se manifiesta como una boca pequeña producto de la fusión excesiva de masas mesenquimatosas.
- Ausencia de nariz: producida cuando no se forman las placodas nasales.
- Presencia de una narina: consecuencia de la formación de una sola placoda nasal.
- Nariz bífida: causada por la falta de unión completa de las prominencias nasales mediales.

Al nacer, los huesos del cráneo se encuentran separados entre sí por suturas estrechas de tejido conectivo. Aquellos puntos en los que se unen más de dos huesos y las suturas son amplias son denominados fontanelas. Las suturas y las fontanelas permiten que los huesos del cráneo se superpongan durante el parto. Después del nacimiento, los huesos membranosos vuelven a sus posiciones originales y el cráneo tiene un aspecto grande y redondo. El tamaño de

la bóveda es grande en comparación con la región facial (Sadler, 2019). Varias suturas, así como fontanelas, permanecen membranosas durante un tiempo después del nacimiento, permitiendo que los huesos de la bóveda continúen creciendo para adaptarse al crecimiento posnatal del cerebro. Aunque un niño de cinco a siete años posee casi toda su capacidad craneal, algunas suturas permanecen abiertas hasta la edad adulta (Sadler, 2019). En el desarrollo posnatal, la relación entre el volumen de la cara con respecto al neurocráneo difiere con el transcurso del tiempo, siendo que al nacimiento la proporción es 1:8, al segundo año de vida 1:6, a los cinco años de vida 1:4 y finalmente 1:2 en la edad adulta (Scheuer & Black, 2004).

Al nacimiento, el cráneo ha crecido el 25% de su volumen total, 50% a los seis meses, 75% a los dos años y el 95% de su crecimiento a los diez años. A esta edad, la cara contará con el 65% de su crecimiento. Se ha reportado que el tercio superior de la cara crece de manera más rápida que el resto de los tercios y logra su crecimiento total a la edad de doce años. Por su parte, el tercio medio e inferior completan su desarrollo durante la adolescencia. El aparato masticatorio es el último en culminar su crecimiento, lográndolo entre los dieciocho y veinticinco años (Scheuer & Black, 2004). Por otro lado, el crecimiento facial humano está relacionado con el crecimiento de otras partes del cuerpo, ejemplo de ello es que la altura, tamaño facial y longitud mandibular ocurre en los 9.3, 9.8 y 9.5 años respectivamente, en niñas, mientras que en los niños estos mismos eventos ocurren a los 11.9, 12.0 y 11.9 años respectivamente. En las niñas, la aceleración del crecimiento con respecto a la altura, tamaño de la cara y longitud mandibular ocurre a los 10.9, 11.5 y 11.5 años, en los niños estos eventos ocurren a los 14.0, 14.4 y 14.3 años (Mellion, Behrents & Johnston, 2013). Lo anterior figura una serie de cambios corporales producto del crecimiento, así como los antecedentes de la maduración y donde las evidencias de dimorfismo sexual en cara y cráneo resultan más notorias (Krogman & Isçan, 1986). Cabe destacar que el aspecto adulto de la cara ocurre entre los dieciocho y veinte años, edades en las que existen rasgos distintos, ya sea prematuros o tardíos (Mellion, Behrents & Johnston, 2013).

El envejecimiento facial

El envejecimiento facial es el resultado de diversos factores, tanto intrínsecos como extrínsecos. El envejecimiento no es un proceso homogéneo ni uniforme, los individuos parecen envejecer a ritmos diferentes, sin embargo, este proceso tiene una progresión similar y, por ende,

surgen patrones observables. En cuanto a los aspectos intrínsecos del envejecimiento, éstos se basan principalmente en factores hereditarios. Por otro lado, con factores extrínsecos se hace referencia al resultado de los hábitos, la nutrición y la exposición del individuo a factores nocivos como el tabaquismo y la luz solar ultravioleta (Fedok, 1996).

Estudios han demostrado que a lo largo de la vida ocurre un proceso de remodelación facial ósea en el cual se observan cambios principalmente en el maxilar, mandíbula, glabella y órbitas (Rohrich & Pessa, 2008; Lambros, 2007). Estos cambios óseos generan un cambio drástico en los tejidos blandos subyacentes, así como en los ligamentos de retención de la cara (Farkas, Pessa, Hubbard & Rohrich, 2013) los cuales al atenuarse, otorgan la apariencia de descenso de tejidos blandos, contribuyendo así a la formación de arrugas y cambios morfológicos de la cara (Stuzin, Baker & Gordon, 1992). Los cambios óseos y de tejidos blandos se verán reflejados en la piel, misma que también sufre cambios intrínsecos a lo largo de la vida (Schlessinger, Kenkel & Werschler, 2011).

En conclusión, los cambios morfológicos en la estructura esquelética facial, así como en los tejidos blandos, los ligamentos de retención, los compartimentos grasos y en la piel, contribuyen al envejecimiento facial en grados variables según los factores tanto intrínsecos como extrínsecos (Farkas, Pessa, Hubbard & Rohrich, 2013).

Identidad e identificación

El término identidad hace referencia al conjunto de cualidades o características que distinguen una persona de cualquier otra; dicho lo anterior, una identificación es el acto de establecer esa identidad (Thompson & Black, 2007). Otras definiciones para el término identificación son: “el procedimiento para reconocer a un individuo vivo o muerto, o en sus restos cadavéricos” (López, 2018); “... el método o sistema empleado con objeto de fijar de la manera más segura posible la identidad de una persona en la vida jurídica, evitando que pueda confundirse con otra cualquiera” (Barreto, 1998).

La identificación forense tiene como significado el reconocer si un individuo dubitado, un cadáver o un resto humano corresponden a la persona que se pretende o se busca, partiendo de sus rasgos únicos. Ésta es un proceso comparativo, sistemático y ordenado el cual involucra toda la información disponible, incluyendo información *ante mortem* y *post mortem* (ALAF, 2016). Cabe destacar que este proceso de identificación se da en dos instancias: 1) la científica

en la que intervienen especialidades forenses y presentan un informe sobre sus hallazgos y; 2) la legal en donde la autoridad a cargo de la investigación acepta o rechaza el informe emitido (ALAF, 2016).

INTERPOL clasifica la identidad en dos grupos: 1) la evidencia circunstancial, que es la información relacionada con las pertenencias de la persona, por ejemplo, la ropa, contenido del bolsillo, y también la confirmación visual de la identidad por parte de un pariente, amigo o conocido y; 2) la evidencia física que es proporcionada por el examen externo que se realiza a las características fenotípicas de la persona, como lo es su color de piel, sexo, cicatrices, etc. El examen interno de la evidencia física de identidad se logra a partir de información obtenida a partir de pruebas científicas como lo es el ADN (INTERPOL, 2011; Thompson & Black, 2007).

Como resultado de lo anterior, se puede llegar a una conclusión en una dictaminación sobre la identidad de una persona, clasificándola en alguna de las siguientes categorías:

→ Identidad positiva o confirmada: ocurre cuando se comparan dos conjuntos de información y coinciden los suficientes datos únicos y específicos para concluir que los registros fueron creados a partir del mismo individuo. Esta identificación se puede llevar a cabo mediante huellas digitales, ADN, dentición e incluso condiciones médicas diagnosticadas previamente (Jensen & Andrew, 1999; Thompson & Black, 2007). Cattaneo et al. (2006) mencionan que se debe considerar la evidencia biológica física como la base de la identificación positiva, es decir, en el caso de la descripción de una persona, los instrumentos para lograr la identificación serán tatuajes, cicatrices, anomalías, entre otros; además, como se mencionó, este proceso de identificación se debe apoyar de disciplinas como dactiloscopia, cuyo proceso variará dependiendo de cada caso particular. Cabe destacar que la dactiloscopia y las identificaciones realizadas mediante ADN poseen procesos más estandarizados, así como resultados con sustento cuantitativo; por otro lado, en áreas como antropología y odontología, donde se emplean métodos morfoscópicos para identificación, se debe considerar que no todos sus métodos se encuentran estandarizados con base en estudios estadísticos en poblaciones (Cattaneo et al., 2006).

→ La identidad posible o presunta: ocurre cuando se consideran varios elementos, por ejemplo objetos personales, reconocimiento visual, edad, sexo, estatura, anomalías o rasgos esqueléticos individualizadores (Jensen & Andrew, 1999; Thompson & Black, 2007), pero el emplear únicamente uno de estos elementos no confirma la identidad, por lo que requiere

el apoyo otras evidencias para establecerla. Lo anterior se debe a que los objetos personales, así como las prendas y credenciales de identidad son consideradas como evidencia circunstancial (un individuo puede portar la credencial u accesorios de otra persona), por lo que encontrar este tipo de evidencias en un individuo no identificado no confirma su identidad (Cattaneo et al., 2006).

→ Exclusión: los conjuntos de información proporcionados presentan discrepancias (FGR, 2015). Los datos *ante mortem* y *post mortem* son inconsistentes, presentan discrepancias, razón por la cual se excluye más allá de toda duda razonable (ALAF, 2016).

→ No concluyente: la información y la evidencia *ante mortem* y *post mortem* son insuficientes en cantidad y/o calidad para realizar una comparación, además de que los resultados obtenidos de la comparación no son contundentes e individualizantes (ALAF, 2016; FGR, 2015). Por lo anterior, la identidad de una persona no puede ser comprobada ni excluida, por lo que se recomienda la realización de estudios adicionales (ALAF, 2016).

Identificación facial forense (IFF)

El principal objetivo de la identificación facial forense es distinguir entre una identificación precisa de aquella que no lo es (Valentine & Davis, 2015). El proceso de identificación facial puede llevarse a cabo, en primera instancia, por un testigo, sin embargo, siempre se debe tener presente que la declaración que brinde el testigo puede ser honesta o no y, en el caso de que sea honesta, debe existir la interrogante: ¿es una declaración precisa? (Valentine & Davis, 2015).

Aquellos delitos que han sido capturados por medio de sistemas de videovigilancia con frecuencia requieren la verificación de la identidad de las personas involucradas y, por ende, requieren una identificación basada en los rasgos faciales (Ritz-Timme et al., 2010). Ante estos casos donde se cuenta con evidencia de fotografías, cámaras ubicadas en la vía pública, etc., se puede recurrir a un modelo basado en evidencia y, por medio de un peritaje, se brinda una aproximación más objetiva sobre la identificación de un sospechoso o de alguna persona involucrada (Quinto-Sánchez, 2019).

La identificación facial forense puede dividirse en dos grandes vertientes: identificación de personas vivas y fallecidas (Wilkinson & Rynn, 2012). En la primera vertiente, la identificación de personas vivas, se abordan temas como la comparación de imágenes faciales,

la relación entre los caracteres faciales y la edad (misma que se puede emplear en una progresión o regresión de edad), los algoritmos de reconocimiento automatizado, entre otros. Por otro lado, la identificación de personas fallecidas está orientada a obtener información para poder predecir los rasgos faciales *ante mortem*, incluyendo aspectos como las superposiciones cráneo-cara, reconstrucción facial automatizada, predicción fenotípica, etc. (Wilkinson & Rynn, 2012).

La identificación facial forense según el grupo de trabajo científico de identificación facial

El grupo de trabajo científico de identificación facial (FISWG por sus iniciales en inglés) es un grupo multidisciplinario cuya misión es desarrollar un consenso sobre los estándares, guías y mejores prácticas empleadas en la disciplina de comparaciones de características humanas basadas en imágenes, principalmente faciales, así como brindar recomendaciones para actividades relacionadas con la investigación y el desarrollo de este campo (FISWG, 2018).

De acuerdo con este grupo de trabajo, la identificación facial es un examen manual tanto de las diferencias como de las similitudes entre dos imágenes de la cara y cuya finalidad es determinar si representan a la misma persona o a personas distintas (FISWG, 2018).

Las principales aplicaciones de la identificación facial son las siguientes (FISWG, 2019b):

- Inteligencia para el manejo de la identidad: consiste en la recolección de información que está relacionada con lo que se considera que es un solo individuo, incluso si se desconoce la identidad del mismo.
- Detección y control de acceso: incluye aquellas comparaciones realizadas de imagen a imagen, así como de imagen a persona. Estas comparaciones se relacionan con entornos de alto rendimiento, por lo que se ven limitadas por el tiempo, un ejemplo de su uso son los puntos de control de aduanas.
- Herramienta de investigación y de operaciones: brindan información que no es empleada generalmente ante un tribunal y que auxilian al personal al cumplimiento de su objetivo, por ejemplo, proporcionar a los investigadores un nombre potencial para el sospechoso de algún delito empleando la comparación facial.

→ Identificación forense: consiste en aquellas comparaciones que brindan información para ayudar a esclarecer un caso legal.

Las guías FISWG insisten en la rigurosidad que debe tener una pericial en el campo de la identificación facial forense, por lo que establecen: los roles y la formación para llevar a cabo las tareas de comparación facial (FISWG, 2020), los requisitos forenses para la toma de notas y la presentación de informes (FISWG, 2019a), los estándares para la toma de imágenes faciales (FISWG, 2019c), entre otros.

En cuanto a los métodos para poder aplicar la identificación facial forense, FISWG agrupa los métodos de comparación facial en cuatro categorías: 1) comparación holística; 2) análisis morfológico; 3) fotoantropometría y; 4) superposición. De los métodos mencionados, el grupo de trabajo recomienda el uso del análisis morfológico como el mejor para realizar una comparación facial, además del empleo de la superposición únicamente en combinación con el análisis morfológico. Dentro de sus guías recomiendan que la fotoantropometría no sea empleado para realizar una comparación facial (FISWG, 2019b).

Métodos de comparación facial

La comparación facial forense es el proceso de comparar una cara con otra, a través de cualquier imagen disponible, para determinar si son de la misma persona o no. Este proceso también es conocido como una comparación de imágenes faciales uno a uno o un examen facial (Houlton & Steyn, 2018).

La comparación holística explota una habilidad humana básica: el reconocimiento visual. Este método consiste en evaluar los rasgos faciales de manera simultánea, como un todo, y se comparan con otro rostro o imagen de un rostro. La comparación holística es una práctica empleada en la revisión facial, sin embargo, está asociado a tasas bajas de precisión, por esta razón el grupo de trabajo científico de identificación facial recomienda que su uso se limite únicamente cuando las condiciones operativas impidan el uso de otros métodos (FISWG, 2012b).

El análisis morfológico consiste en una evaluación de la forma, apariencia, presencia y/o ubicación de los rasgos faciales. Esta evaluación se puede realizar de manera global, correspondiente a la cara en general, o de manera local como lo son estructuras anatómicas de la nariz, la boca y sus componentes, por ejemplo, las fosas nasales o los lóbulos de las orejas,

dentro de esta evaluación se incluyen las marcas faciales características distintivas como cicatrices o lunares (FISWG, 2012b).

Según el FISWG, la fotoantropometría es la medición de dimensiones y ángulos de puntos de referencia antropológicos, así como otros rasgos faciales con el fin de cuantificar características y proporciones. Posteriormente, las medidas tomadas de una imagen se comparan con las medidas tomadas de una imagen facial separada. Las conclusiones se basan en umbrales subjetivos para diferencias aceptables entre mediciones. El problema que presenta este método es que la mayoría de las imágenes que se van a emplear para realizar una comparación facial provienen de fuentes de baja resolución, aunado a que la escala no es controlada. Para que los resultados sean confiables, las imágenes que se empleen para realizar la comparación deben cumplir con estos criterios: 1) tener suficiente resolución y foco para hacer visibles las características faciales, 2) mínimos artefactos de compresión, 3) mínima distorsión, 4) mismo campo de visión, 5) mismas condiciones de iluminación, 6) mínimo oscurecimiento, 7) distancia focal conocida, 8) distorsión de lente conocida, 9) distancia al sujeto conocida, 10) ángulo de inclinación de la cabeza conocido, 11) misma relación de aspecto, 12) misma pose, 13) intervalo de tiempo corto entre fotografías, 14) expresión similar. Debido a estas limitaciones descritas correspondientes a los requisitos que deben cumplir las imágenes, el FISWG no recomienda el uso de este método para una comparación independiente ni en conjunto con otro método para la identificación positiva o exclusión (FISWG, 2012b).

Finalmente, la superposición es el proceso de crear una superposición de dos imágenes alineadas y compararlas visualmente con la ayuda de transiciones de imágenes. En este método se emplean técnicas de video o procesamiento de imágenes digitales, las transiciones de imágenes pueden incluir *wipes*, *fades*, y *toggles*. Un *wipe* consiste en una línea recta que atraviesa la pantalla y revela gradualmente la imagen subyacente, de modo que segmentos de ambas imágenes con total opacidad se pueden observar simultáneamente. En un *fade*, una imagen se reemplaza progresivamente por otra imagen cambiando gradualmente la transparencia de las capas de la imagen, de modo que la totalidad de ambas imágenes se observe simultáneamente con una transparencia reducida. En un *toggle*, cada imagen se muestra durante un breve período de tiempo, fracción de segundo, con total opacidad. La superposición se usa comúnmente en conjunto con otros métodos (FISWG, 2012b).

Análisis no métrico, morfoscópico o visual

Como ya se mencionó anteriormente, el análisis morfoscópico consiste en una evaluación de la forma, apariencia, presencia y/o ubicación de los rasgos faciales (FISWG, 2012b).

Este análisis es considerado como un método altamente subjetivo, especialmente cuando los criterios para la comparación facial están lejos de ser ideales, ejemplo de ello es cuando se utilizan diferentes ángulos de cámara al momento de tomar una fotografía (Stephan et al., 2018). Debido a esta subjetividad se han desarrollado una variedad de listas sobre las características faciales a evaluar (Vanezis et al. 1996; FISWG, 2013), así como atlas de clasificación facial (Ritz-Timme et al., 2011; Ritz-Timme et al., 2010), sin embargo, no se ha logrado una taxonomía estándar (Stephan et al., 2018; FISWG, 2012b). A pesar del empleo de esquemas de clasificación facial, hay estudios que indican que existen diferencias entre observadores al momento de realizar la evaluación (Ritz-Timme et al., 2010). Lo anterior puede deberse a que diferentes analistas pueden clasificar las mismas características faciales de manera diferente e incluso un mismo analista puede ser inconsistente en sus evaluaciones a lo largo del tiempo (Valentine & Davis, 2015).

Morfometría geométrica como elemento rector de la caracterización morfológica facial

La morfometría geométrica es la combinación entre las herramientas empleadas en geometría y de la biología (Bookstein, 1997). Por medio de esta técnica se estudia la variación de la forma y tamaño con los que es posible llevar a cabo la identificación de una persona por medio de su fenotipo facial (Quinto-Sánchez, 2019).

La morfometría geométrica procura representar al sujeto de estudio mediante la posición en la que se encuentren los *landmarks*, mismos que se pueden ubicar con precisión y establecer una correspondencia uno a uno entre todas las muestras incluidas en el análisis (Klingenberg, 2011). Se entiende por forma a toda información obtenida que es invariante a los efectos de traslación, escala y rotación (Slice, 2005). Esta información sobre la forma se obtiene mediante la superposición de *Procrustes*, que elimina la variación en el tamaño, la posición y la

orientación de los datos en coordenadas de puntos de referencia (Zelditch et al., 2004). Las coordenadas obtenidas pasan por un análisis de estadística multivariada (Klingenberg, 2011).

La base de la morfometría geométrica es la identificación y cuantificación de los puntos de referencia o *landmarks* (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007). Empleando estos puntos de referencia se puede analizar la forma y tamaño de un objeto al capturar su estructura, lo que se lleva a cabo al momento de realizar el *landmarking* o fenotipado (Torcida & Pérez, 2012), es decir, posicionar en cada uno de los sujetos de estudio los puntos anatómicos a emplear, siguiendo un orden estricto (Quinto-Sánchez, 2019). Este procedimiento se puede realizar en una imagen bidimensional o tridimensional (Torcida & Pérez, 2012) empleando *softwares* como TPSDig (2D), ImageJ (2D), Geomorph (2D y 3D), PhotoModeler (3D por fotogrametría) o Landmark (3D en escaneos de superficie o reconstrucciones de Tomografía Axial Computarizada). En todos los casos el resultado obtenido de este procedimiento es un archivo con las coordenadas de los *landmarks* 2D o 3D (Quinto-Sánchez, 2019).

Una de las ventajas del empleo del método métrico es la preservación de la geometría completa de las muestras de estudio y la generación de resultados gráficos claros de cambios de forma asociados (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007). Las diferencias que pueden existir en la forma entre especímenes individuales o grupos de especímenes se analizan como el desplazamiento que es percibido en los puntos de referencia de cada espécimen. Estas diferencias se deben de cuantificar y evaluar para valorar su impacto en los datos que se interpretan (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007).

En un estudio reciente publicado por Kleinberg, Vanezis & Burton (2007), se emplea un programa de medición en el que un investigador localiza cuatro puntos de referencia faciales (exocantion, nasion y stomion), en este estudio se argumenta la poca utilidad de la antropometría como medio de identificación debido a la poca discriminación hallada al emplear los puntos de referencia mencionados. Sin embargo, la complejidad craneofacial, al ser una estructura irregular en cuanto a sus dimensiones (White & Folkens, 2005), limita que su forma sea representada con el uso de pocas distancias, además de que entre mayor esté representada la forma de la cara, se obtendrá mayor poder de discriminación (Quinto-Sánchez, 2019).

Landmarks

Un *landmark* es definido como un punto de correspondencia, que se encuentra sobre un objeto, que coincide entre y dentro de las poblaciones (Dryden & Mardia, 1998). De acuerdo con Zelditch et al. (2004), un *landmark* es un *loci* que puede ser ubicado fácilmente y en repetidas ocasiones, aun cuando se cambie al individuo de estudio.

Otra definición para *landmark* es un punto en el espacio bidimensional o tridimensional que corresponde a la posición de un rasgo particular (Bookstein, 1996).

Bookstein (1991) distinguió tres tipos de *landmarks*:

- **Tipo I:** son aquellos que cuentan con evidencia biológica de su presencia en todos los individuos. Por ejemplo, un foramen o el punto donde se unen dos o más suturas.
- **Tipo II:** aquellos cuya homología se sostiene meramente con evidencia geométrica, por ejemplo, puntos de máxima curvatura.
- **Tipo III:** son puntos con al menos una coordenada ambigua, es decir, no hay mucho sustento biológico para la ubicación del mismo. Un ejemplo de éstos son los extremos de un diámetro máximo o el punto inferior de una concavidad. Debido a su naturaleza imprecisa, Bookstein revisó esta tipología y denominó *semilandmarks* a este último grupo (Bookstein, 1997).

La ventaja del uso de los *landmarks* en remplazo de las distancias lineales es que en muchos casos estas últimas no consiguen capturar la configuración espacial específica de la estructura que se estudia, problema que se ha solucionado con el empleo de *landmarks* (Adams, Rohlf & Slice, 2004). Una vez obtenidas las coordenadas cartesianas de los *landmarks* de una estructura es posible estudiar su forma y tamaño (Torcida & Pérez, 2012).

Elección de landmarks

Los *landmarks* se eligen con la finalidad de cubrir toda la estructura de estudio, procurando siempre la mayor precisión anatómica para lograr una mejor captura de la forma real del objeto. En la elección de *landmarks* se debe considerar que no haya un número excesivo de puntos de referencia ni tampoco que éstos sean ambiguos (Klingenberg, 2010a).

Existen protocolos sobre el número de *landmarks* faciales necesarios para una caracterización morfogeométrica, entre éstos se menciona que se deben emplear 17 puntos (Klingenberg et al., 2010b), 21 puntos (Toma et al., 2012), 22 puntos (Paternoster et al., 2012),

26 puntos (Viðarsdóttir, O'Higgins, & Stringer, 2002; Farrera, García-Velasco, & Villanueva, 2016), 34 puntos (Quinto-Sánchez et al., 2015, 2017, 2018), 42 puntos (Ercan et al., 2008), 53 puntos (Liao, Jin & Zeng, 2012), 73 puntos (Fagertun et al., 2015), además de los que mencionan el escaneo facial total como método de análisis (Djordjevic et al., 2013).

En el caso de la identificación facial forense, el protocolo de *landmarks* debe tener una distribución uniforme en la cara con la finalidad de representar mejor la varianza del rostro. Un protocolo que emplee treinta y cuatro puntos de referencia es suficiente para caracterizar la forma de la cara, empleando veintiséis puntos de referencia como mínimo (Quinto-Sánchez, 2019).

Análisis hiperdimensional multivariado

El análisis de datos multivariados hace referencia a cualquier técnica estadística para analizar conjuntos de datos multivariados. Este conjunto de datos multivariados consta de mediciones sobre dos o más variables (Nikita, 2016). Lo que se conoce como análisis hiperdimensional multivariado tiene sustento en la caracterización poblacional, misma que representa al conjunto de metodologías que son aplicadas al análisis de formas biológicas (Slice, 2005).

El análisis generalizado de *Procrustes* consiste en la transformación euclidiana de los datos. Esta transformación conserva la forma del objeto, pero elimina los efectos de rotación, traslación y escala en las mediciones realizadas. Gracias a ello los datos se llevan a un punto estándar para poder ser trabajados con técnicas de estadística multivariada (Goodall, 1991).

La superposición de *Procrustes* comienza con la configuración de las coordenadas de puntos de referencia, tal como fueron colocados, y elimina sucesivamente las variaciones de tamaño, posición y orientación. Este procedimiento inicia escalando las configuraciones a un tamaño estándar, moviéndolas a una posición estándar (Klingenberg, 2010a), así como realizar la rotación de la configuración al mover los puntos usando un ángulo fijo (Torcida & Pérez, 2012). Lo anterior está representado gráficamente en la Figura 7. Este análisis permite estudiar las diferencias de forma entre estructuras que son representadas por configuraciones de *landmarks* (Dryden & Mardia, 1998; Adams, Rohlf & Slice, 2004).

La regresión multivariada es un tipo de análisis en el que las variables dependientes se predicen o explican a partir de las variables independientes (Klingenberg, 2010a). La

importancia de este análisis es que permite la predicción de la forma del objeto para cierta variable independiente, además de determinar el poder explicativo de la variable dependiente. Por último, este análisis ayuda a conocer qué factor está causando la variación de la forma (Monteiro, 1999).

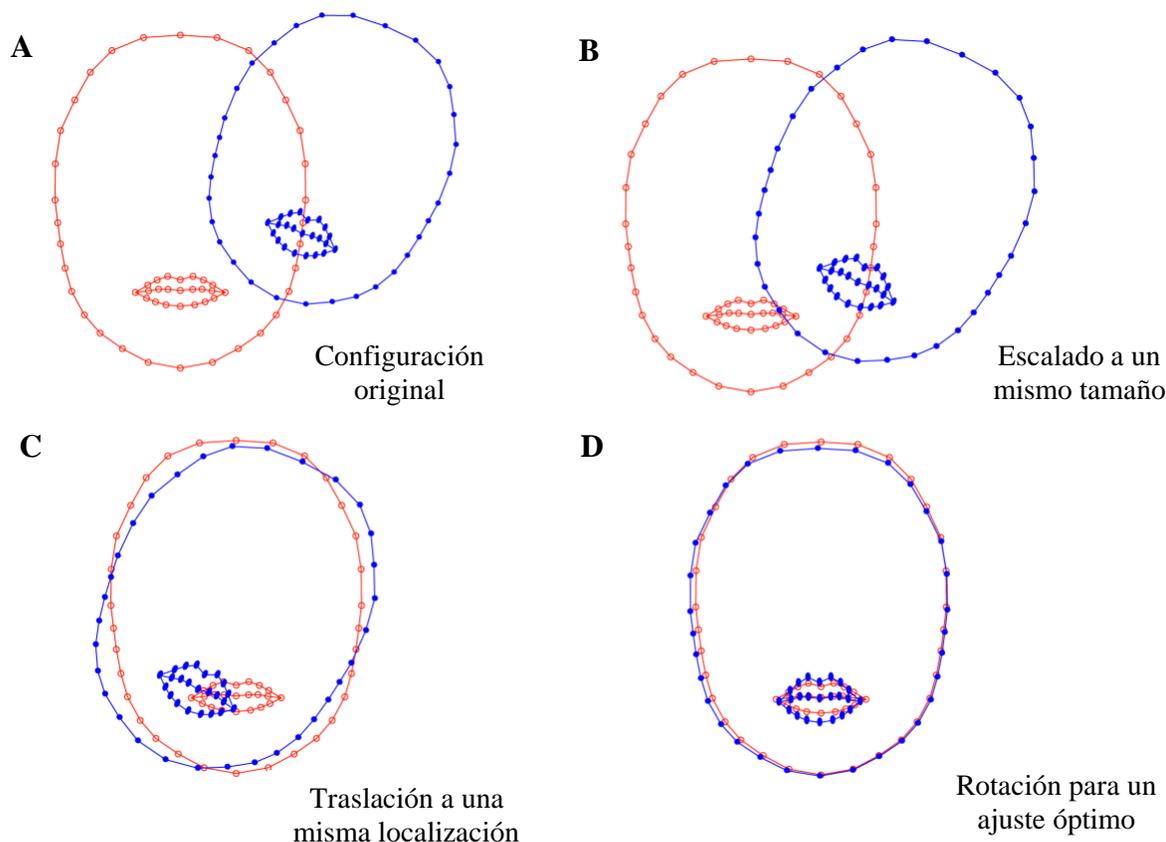


Figura 7. Representación gráfica de los pasos realizados en el Análisis Generalizado de *Procrustes*.

Dentro de las técnicas empleadas para reducir los datos multidimensionales a dimensiones más bajas, es decir, para reducir el número de variables, conservando la mayor parte de la información sobre la existencia de conglomerados en el conjunto de datos, se encuentra el análisis de componentes principales (ACP) (Nikita, 2016). El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, aumentando la interpretabilidad y, al mismo tiempo, minimizando la pérdida de información (Jolliffe & Cadima, 2016).

En esta técnica, a partir de un conjunto de datos de variables interrelacionadas se obtiene un nuevo conjunto de variables conocidas como componentes principales, mismos que no están correlacionados, cabe mencionar que los primeros de estos componentes principales retienen la mayor parte de la variación presente en todo el conjunto de datos (Roessner et al., 2011). En otras palabras, el ACP es un análisis multivariado que proporciona un nuevo sistema de coordenadas cuyos ejes, los componentes principales, representan la cantidad máxima de varianza (Klingenberg, 2010a).

El análisis de componentes principales se puede emplear para examinar las características de la variación de la forma en una muestra y como un análisis de ordenación para analizar la posición de las muestras en el morfoespacio (Klingenberg, 2011).

Por otro lado, el análisis de variantes canónicas es un análisis multivariado que encuentra nuevas variables de forma, mismas que maximizan la separación entre grupos en relación con la variación dentro de los grupos (Klingenberg, 2010a). Este análisis tiene el propósito de simplificar la descripción de las diferencias entre grupos. Al igual que el análisis de componentes principales, el análisis de variantes canónicas genera un nuevo sistema de coordenadas (las variantes canónicas), sin embargo, mientras el análisis de componentes principales se usa para describir diferencias entre individuos, el análisis de variantes canónicas se emplea para describir diferencias entre las medias de los grupos (Zelditch et al., 2004).

Finalmente, el análisis de conglomerados o *clusters*, comprende varias técnicas de clasificación estadística en las que, de acuerdo con una medida específica de similitud, las observaciones se subdividen en grupos (*clusters*) de manera que las observaciones dentro un conglomerado son muy similares entre sí y, a la vez, se diferencian de otros conglomerados. El resultado principal de este análisis es un dendrograma en el cual se visualiza cómo se forman los grupos (Nikita, 2016).

Importancia de la estimación de error intraobservador en estudios de identificación facial forense

La importancia de la confiabilidad del evaluador radica en el hecho de que representa la medida en que los datos recopilados en el estudio son representaciones correctas de las variables medidas. La medición del grado en que los recolectores de datos o evaluadores asignan la misma puntuación a la misma variable se llama confiabilidad entre evaluadores (McHugh, 2012).

La confiabilidad de la recopilación de datos es un componente de la confianza general en la precisión de un estudio. Existen dos categorías de confiabilidad con respecto a los recolectores de datos: 1) la confiabilidad entre evaluadores, misma que ocurre con varios recolectores de datos y; 2) la confiabilidad de un solo recolector de datos, denominada confiabilidad intraevaluador (McHugh, 2012).

Un factor que puede propiciar un error de medición es la variabilidad interobservador e intraobservador, misma que es posible estimar por medio de estudios de concordancia que tienen por objetivo estimar hasta qué punto dos observaciones coinciden en su medición. Estadísticamente, la manera de abordar el problema depende de la naturaleza de los datos de estudio (Cerde & Villarroel, 2008). Cuando los datos son de tipo categórico el test que más se emplea es el de Kappa (López & Pita, 1999).

Jacob Cohen en 1960 introdujo el coeficiente kappa de Cohen, desarrollado para explicar la posibilidad de que los evaluadores adivinen al menos algunas variables. El coeficiente kappa de Cohen (k) es una prueba estadística que puede ser empleada para las pruebas de confiabilidad interobservador o intraobservador. Esta prueba puede variar de -1 a $+1$, donde, mientras el resultado se acerque a $+1$, significa que el grado de concordancia es mayor y, mientras más se acerque a -1 el grado de discordancia es mayor. Si el resultado es 0 , la interpretación que se le da es que la concordancia observada es la que se espera a causa exclusivamente del azar (McHugh, 2012; Cerde & Villarroel, 2008). Dicho de otra manera, un valor de kappa entre $0-0.2$ tendría ningún nivel de acuerdo; entre $0.21-0.39$ existiría un nivel de acuerdo mínimo; entre $0.40-0.59$ tendría un nivel débil de acuerdo; $0.60-0.79$ moderado; $0.80-0.90$ se considera un nivel de acuerdo fuerte y; >0.90 se interpreta como un nivel de acuerdo casi perfecto (McHugh, 2012).

Un problema común en la morfometría geométrica es el conocido error de medición, mismo que es definido como la variación que existe entre las mediciones de una misma

característica particular en el mismo sujeto de estudio, esto no incluye la variación individual existente (Bailey & Byrnes, 1990).

En morfometría geométrica los resultados obtenidos son derivados de mediciones que pueden ser variantes en precisión, lo que significa que no tienen un parecido exacto, cuantitativamente hablando, entre cada repetición de las mediciones realizadas (Yezerinac, Loughheed & Handford, 1992). Por la razón anterior, el error de medición puede verse exacerbado por diversos factores que pueden provocar un aumento en la variación de las mediciones realizadas en un mismo sujeto de estudio (Arnqvist, & Martensson, 1998).

Tratándose de datos cuantitativos, uno de los métodos empleados para estimar el grado de error es el descrito por Singleton (2002), que calcula las desviaciones absolutas de cada *landmark* a la media y, posteriormente, calcula el error de la media de las raíces cuadradas que existe entre las diferentes mediciones realizadas al mismo sujeto de estudio para así evaluar la repetitividad de estos puntos de referencia.

A pesar de que existen varios métodos para determinar el error de medición en datos cuantitativos, no hay un consenso general sobre las metodologías adecuadas para evaluar el error, ni hubo evidencia de debate sobre la validez relativa de algún método sobre otro (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007).

Quinto-Sánchez (2019), recomienda que para la estimación de error se elabore el fenotipado o *landmarking* en dos momentos independientes para así asegurar que el error no sea un factor de análisis. Para garantizar la reproducibilidad de los datos generados por el investigador, se tiene que conocer el error generado y no confundirlo con los valores de error del modelo empleado, por lo que las pruebas de error son una necesidad imperante en estudios de caracteres no métricos y métricos.

METODOLOGÍA

Muestra de estudio

De la base de datos del Consorcio para el Análisis de la Diversidad y Evolución de Latinoamérica (CANDELA) se tomó una muestra al azar de 600 fotografías, de los cuales, 300 son masculinos y 300 femeninos.

Todas las fotografías de la muestra se tomaron manualmente a 1.5m de distancia del sujeto y a nivel de los ojos, empleando una cámara Nikon D90 y una lente Nikkor AF de 50 mm, con una apertura de $f/11$, una profundidad de campo de 40cm y empleando como *flash* el integrado a la cámara. Las fotografías faciales fueron capturadas empleando métodos fotogramétricos aplicados a tres series, cada una de las cuales consta de cinco fotografías digitales partiendo del lado izquierdo (0°), ángulo izquierdo (45°), frontal (90°), ángulo recto (135°), y vistas del lado derecho (180°) (Quinto Sánchez et al., 2015).

Las fotografías empleadas para el presente estudio fueron únicamente las de tomas frontales (90°) donde el individuo tiene una expresión facial neutra. Además de lo mencionado, se verificó que no influyan en el estudio variables como vello facial, colapso de tejidos faciales, inclinaciones considerables y, en general, se emplearon aquellas fotografías que se ajustaron al criterio de mejora de fotografía establecido en el protocolo del FISWG (2019c). Cabe destacar que todos los individuos de la muestra son mayores de edad (≥ 18 años) y menores de 40 años, obteniendo una edad promedio de 23.8 años.

Tabla 1. Distribución de la muestra.

| <i>Rango de edad</i> | <i>Masculinos</i> | <i>Femeninos</i> |
|----------------------|-------------------|------------------|
| 18-20 | 88 | 144 |
| 21-30 | 162 | 120 |
| 31-40 | 50 | 36 |

Además de contar con las edades de los individuos, también se conoce el Estado de la República de donde provienen, así como su ancestría e índice de masa corporal. Cabe destacar que, de acuerdo con la base de datos, la muestra se agrupó por regiones de México (norte, centro y sur) con base en la propuesta de agrupación de Ortiz (2020), por lo que la distribución de la muestra por regiones de México corresponde a lo siguiente: el 88.6% pertenece a la región centro, el 8.6% pertenece a la región sur y el 2.6% de la muestra pertenece a la región norte.

Finalmente, la distribución de la muestra de acuerdo con la ancestría es la siguiente: el 84.5% son mestizos, el 13% americanos y el 2.5% europeos.

Fenotipado

Caracterización por método no métrico

Cada una de las 600 fotografías frontales fueron evaluadas con el método morfoscópico, evaluando su clasificación para 12 características faciales empleando el esquema de clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). Las características evaluadas se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Características faciales evaluadas empleando el esquema de clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009).

| <i>Característica facial evaluada y descripción</i> | <i>Clasificaciones</i> |
|--|---|
| <i>Forma de la cara: contorno de la cara en vista frontal.</i> | 1. Redonda 2. Oval 3. Rectangular 4. Pentagonal (mandíbula pronunciada) 5. En forma de cuña 6. Pentagonal (pómulos pronunciados) |
| <i>Altura del filtrum: distancia entre el bermellón superior y la línea base nasal, en vista frontal.</i> | 1. Baja 2. Promedio 3. Alta |
| <i>Profundidad del filtrum: grado de impresión entre el bermellón superior y la línea base nasal, en vista frontal.</i> | 1. Superficial 2. Profunda |
| <i>Forma del filtrum: posición de los bordes del filtrum entre sí en vista frontal.</i> | 1. Bordes paralelos 2. Bordes divergentes |
| <i>Muesca del labio superior: borde superior del bermellón en vista frontal.</i> | 1. Relativamente recto 2. Ondulado 3. Angular |
| <i>Orientación de la esquina de la boca: disposición de los extremos de la boca en expresión neutral, vista frontal.</i> | 1. Ligeramente hacia arriba 2. Derecha 3. Ligeramente hacia abajo |
| <i>Forma de hendidura de boca: hendidura de la boca en expresión neutral, vista frontal.</i> | 1. Derecha 2. Hacia arriba 3. Hacia abajo 4. Ondulada |
| <i>Amplitud labial: Distancia entre las comisuras labiales en expresión neutral, vista frontal.</i> | 1. Estrecha 2. Promedio 3. Ancha |
| <i>Bermellón superior: altura del bermellón superior en relación con la boca en vista frontal.</i> | 1. Delgado 2. Promedio 3. Amplio |
| <i>Bermellón inferior: altura del bermellón inferior en relación con la boca en vista frontal.</i> | 1. Delgado 2. Promedio 3. Amplio |
| <i>Forma del mentón: forma del mentón en vista frontal.</i> | 1. Redondo 2. Cuadrado 3. Puntigudo |
| <i>Altura del mentón: distancia entre el bermellón inferior y el punto más inferior del mentón en relación con la totalidad de la cara en vista frontal.</i> | 1. Baja 2. Promedio 3. Alta |

Caracterización por morfometría geométrica

El proceso de *landmarking* o fenotipado se realizó empleando los *softwares* TPSDig232 (Rohlf, 2004), tpsUtil64 (Rohlf, 2008) (para indicar cuales son los *landmarks* tipo III) y tpsrelw32 (Rohlf, s.f.) para conocer los vectores formados por los puntos de referencia.

Para este proceso se emplearon 17 *landmarks* tipo I y 42 *landmarks* tipo III, mismos que se encuentran mencionados y descritos en la tabla 3. La referencia anatómica del *landmarking* se muestra en la figura 8.

Tabla 3. Landmarks y semilandmarks empleados en el presente estudio. Definición elaborada a partir de Farrera, García-Velasco y Villanueva (2016).

| <i>Número frontal</i> | <i>Landmark</i> | <i>Definición</i> |
|-----------------------|-----------------|--|
| 1 | Trichion | Punto medio de la línea del cabello |
| 2 | Nasion | El punto en el plano sagital al nivel de la esquina interna de los ojos |
| 3, 4 | Endocanthion | La esquina interna de la fisura del ojo donde los párpados se encuentran |
| 5, 6 | Zygion | El punto más externo en el margen de la cara debajo de los ojos |
| 7 | Subnasal | La unión entre el borde inferior del tabique nasal |
| 8, 9 | Gonion | El punto de proyección más externo de la cara a lo largo del eje horizontal de la boca |
| 10, 11 | Chelion | La esquina externa de la boca donde se unen los labios superior e inferior |
| 12, 13 | Crista Philtre | El punto en la cresta del <i>filtrum</i> , sobre la frontera del bermellón |
| 14 | Labial superior | El punto medio del borde bermellón del labio superior |
| 15 | Stomion | El punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente |
| 16 | Labial inferior | El punto medio del borde bermellón del labio inferior |
| 17 | Gnathion | El punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla |
| 18-43 | | <i>Semilandmarks</i> para la forma de la cara |
| 44-59 | | <i>Semilandmarks</i> para la forma de los labios |

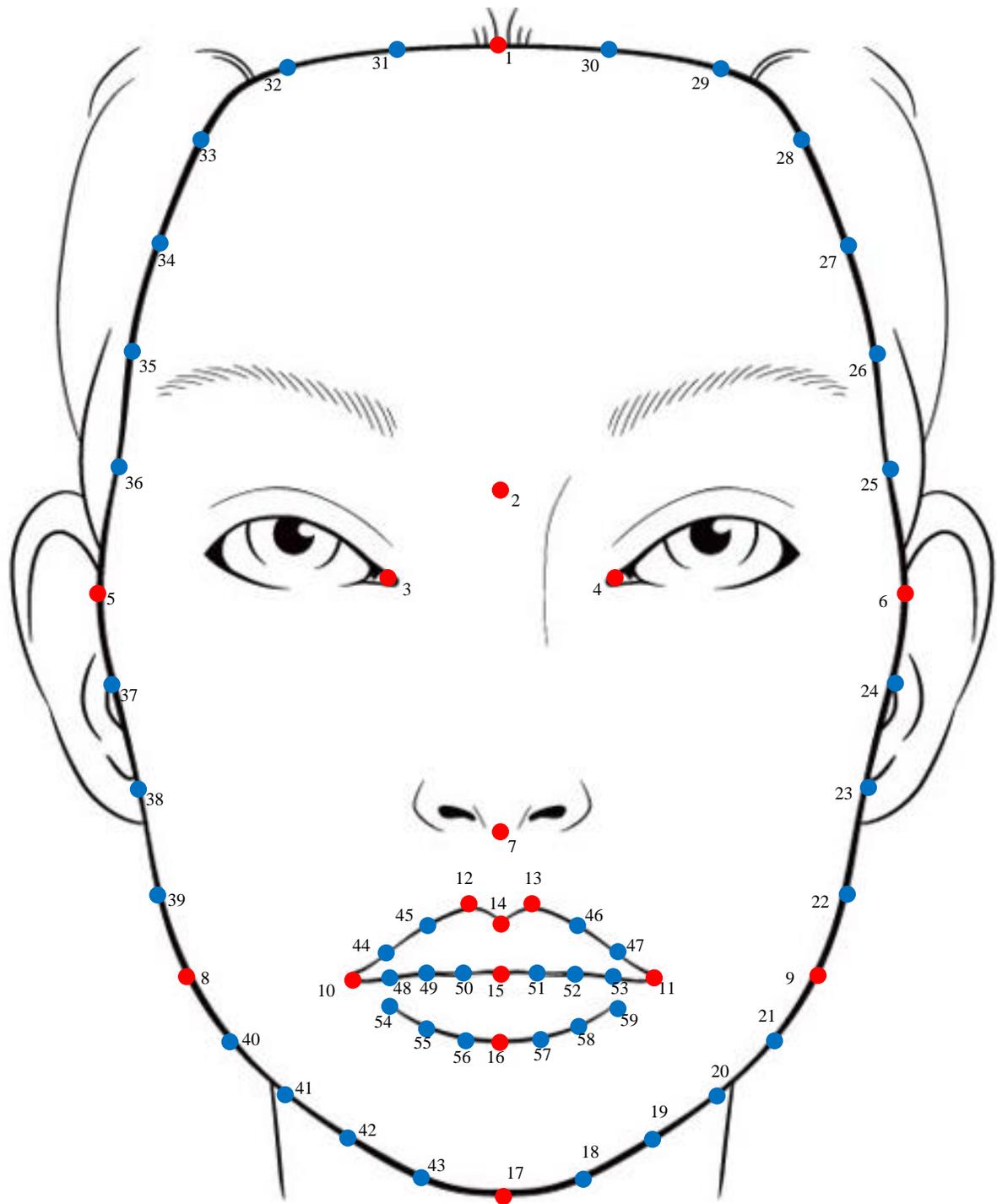


Figura 8. Localización anatómico-espacial de *landmarks* tipo 1, representados por los puntos rojos (1-17) y *semilandmarks*, representados por los puntos azules (18-59), que se emplearon en el presente estudio.

Imagen modificada de *Google Images*

(<https://i.pinimg.com/originals/9a/e3/1d/9ae31daddfc3525220b5108c23d4fde6.jpg>).

Módulos faciales para la validación de las clasificaciones No-Métricas

Las características evaluadas fueron validadas empleando módulos o *subsets* a partir de los *landmarks* colocados, obteniendo lo siguiente:

- A. **Forma de la cara:** considerando que la forma de la cara es el contorno facial en vista frontal, para su validación se emplearon los *landmarks* Trichion (1), Zygon (5 y 6), Gonion (8 y 9), Gnathion (17) y los *semilandmarks* 18 al 43.
- B. **Altura del *filtrum*:** debido a que contempla la distancia entre el bermellón superior y la línea base nasal, en vista frontal, se emplearon los *landmarks* Subnasal (7), Crista Philtre (12 y 13) y labial superior (14).
- C. **Muesca del labio superior:** esta característica contempla al borde superior del bermellón superior en vista frontal. Para su validación se emplearon los *landmarks* Crista Philtre (12 y 13), labial superior (14) y los *semilandmarks* 45 y 46.
- D. **Orientación de la esquina de la boca:** corresponde a la disposición de los extremos de la boca en expresión neutral. Para la validación de esta característica se emplearon los *landmarks* Chelion (10 y 11), así como los *semilandmarks* 48, 49, 52 y 53.
- E. **Forma de la hendidura de la boca:** para la validación de la hendidura de la boca se emplearon los *landmarks* Chelion (10 y 11), Stomion (15) y los *semilandmarks* 48 al 53.
- F. **Amplitud labial:** esta característica corresponde a la distancia entre las comisuras labiales en expresión neutral. Para su validación se emplearon los *landmarks* Chelion (10 y 11) y Stomion (15).
- G. **Bermellón superior:** esta característica hace referencia a la altura del bermellón superior, por lo que para su validación se emplearon los *landmarks* Crista Philtre (12 y 13), labial superior (14) y Stomion (15).
- H. **Bermellón inferior:** esta característica hace referencia a la altura del bermellón inferior, por lo que para su validación se emplearon los *landmarks* Stomion (15), labial inferior (16), así como los *semilandmarks* 56 y 57.
- I. **Forma del mentón:** para la validación de esta característica se emplearon los *landmarks* Gnathion (17), Gonion (8 y 9), así como los *semilandmarks* 18 a 21 y 40 a 43.
- J. **Altura del mentón:** esta característica hace referencia a la distancia entre el bermellón inferior y el punto más inferior del mentón en relación con la totalidad de la cara en vista

frontal, por lo que para su validación se emplearon los *landmarks* labial inferior (16), Gnathion (17) los *semilandmarks* 43 y 18.

Cabe mencionar que la forma del *filtrum* no pudo ser validada debido a que no se colocaron *landmarks* en los bordes de dicha característica. Además, la profundidad del *filtrum* tampoco pudo ser validada debido a que dicha característica se refiere al grado de impresión entre el bermellón superior y la línea base nasal, por lo que a partir de imágenes bidimensionales no se pudo determinar dicho grado de impresión empleando morfometría geométrica 2D.

Diseño experimental

Estimación de error intraobservador

Se realizó una prueba de error intraobservador empleando 15 fotografías frontales de individuos femeninos elegidos al azar, esta estimación se dividió en los dos métodos empleados:

A) Para el método no métrico, se realizó la clasificación de características faciales empleando el atlas *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009), las clasificaciones se realizaron en cinco periodos de tiempo distintos, realizando así una evaluación cada tres días, la estimación de error intraobservador de este método se realizó empleando el recurso estadístico de índice kappa de Cohen (McHugh, 2012; Cerda & Villarroel, 2008), calculado mediante el programa R en su versión 3.6.2. (RStudio team, 2019). Cabe recordar que el coeficiente kappa de Cohen (k) puede variar de -1 a $+1$, donde, mientras el resultado se acerque a $+1$, significa que el grado de concordancia es mayor y, mientras más se acerque a -1 el grado de discordancia es mayor. Si el resultado es 0 , la interpretación que se le da es que la concordancia observada es la que se espera a causa exclusivamente del azar (McHugh, 2012; Cerda & Villarroel, 2008). Una vez obtenidos los índices, se compararon las evaluaciones y se determinó el carácter facial con discrepancia. Lo anterior se realizó observando si cada característica presentaba dos o más clasificaciones distintas dentro de una misma fotografía.

B) En cuanto al método morfogeométrico, empleando las fotografías mencionadas en el párrafo anterior, se realizó el procedimiento de *landmarking* empleando los *softwares* TPSDig232 (Rohlf, 2004), tpsUtil64 (Rohlf, 2008) (para indicar los *semilandmarks*) y tpsrelw32 (Rohlf, s.f.) para conocer los vectores formados por los puntos de referencia. Este procedimiento de *landmarking* se realizó en cinco periodos de tiempo distintos, realizando así el fenotipado cada tres días y, una vez teniendo el archivo de coordenadas de los puntos de referencia, se

analizó empleando el programa MorphoJ en su versión 1.07a (Klingenberg, 2011) con la finalidad de conocer si la diferencia entre las medidas es significativa. Empleando el mismo *software* MorphoJ, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con la finalidad de estudiar las relaciones que se presentan entre las variables. Además de realizar un análisis de componentes principales para observar la variación de la forma y emplearlo como método de orientación sobre las relaciones entre las observaciones (Klingenberg, 2011), se realizó un análisis de Singleton (Singleton, 2002), mismo que calcula las desviaciones absolutas de cada *landmark* a la media y, posteriormente, calcula el error de la media de las raíces cuadradas que existe entre las diferentes mediciones realizadas al mismo sujeto de estudio para así evaluar la repetitividad de estos puntos de referencia (Singleton, 2002). En la documentación del error intraobservador se muestra el error cuadrático medio (RMSE) que es el cálculo de la raíz de las sumas cuadradas medias, en este caso, dentro de los grupos (intraobservador) para el ANOVA de las distancias de los *landmarks*; los valores se expresan en milímetros. Los errores porcentuales de la raíz cuadrática media (% RMSE) se calculan en relación con la media ($RMSE/\bar{X} \times 100$). La media de RMSE y el porcentaje de errores se calculan como el valor medio de todos los puntos de referencia (Singleton, 2002).

Aproximación No-métrica

Análisis de componentes principales

Con la matriz resultante del *Fenotipado: caracterización por método no métrico* según el atlas de clasificación de Ohlrogge y colaboradores (2009), se realizó un análisis de componentes principales de toda la muestra con la finalidad de conocer cuales de las características faciales evaluadas explicaban más el modelo. De igual manera se realizó un análisis de componentes principales de toda la muestra por sexo para así conocer si había dimorfismo sexual y, además se realizó una prueba de hipótesis ji-cuadrada para conocer si alguna de las características faciales evaluadas era dependiente del sexo. Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales de individuos masculinos y femeninos con la finalidad de conocer cuales de las características faciales evaluadas explicaban más el modelo dependiendo del sexo y, de igual manera, se realizó un análisis discriminante para explorar la discriminación entre cada uno de los grupos de forma multivariante.

Frecuencias para la forma facial y labial

Finalmente, se realizó una tabla en la que se indican las frecuencias de la morfología labial y facial de la población mexicana, conociendo así el tipo facial y labial con mayor y menor frecuencia. Además, las frecuencias obtenidas fueron comparadas con los resultados obtenidos por Ritz-Timme y colaboradores (2011) sobre su estudio de las características faciales de población originaria de tres países: Alemania, Italia y Lituania.

Una vez obtenidas las frecuencias de la morfología labial y facial de la población mexicana, se realizaron gráficas de barra circulares de las mismas de acuerdo con el sexo, lo anterior con la finalidad de optimizar la visualización de los datos obtenidos. Las gráficas mencionadas fueron elaboradas a partir de la tabla generada y empleando el programa RStudio (RStudio team, 2019).

Aproximación morfogeométrica: Análisis hiperdimensional multivariado

Caracterización de individuos fuera de la variación normal

Por medio del *software* MorphoJ (Klingenberg, 2011), se realizó una evaluación de los individuos que se encuentran en los puntos más extremos de la muestra. Este *software*, mediante su herramienta *outliers*, es capaz de indicar la desviación de la forma de un individuo con respecto al promedio de la muestra, además de desglosar un diagrama que indica la distancia de cada individuo a la forma promedio empleando distancias de Mahalanobis, misma que proporciona información de qué tan inusual puede llegar a ser un individuo con respecto a los otros individuos de la muestra (Klingenberg, 2011; Jasso, 2019).

Posteriormente, se verificó que las variaciones identificadas sean producto de la morfología de los individuos y no se trate de un error de digitalización. Cualquier individuo fuera de este criterio o que no pueda ser corregido, se eliminó de la muestra.

Regresión multivariada: edad, índice de masa corporal y sexo

A partir del archivo de coordenadas generado en el proceso de *landmarking*, con la finalidad de conocer la posible dependencia lineal entre la forma facial y labial con las covariables de edad, ancestría, índice de masa corporal y sexo, se realizó una regresión

multivariada. Este análisis se llevó a cabo empleando el *software* MorphoJ (Klingenberg, 2011), en el cual, se cargan las covariables mencionadas y posteriormente se seleccionan los componentes a graficar, señalando al componente simétrico como variable dependiente y las covariables como variable independiente. Cabe destacar que no se evaluó el tamaño debido a que las fotografías empleadas en la muestra no cuentan con escala, además de que el objetivo de la investigación es el análisis de la variación de la forma.

Morfoespacio: Análisis de componentes principales de la variación de la muestra

Una vez realizado el *landmarking*, empleando el *software* MorphoJ (Klingenberg, 2011), se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP), cuyos resultados arrojan la varianza total calculada para cada uno de los fenotipados realizados, además de que estos resultados fueron graficados, permitiendo así observar el patrón que presentan las repeticiones realizadas. Este análisis es de utilidad para examinar las características principales de la variación de la forma donde, a partir de los resultados generados, se obtiene un morfoespacio o fenoespacio que permite visualizar las relaciones que presentan los individuos sujetos a análisis (Klingenberg, 2011).

Validación de las clasificaciones no-métricas en el morfoespacio geométrico

Validación de la discretización para las 12 formas faciales

Para cada una de las 12 formas faciales evaluadas en la clasificación facial, se validó si la discretización de estas formas tenía una pertinencia discreta o subdiscreta, usando *subsets* de *landmarks* de la aproximación morfogeométrica, mismos que se encuentran descritos en el apartado de “Módulos faciales para la validación de las clasificaciones No-Métricas”.

Para cada *subset* o módulo facial, empleando el *software* MorphoJ (Klingenberg, 2011), se realizó un análisis generalizado de *Procrustes*. Posterior a ello, se efectuó una regresión multivariada con la finalidad de conocer los cambios de forma asociados a cada módulo, así como un análisis de componentes principales (ACP) y se salvaron las coordenadas del morfoespacio resultantes, conociendo así las agrupaciones de cada individuo. Cabe destacar que

cada uno de estos cambios de forma asociados a las 12 formas evaluadas se encuentran representados por polígonos de cambio o *wireframes*. Posteriormente se realizó un análisis de varianza, ANOVA, mismo que es una herramienta estadística empleada para detectar diferencias entre las medias de los grupos (Sawyer, 2009) y una prueba *post hoc* (Tukey) para detectar la diferencia entre todos los pares posibles de todos los grupos (Lee & Lee, 2018). Estos análisis estadísticos se realizaron empleando el programa JMP 11 (SAS, s.f.).

Análisis de conglomerados

Las coordenadas del morfoespacio resultantes fueron cargadas en el *software* Rstudio (RStudio team, 2019), en el cual, empleando la paquetería NbClust se realizó un análisis de cálculo de 30 métodos para determinar el número mínimo de *clusters* (Charrad, Ghazzali, Boiteau & Niknafs, 2014) para cada una de las características faciales evaluadas tanto por el método morfoscópico como por morfometría geométrica. La paquetería NbClust proporciona 30 índices que determinan el número de agrupaciones en un conjunto de datos y también ofrece el mejor esquema de agrupación a partir de diferentes resultados. Este análisis permite al usuario evaluar simultáneamente varios esquemas de agrupamiento mientras varía el número de grupos, para ayudar a determinar el número más apropiado de grupos para el conjunto de datos de interés (Charrad, Ghazzali, Boiteau & Niknafs, 2014).

Para la validación del método se considera que (para cada característica facial evaluada por ambos métodos: morfoscópico y métrico) el número de grupos o *clusters* formados debe corresponder a las clasificaciones faciales descritas en la caracterización por método no-métrico a partir del atlas de Ohlrogge et al. (2009), agrupándose así los individuos con su clasificación facial o labial designada para cada carácter. Finalmente, se graficaron los *clusters* empleando el *software* Past (Hammer, Harper & Ryan, 2001), en su versión 4.06b.

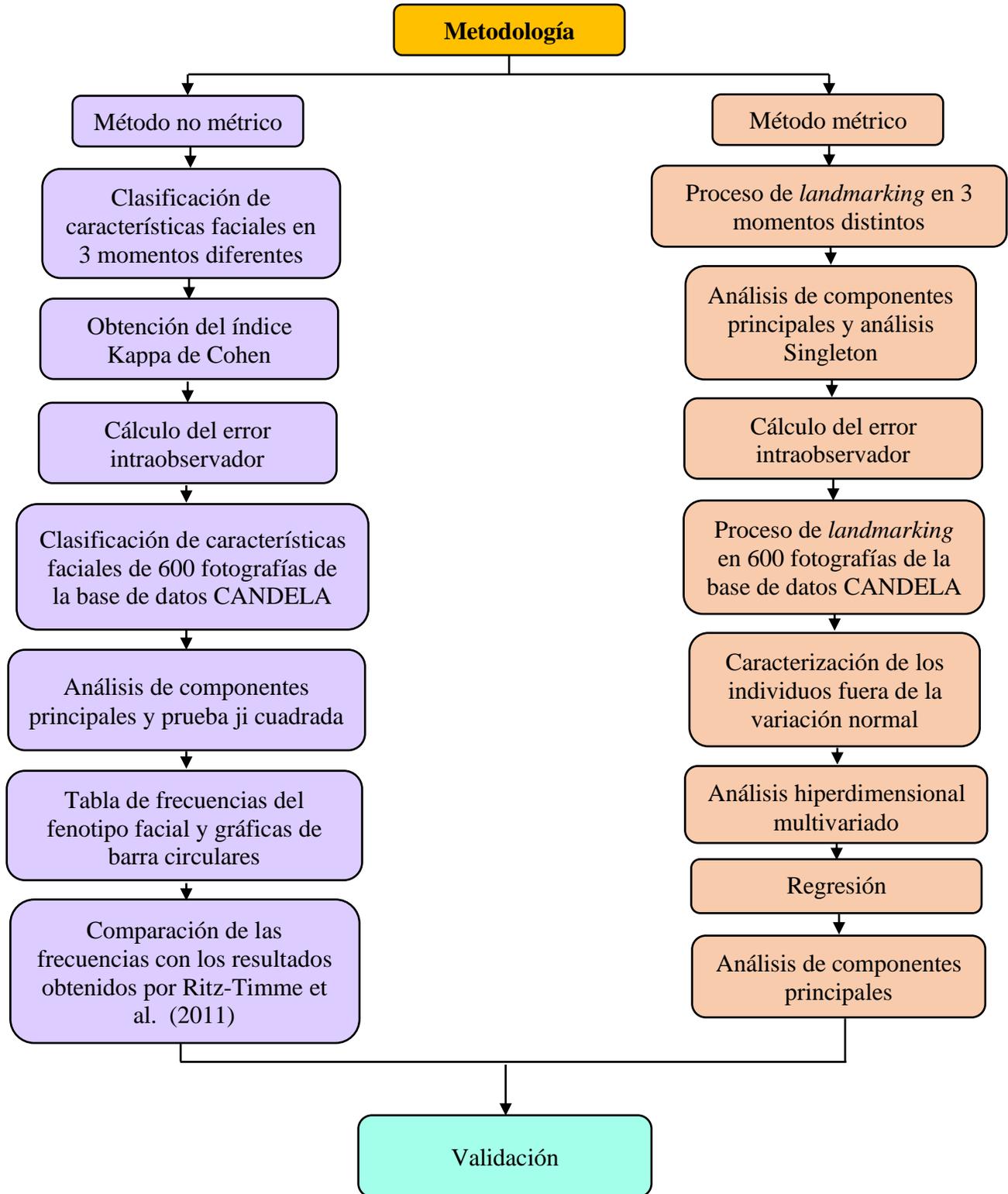


Diagrama 1. Resumen de la metodología empleada en el presente estudio.

RESULTADOS

Caracterización por método no métrico

Estimación de error intraobservador

Posterior a la clasificación facial de 15 fotografías de individuos femeninos en cinco momentos distintos, se realizó un análisis estadístico de índice Kappa de Cohen, obteniendo los resultados que se muestran en el **anexo 1**. En la tabla 4 se muestran los caracteres con discordancia que se encontraron en las comparaciones (primera a la quinta) en cuanto a su clasificación conforme al manual empleado en el presente estudio.

Tabla 4. Caracteres con discrepancia entre evaluaciones del estudio de error intraobservador.

| <i>Fotografía</i> | <i>Carácter con discordancia</i> |
|-------------------|--|
| 1 | Forma mentón, forma del <i>filtrum</i> y orientación de la esquina de la boca |
| 2 | Forma de la cara, forma del mentón, altura del mentón y forma del <i>filtrum</i> |
| 3 | Forma de la cara, forma del mentón, muesca del labio superior y orientación de la esquina de la boca |
| 4 | Forma de la cara, amplitud labial, altura del mentón, altura del <i>filtrum</i> y hendidura de la boca |
| 5 | Forma de la cara, forma del mentón, altura del <i>filtrum</i> , hendidura de la boca y bermellón superior |
| 6 | Muesca del labio superior, amplitud labial, orientación de la esquina de la boca, hendidura de la boca y bermellón superior |
| 7 | Forma de la cara, forma del mentón y amplitud labial |
| 8 | Forma de la cara, altura del mentón, altura del <i>filtrum</i> , amplitud labial y bermellón inferior |
| 9 | Altura del mentón, altura del <i>filtrum</i> , profundidad del <i>filtrum</i> , muesca del labio superior y forma de la hendidura de la boca |
| 10 | Forma mentón, altura del mentón, profundidad del <i>filtrum</i> y orientación de la esquina de la boca |
| 11 | Bermellón inferior |
| 12 | Forma del mentón, altura del <i>filtrum</i> y amplitud labial |
| 13 | Forma de la cara y orientación de la esquina de la boca |
| 14 | Forma de la cara, forma del <i>filtrum</i> , forma del mentón, amplitud labial, bermellón superior e inferior |
| 15 | Forma de la cara, altura del mentón, altura del <i>filtrum</i> , amplitud labial, muesca del labio superior, bermellón superior e inferior |

Cabe resaltar que de los resultados de los índices kappa se obtuvo un promedio de 0.787, interpretándose este resultado como un nivel de coincidencia moderado y obteniendo como índice más bajo 0.277 (coincidencia mínima) y como índice máximo 1 (coincidencia casi perfecta).

Análisis de componentes principales

En el análisis de componentes principales de la muestra total de los 600 individuos se obtuvo que las características faciales que logran explicar el modelo son el bermellón inferior, seguido del bermellón superior, mientras que las características faciales que menos explican el modelo son la altura del *filtrum*, seguido de la forma del mentón (figura 9).

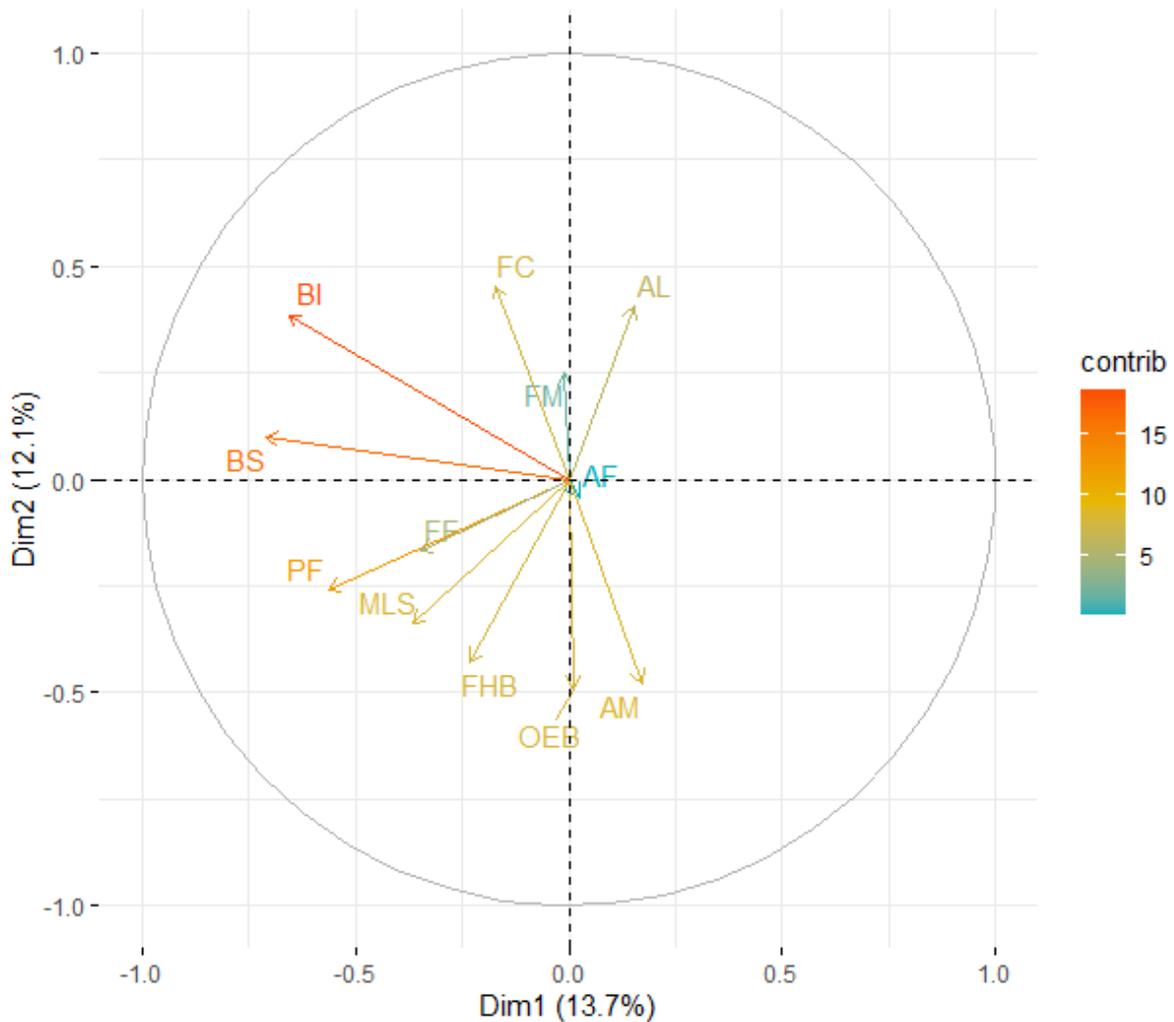


Figura 9. Gráfico de la muestra total del análisis de componentes principales. El gráfico muestra el análisis de componentes principales de las variables (**BI**: bermellón inferior; **BS**: bermellón superior; **PF**: profundidad del *filtrum*; **FF**: forma del *filtrum*; **MLS**: muesca del labio superior; **FHB**: forma de la hendidura de la boca; **OEB**: orientación de la esquina de la boca; **AM**: altura del mentón; **AF**: altura del *filtrum*; **AL**: amplitud labial; **FM**: forma del mentón y; **FC**: forma de la cara).

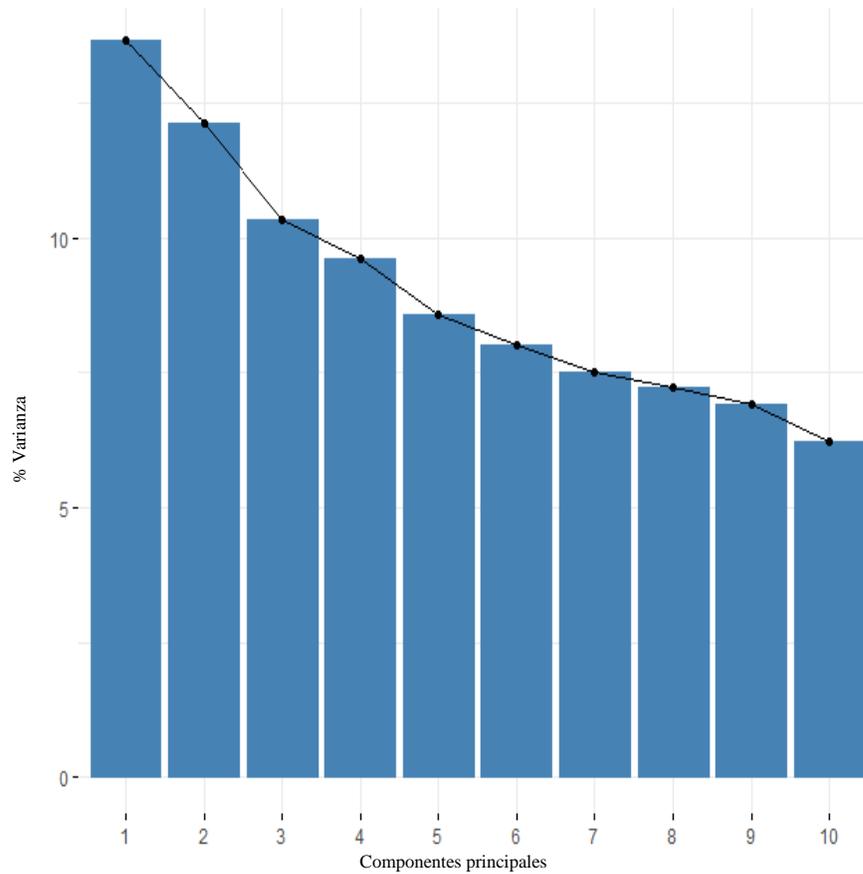


Figura 10. Scree plot de la muestra de 600 individuos de la población mexicana. El gráfico representa la porción de varianza explicada por los componentes principales.

En el análisis de componentes principales de toda la muestra por sexo con la finalidad de conocer si existía dimorfismo sexual, se observa que los individuos femeninos traccionan ligeramente la muestra hacia el eje positivo del componente principal dos, mientras que los individuos masculinos traccionan ligeramente a la muestra hacia el eje negativo del componente principal dos, indicando que la muestra presenta dimorfismo sexual (figura 11).

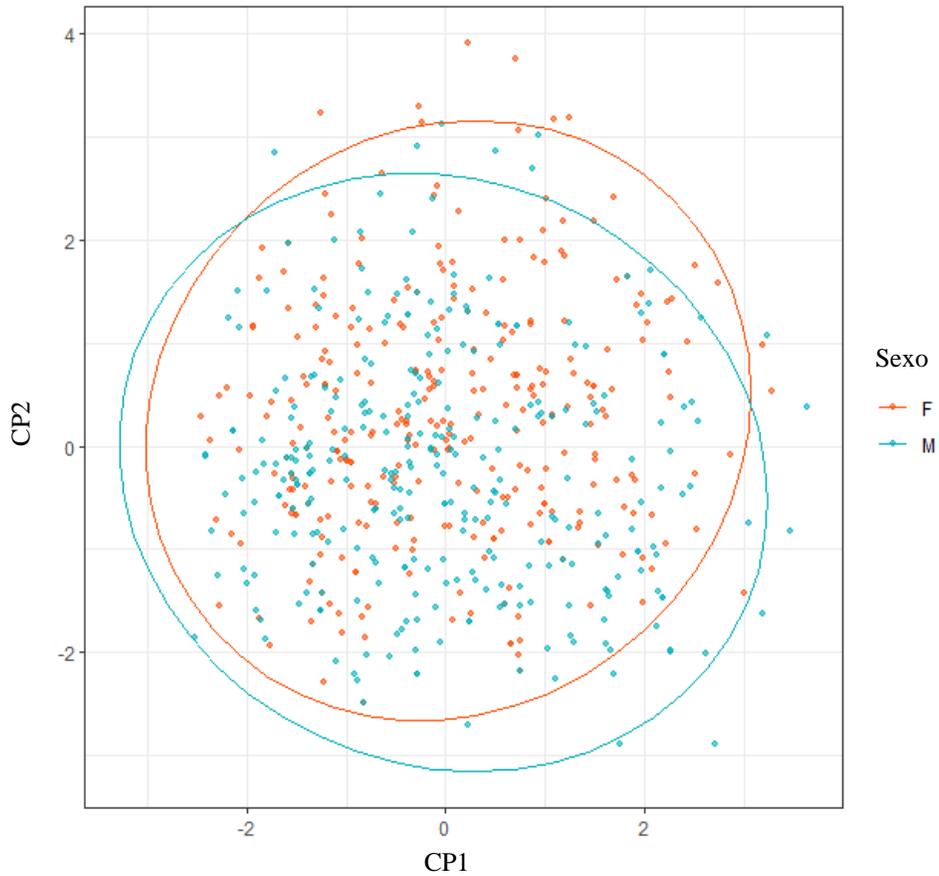


Figura 11. Gráfico de la distribución de componentes principales. El gráfico representa la distribución de la muestra en el componente principal uno (CP1) y el componente principal dos (CP2). Los individuos femeninos están representados por la letra **F** y los individuos masculinos con la letra **M**. Las elipses representan el 95% de varianza.

Con la finalidad de conocer las características faciales que presentaban dimorfismo sexual se realizó una prueba ji-cuadrada, obteniendo que la forma de la cara, la forma del mentón, la altura del *filtrum*, la orientación de la esquina de la boca y el bermellón superior presentan dimorfismo sexual (tabla 5).

Tabla 5. Prueba ji cuadrado por cada carácter facial evaluado. En la tabla, los caracteres faciales que presentaron dimorfismo sexual, con base en la presente prueba, son resaltados con negritas.

| <i>Carácter</i> | <i>X-squared</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>p-value</i> |
|---|------------------|---------------------------|----------------|
| Forma de la cara | 10.626 | 4 | 0.0311 |
| Forma del mentón | 36.688 | 2 | 1.08E-08 |
| Altura del <i>filtrum</i> | 33.14 | 2 | 6.36E-08 |
| Profundidad del <i>filtrum</i> | 0.48625 | 1 | 0.4856 |
| Forma del <i>filtrum</i> | 0.013355 | 1 | 0.908 |
| Muesca del labio superior | 5.8275 | 2 | 0.05427 |
| Orientación de la esquina de la boca | 11.223 | 2 | 0.003655 |
| Forma de la hendidura de la boca | 2.3601 | 3 | 0.5011 |
| Amplitud labial | 0.53773 | 2 | 0.7642 |
| Bermellón superior | 10.916 | 2 | 0.004261 |
| Bermellón inferior | 1.5803 | 2 | 0.4538 |
| Altura del mentón | 3.065 | 2 | 0.216 |

Con la finalidad de conocer mejor la discriminación posible entre los grupos, se realizó un análisis discriminante obteniendo que (tabla 6) el 61% de los individuos femeninos se encuentra dentro del grupo sexo que les corresponde y el 65.333% de los individuos masculinos se encuentra dentro del grupo sexo correspondiente:

Tabla 6. Análisis discriminante.

| | <i>Femenino</i> | <i>Masculino</i> |
|------------------|-----------------|------------------|
| <i>Femenino</i> | 183 | 104 |
| <i>Masculino</i> | 117 | 196 |

Debido a la existencia de dimorfismo sexual en la muestra, se realizó un análisis de componentes principales por sexo, obteniendo que, en el caso del sexo masculino, el carácter facial que explica mejor el modelo es el bermellón superior, seguido del bermellón inferior, mientras que los caracteres faciales que menos explican el modelo son la amplitud labial, la forma de la hendidura de la boca y la forma del *filtrum* (figura 12 B). Por otro lado, en el caso de los individuos femeninos, los caracteres faciales que mejor explican el modelo son el

bermellón inferior, seguido de la altura del mentón y, los caracteres que menos explican el modelo son la forma del mentón y la forma de la cara (figura 12 A).

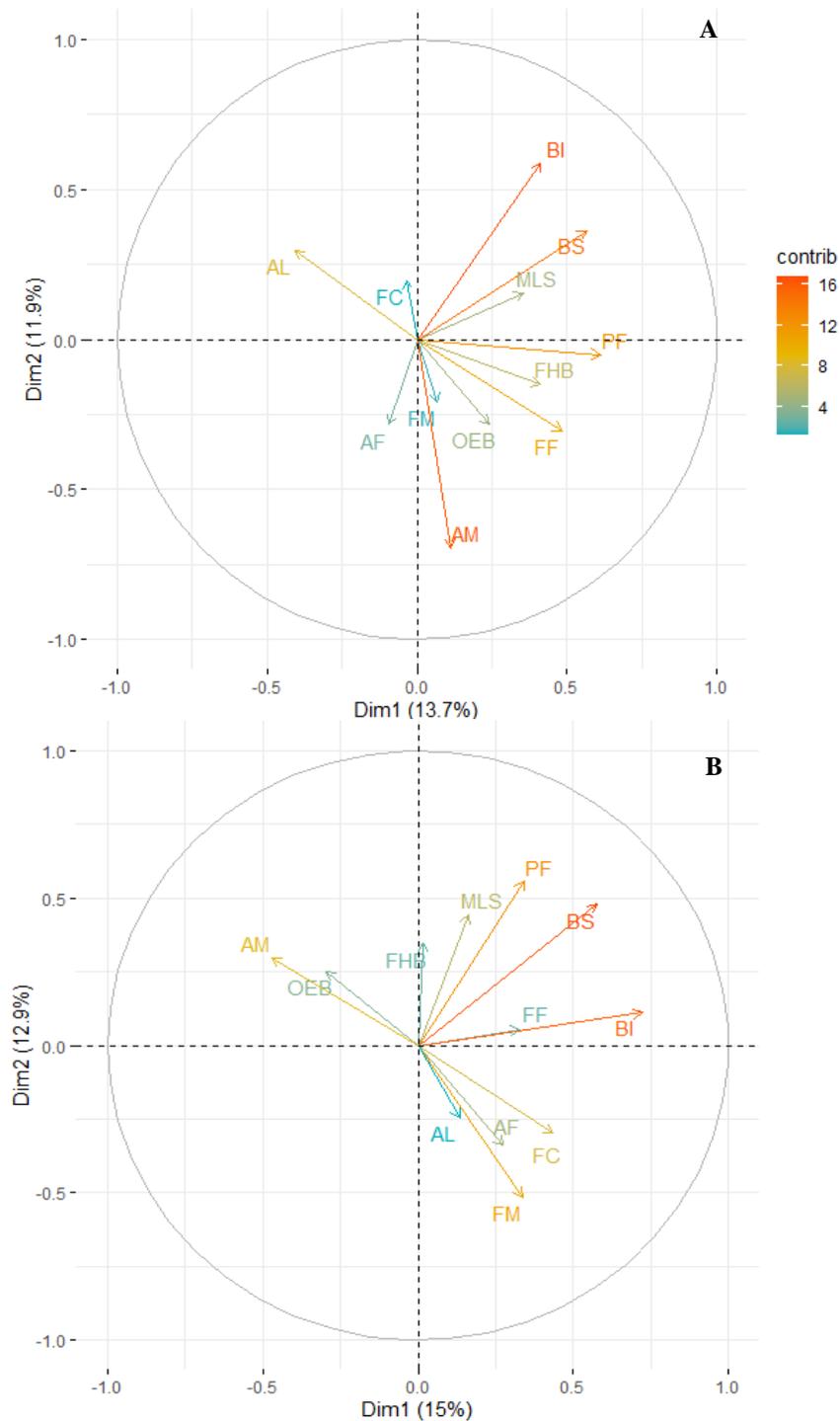


Figura 12. Análisis de componentes principales por sexo. El gráfico **A** corresponde a los individuos femeninos y el gráfico **B** corresponde a los individuos masculinos. Las variables que se muestran son las siguientes: **BI**: bermellón inferior; **BS**: bermellón superior; **PF**: profundidad del *filtrum*; **FF**: forma del *filtrum*; **MLS**: muesca del labio superior; **FHB**: forma de la hendidura de la boca; **OEB**: orientación de la esquina de la boca; **AM**: altura del mentón; **AF**: altura del *filtrum*; **AL**: amplitud labial; **FM**: forma del mentón y; **FC**: forma de la cara.

Frecuencias para la forma facial y labial

Con la finalidad de caracterizar la variabilidad morfoscópica facial y labial de individuos mexicanos, se realizaron las frecuencias a partir de las evaluaciones hechas empleando el atlas de clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009) y se obtuvo lo representado por las figuras 13 y 14. De estas frecuencias es importante destacar los patrones de diferencias y similitudes encontradas entre las características faciales de individuos femeninos en contraste con los individuos masculinos. En el caso de la forma de la cara, en individuos masculinos es más frecuente la forma redonda y en femeninos la forma oval, mientras que la forma menos frecuente en masculinos es la pentagonal con pómulos pronunciados y en femeninos es menos frecuente una forma cuña.

En cuanto a la forma del *filtrum* en los individuos femeninos las frecuencias son iguales entre las formas paralela y divergente, mientras que en masculinos es más frecuente la forma divergente. Continuando con la descripción de patrones diferentes entre sexos, la orientación de la esquina de la boca ligeramente hacia abajo es más frecuente en individuos masculinos, mientras que una orientación derecha es más frecuente en femeninos, en esta evaluación es importante destacar que la orientación de la esquina de la boca más frecuente en los individuos masculinos es también la menos frecuente en femeninos. La forma de la hendidura de la boca de igual manera posee un patrón diferente entre sexos, siendo que en individuos masculinos es más frecuente que se encuentre hacia abajo y en femeninos es más frecuente que se encuentre derecha; una hendidura de la boca ondulada es menos frecuente en femeninos y una forma hacia arriba es menos frecuente en masculinos. Por otro lado, una altura de mentón alta es más frecuente en masculinos, una altura media es más frecuente en femeninos y menos frecuente en masculinos, cabe resaltar que una altura baja es menos frecuente en femeninos, mientras que en masculinos dicha altura tiene una frecuencia de cero por ciento (figura 13, tabla 7).

Los patrones similares entre sexos son los siguientes: la altura y profundidad del *filtrum* poseen el mismo patrón entre sexos, siendo una altura alta la más frecuente y la altura baja la menos frecuente, así como una profundidad clasificada como profunda es más frecuente y poco profunda menos frecuente. Similar a lo anterior, la muesca del labio superior ondulada es más frecuente y la muesca relativamente derecha es menos frecuente; la amplitud labial mediana es más frecuente y una amplitud ancha es menos frecuente entre ambos sexos. En el caso de ambos bermellones, para ambos sexos, son más frecuentes anchos y menos frecuentes

delgados. Finalmente, en ambos sexos, es más frecuente una forma redonda del mentón y menos frecuente la forma puntiaguda (figura 13 y 14, tabla 7).

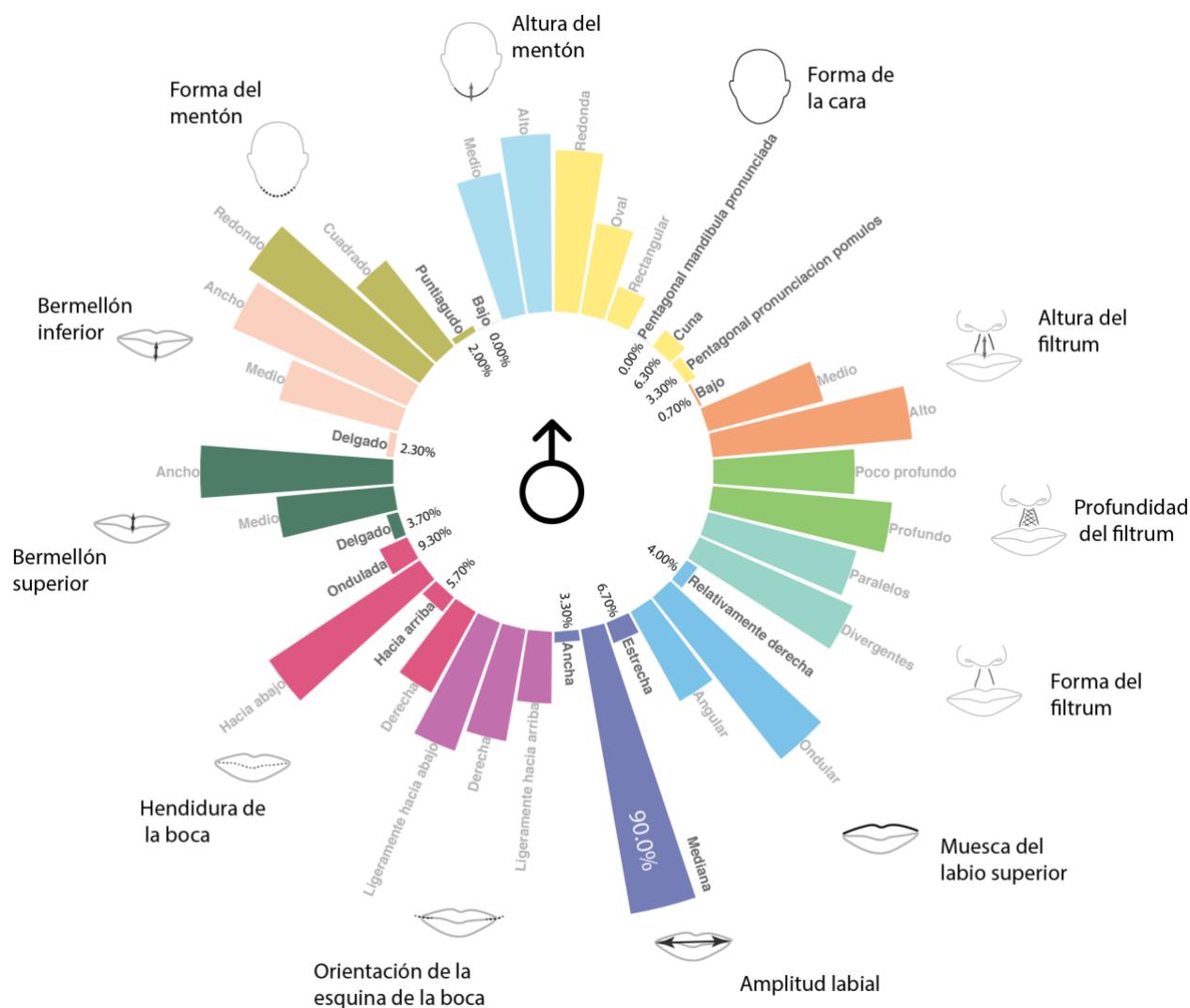


Figura 13. Gráfico de barras circular de las frecuencias por cada carácter evaluado de la muestra de individuos masculinos.

entre poblaciones en cuanto a la altura del *filtrum*, siendo que la altura alta es más frecuente en México y menos frecuente en Alemania e Italia. En cuanto a la profundidad del *filtrum*, poco profundo es más frecuente en Italia y Lituania y menos frecuente en México. La forma del *filtrum* con lados paralelos es más frecuente en Italia y menos frecuente en México. Por otro lado, la muesca del labio superior ondulada coincide en ser la más frecuente en los cuatro países comparados. Otra similitud entre estos países se encuentra en la amplitud labial, siendo en todos la más frecuente una amplitud mediana y menos frecuente una amplitud ancha. En el caso de la orientación de la esquina de la boca, en México es más frecuente que se encuentre ligeramente hacia abajo, mientras que en Alemania, Italia y Lituania es más frecuente que se encuentre derecha. Por último, la forma del mentón más frecuente en todos los países comparados es la redonda.

Tabla 7. Comparación entre las frecuencias obtenidas en población mexicana y su comparación con países europeos. Frecuencias para los 12 caracteres faciales evaluados y las reportadas por Ritz-Timme, et al. (2011).

| <i>Característica</i> | <i>Tipo</i> | <i>Femeninos</i> | <i>Masculinos</i> | <i>México</i> | <i>Alemania</i> | <i>Italia</i> | <i>Lituania</i> | <i>Promedio</i> |
|--------------------------------------|---|------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Forma de la cara | Redonda | 37.30 | 50.30 | 43.80 | 13.00 | 14.30 | 14.00 | 21.28 |
| | Oval | 41.70 | 28.70 | 35.20 | 43.30 | 44.00 | 25.00 | 36.88 |
| | Rectangular | 9.70 | 11.30 | 10.50 | 17.00 | 23.30 | 26.30 | 19.28 |
| | Pentagonal con mandíbula pronunciada | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.70 | 1.00 | 2.00 | 1.43 |
| | Cuña | 4.30 | 6.30 | 5.30 | 6.30 | 11.30 | 18.70 | 10.40 |
| | Pentagonal con pronunciación en los pómulos | 7.00 | 3.30 | 5.20 | 17.70 | 6.00 | 14.00 | 10.73 |
| Altura del <i>filtrum</i> | Bajo | 2.70 | 0.70 | 1.70 | 21.00 | 18.70 | 15.00 | 14.10 |
| | Medio | 44.30 | 37.00 | 40.70 | 64.70 | 73.70 | 62.00 | 60.28 |
| | Alto | 53.00 | 62.30 | 57.60 | 14.30 | 7.70 | 23.00 | 25.65 |
| Profundidad del <i>filtrum</i> | Poco profundo | 41.70 | 44.00 | 42.80 | 35.30 | 62.30 | 57.30 | 49.43 |
| | Profundo | 58.30 | 56.00 | 57.20 | 64.70 | 37.70 | 42.70 | 50.58 |
| Forma del <i>filtrum</i> | Lados paralelos | 49.70 | 47.70 | 48.70 | 33.30 | 69.30 | 35.30 | 46.65 |
| | Lados divergentes | 50.30 | 52.30 | 51.30 | 66.70 | 30.70 | 64.70 | 53.35 |
| Muesca del labio superior | Relativamente derecha | 8.00 | 4.00 | 6.00 | 11.00 | 15.00 | 16.70 | 12.18 |
| | Ondular | 66.00 | 64.30 | 65.20 | 59.30 | 64.70 | 60.00 | 62.30 |
| | Angular | 26.00 | 31.70 | 28.80 | 29.70 | 20.30 | 23.30 | 25.53 |
| Amplitud labial | Estrecha | 6.30 | 6.70 | 6.50 | 14.00 | 10.00 | 31.00 | 15.38 |
| | Mediana | 87.70 | 90.00 | 88.80 | 76.70 | 82.70 | 67.30 | 78.88 |
| | Ancha | 6.00 | 3.30 | 4.70 | 9.30 | 7.30 | 1.70 | 5.75 |
| Orientación de la esquina de la boca | Ligeramente hacia arriba | 32.30 | 22.30 | 27.30 | 13.30 | 42.70 | 15.00 | 24.58 |
| | Derecha | 45.30 | 35.30 | 40.30 | 64.70 | 53.00 | 68.00 | 56.50 |
| | Ligeramente hacia abajo | 22.30 | 42.30 | 32.30 | 22.00 | 4.30 | 17.00 | 18.90 |
| Hendidura de la boca | Derecha | 43.30 | 28.70 | 36.00 | - | - | - | 36.00 |
| | Hacia arriba | 10.00 | 5.70 | 7.80 | - | - | - | 7.80 |
| | Hacia abajo | 37.00 | 56.30 | 46.70 | - | - | - | 46.70 |
| | Ondulada | 9.70 | 9.30 | 9.50 | - | - | - | 9.50 |
| Bermellón superior | Delgado | 1.70 | 3.70 | 2.70 | - | - | - | 2.70 |
| | Medio | 43.30 | 36.60 | 39.80 | - | - | - | 39.80 |
| | Ancho | 55.00 | 60.00 | 57.50 | - | - | - | 57.50 |
| Bermellón inferior | Delgado | 0.30 | 2.30 | 1.30 | - | - | - | 1.30 |
| | Medio | 39.70 | 38.30 | 39.00 | - | - | - | 39.00 |
| | Ancho | 60.00 | 59.30 | 59.70 | - | - | - | 59.70 |
| Forma del mentón | Redondo | 73.30 | 64.00 | 68.70 | 61.00 | 60.70 | 53.70 | 61.03 |
| | Cuadrado | 17.00 | 34.00 | 25.50 | 21.00 | 33.70 | 35.00 | 28.80 |
| | Puntiagudo | 9.70 | 2.00 | 5.80 | 18.00 | 5.70 | 11.30 | 10.20 |
| Altura del mentón | Bajo | 2.70 | 0.00 | 1.30 | - | - | - | 1.30 |
| | Medio | 51.30 | 44.70 | 48.00 | - | - | - | 48.00 |
| | Alto | 46.00 | 55.30 | 50.70 | - | - | - | 50.70 |

Los valores de la presente tabla se encuentran en porcentajes

Negritas: características faciales comparadas poco frecuentes

- No reportado

Caracterización por morfometría geométrica

Estimación de error intraobservador

En la figura número 15 se muestra el análisis de componentes principales de las cinco iteraciones o fenotipados realizados a los mismos 15 individuos femeninos empleados en la estimación de error de la caracterización por método no métrico. En la sección A de la figura 15 se muestra el gráfico de componentes principales de los individuos evaluados para todos los *landmarks* empleados en el estudio (1-59), observándose que la distancia fenotípica en el morfoespacio entre iteraciones no es muy distante. En el componente principal uno la distribución de la muestra se encuentra principalmente entre -0.06 y 0.03, por otro lado, en el componente principal dos la distribución de la muestra ocurre entre -0.03 y 0.06; la varianza total fue de 0.00374067. En la sección B de la figura 15 se muestra el cambio de forma por medio del gráfico de vector de cambio del componente principal uno de las iteraciones realizadas, en el cual se observa que el desplazamiento de los *landmarks* (1-59) es consistente con la variación fenotípica de los individuos muestra.

En la sección C de la figura 15 se muestra el gráfico de componentes principales de los individuos evaluados para los *landmarks* tipo uno (1-17), observándose que la distancia fenotípica en el morfoespacio entre iteraciones no es muy distante. En el componente principal uno la distribución de la muestra se encuentra principalmente entre -0.03 y 0.06, por otro lado, en el componente principal dos la distribución de la muestra ocurre entre -0.06 y 0.06; la varianza total fue de 0.00385993. En la sección D de la figura 15 se muestra el cambio de forma por medio del gráfico de vector de cambio del componente principal uno de las iteraciones realizadas, únicamente de los *landmarks* tipo uno. En los vectores de cambio se observa la variación en la posición de *landmarks*, siendo más significativa en los *landmarks* zygon (5 y 6) y gonion (8 y 9).

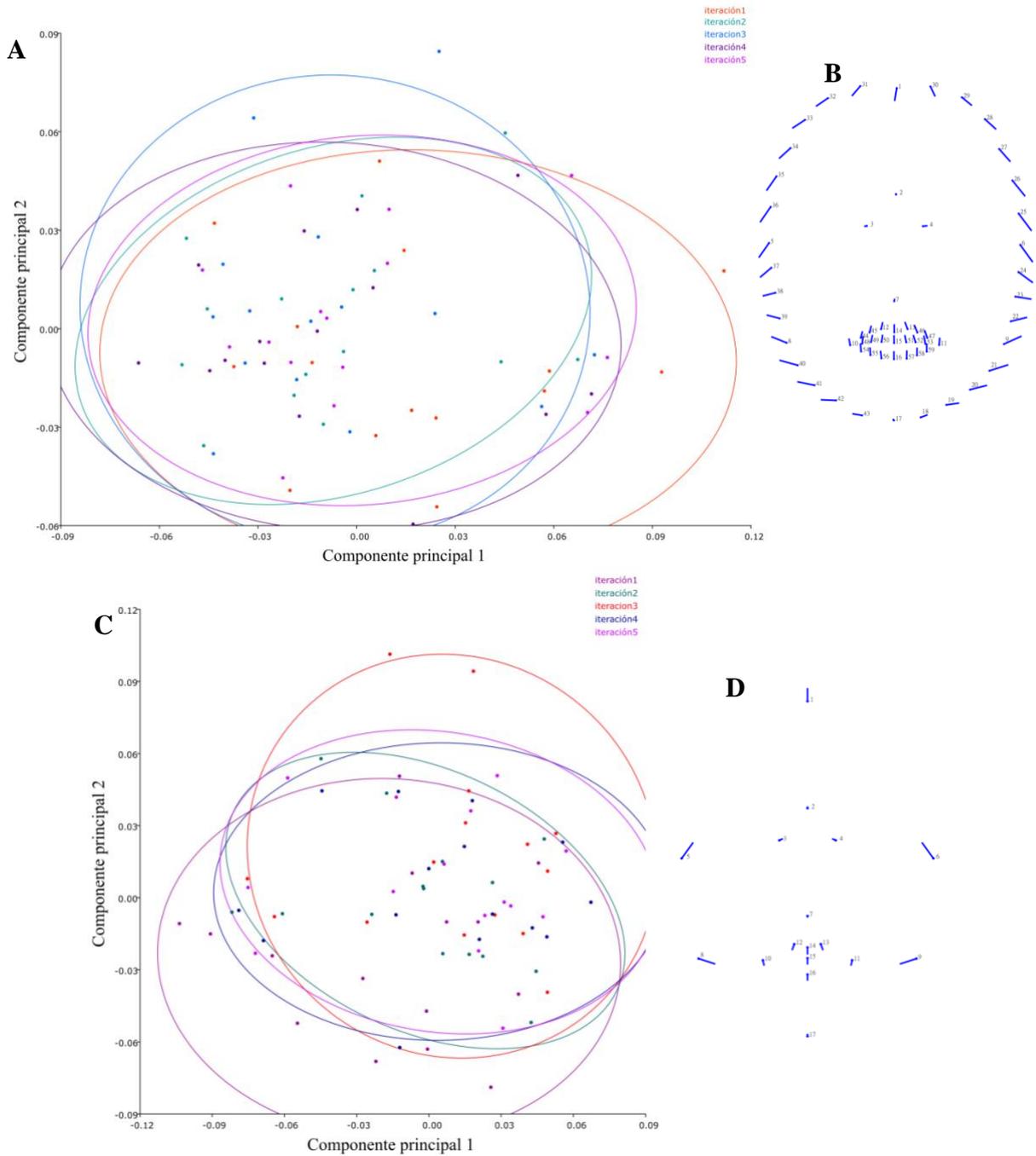


Figura 15. Resultados del análisis de componentes principales para la estimación de error intraobservador. En la sección **A** se muestra el gráfico de dispersión del componente principal 1 y 2 de las 5 iteraciones realizadas a individuos evaluados para la estimación de error. Este gráfico contempla todos los *landmarks* empleados en el estudio (1-59). La sección **B** muestra los vectores de cambio del componente principal uno de las iteraciones realizadas, en el cual se observa el desplazamiento de los *landmarks* (1-59). En la sección **C** se muestra el gráfico de dispersión del componente principal 1 y 2 de las 5 iteraciones realizadas a individuos evaluados para la estimación de error. Este gráfico contempla los *landmarks* tipo uno empleados en el estudio (1-17). La sección **D** muestra los vectores de cambio del componente principal uno, en el cual se observa el desplazamiento de los *landmarks* tipo uno (1-17). En los gráficos de dispersión las elipses representan el 90% de la varianza.

Posterior al análisis de componentes principales, se realizó la prueba Singleton (2002) únicamente para los *landmarks* tipo uno, obteniendo los resultados de la tabla 8, la cual nos muestra el RMSE (error cuadrático medio), expresado en milímetros, y el porcentaje de RMSE.

Tabla 8. Promedio de errores intraobservador a través de *landmarks* tipo uno.

| Nivel | RMSE | | | %RMSE | | |
|-----------------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio |
| Intraobservador | 0.002 | 0.017 | 0.007 | 0.357 | 2.556 | 1.000 |

De los resultados obtenidos en la tabla 8, se muestra que el error intraobservador excede ligeramente el umbral del 2% establecido por Singleton (2002), es decir, muestran un valor máximo de 2.556%. Sin embargo, estos resultados se pueden explicar por la variabilidad que presenta cada *landmark*. Al analizar esta variabilidad se obtuvieron los resultados representados en la figura 16, misma que muestra que los *landmarks* que tuvieron mayor variabilidad son gonion (8 y 9) y zygon (5 y 6). Estos resultados se pueden contrastar con lo reportado por Cummaudo et al. (2013) y Campomanes-Álvarez et al. (2015) quienes mencionan que en el caso del error intraobservador en imágenes bidimensionales en vista frontal, los *landmarks* que presentan mayor dispersión son gonion y zygon debido a que éstos no son fácilmente detectables sin palpación. Por lo anterior se tiene como antecedente que gonion y zygon son significativamente más difíciles de localizar que otros puntos de referencia faciales (Campomanes-Álvarez et al., 2015). Por lo anterior se determina que el orden de magnitud del error no es de importancia para el presente estudio.

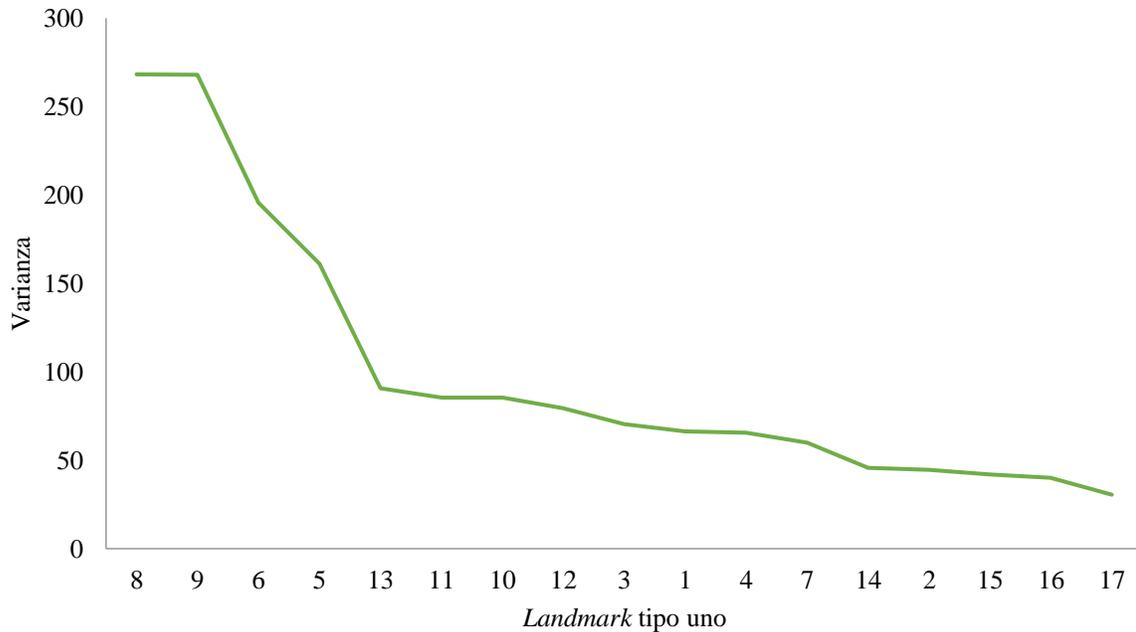


Figura 16. Gráfico de la varianza de cada landmark tipo uno. El gráfico muestra la varianza de los *landmarks* descritos en la tabla 3 del apartado de metodología. En el gráfico, los *landmarks* se encuentran ordenados de mayor a menor varianza, expresándose esta última en porcentaje.

Aproximación morfogeométrica: Análisis hiperdimensional multivariado

Caracterización de individuos fuera de la variación normal

Como se estableció en la metodología, el primer paso consistió en revisar los *outliers* con la finalidad de conocer si existían errores producto del fenotipado. Se verificaron todos los individuos, obteniendo que aquellos que se alejaban de la variación normal era debido a su morfología, por lo que no se encontraron errores producto del fenotipado.

En la figura 17 se muestran los diagramas de la distribución acumulada. En ambos diagramas se representan las distancias de cada individuo a la forma promedio de la muestra. La curva que se encuentra en color azul representa la curva esperada en la distribución normal multivariada ajustada a los datos, por otro lado, la curva color rojo representa la distribución de las distancias reales de la muestra. En los diagramas se encuentra la distancia de Mahalanobis, misma que expone cuan inusual es un individuo en relación con la forma media de la muestra.

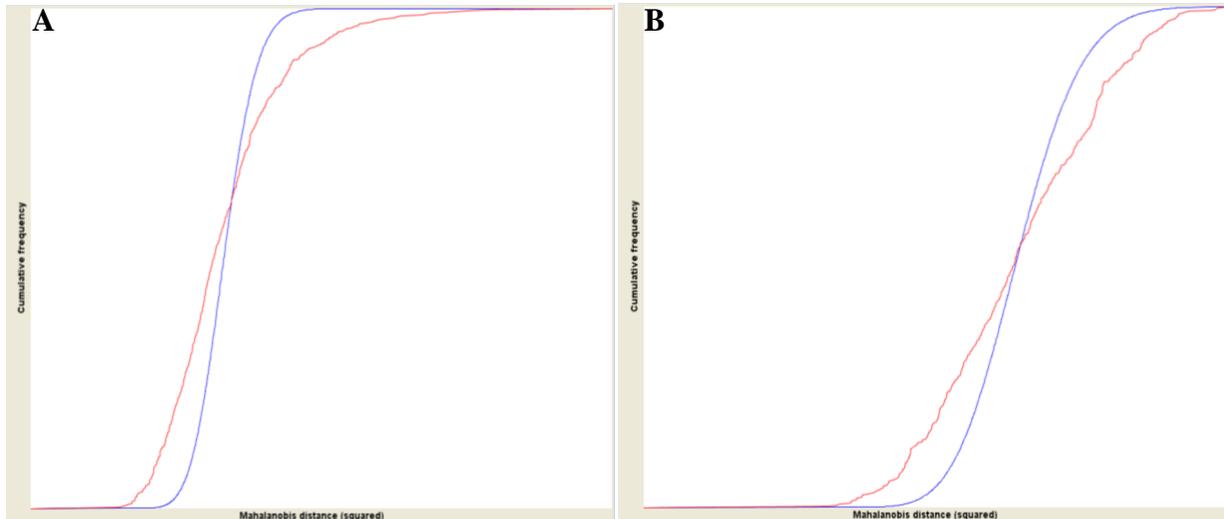


Figura 17. Diagramas de la distribución acumulada. El gráfico **A** representa las distancias de todos los individuos de la muestra, mientras que el gráfico **B** representa las distancias de los individuos que se encuentran dentro del 95% de la variación normal, excluyendo a los que se encuentren fuera de dicho rango.

Regresión multivariada: edad, índice de masa corporal y sexo

En las regresiones realizadas con la finalidad de observar distintas variables en relación con la forma, se distingue, en la gráfica del porcentaje de ancestría de los individuos americanos (figura 18A), que a medida que el porcentaje de ancestría americano incrementa, se presentan cambios en la forma, en este caso, tanto la hendidura de la boca como la comisura de los labios tienen una orientación hacia abajo, además, en este gráfico se aprecia la formación de tres grupos definidos, mismos que corresponden a la clasificación de ancestría europeo, mestizo y americano, de los cuales se observa que existen ligeros cambios de forma entre dichos grupos.

En el caso de los individuos europeos, se observa que existe un ligero cambio en la forma a medida que incrementa el porcentaje de ancestría europeo, observándose en estos individuos una forma de la cara oval, bermellón superior delgado y la comisura de los labios, así como la hendidura de la boca con una orientación hacia abajo. En este gráfico (figura 18B) de igual manera se aprecia la formación de tres grupos definidos, mismos que corresponden a la clasificación de ancestría europeo, mestizo y americano, de los cuales se observa que existen ligeros cambios de forma entre dichos grupos.

En cuanto a la gráfica de edad (figura 18C), se observa que existe un ligero cambio en la forma conforme incrementa la edad de los individuos. Por otro lado, la regresión correspondiente al sexo (figura 18D) muestra la formación de los grupos femenino y masculino,

siendo que, en el caso del sexo femenino, el grupo formado se muestra más compacto en comparación con el grupo de los individuos masculinos que se dispersa a lo largo del eje forma.

En cuanto al gráfico donde se muestra la forma y el índice de masa corporal (figura 18E), se observa que existe un cambio de forma dependiendo de la clasificación del índice de masa corporal, es decir que conforme dicho índice aumenta, ocurren cambios en la forma, observándose en la gráfica la formación de grupos definidos que siguen el orden de la clasificación, apareciendo como primer grupo el peso bajo y como último grupo la obesidad clase II.

De las regresiones, la variable con mayor valor de varianza explicada es el sexo, después el índice de masa corporal, seguido de la edad y las regresiones de ancestría, europeo y americano en último lugar, siendo ésta la variable que menos explica el fenómeno.

Tabla 9. Valores del modelo general de regresión multivariada. Valores estadísticos obtenidos de las regresiones realizadas.

| <i>Covariable</i> | <i>R²</i> | <i>R² ajustada</i> | <i>Valor p</i> |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------|
| <i>Edad</i> | 0.125433 | 0.12397 | <0.0001 |
| <i>Americano</i> | 0.017175 | 0.015531 | 0.0013 |
| <i>Europeo</i> | 0.071303 | 0.06975 | <0.0001 |
| <i>Índice de masa corporal</i> | 0.247903 | 0.246645 | <0.0001 |
| <i>Sexo</i> | 0.363019 | 0.361954 | <0.0001 |

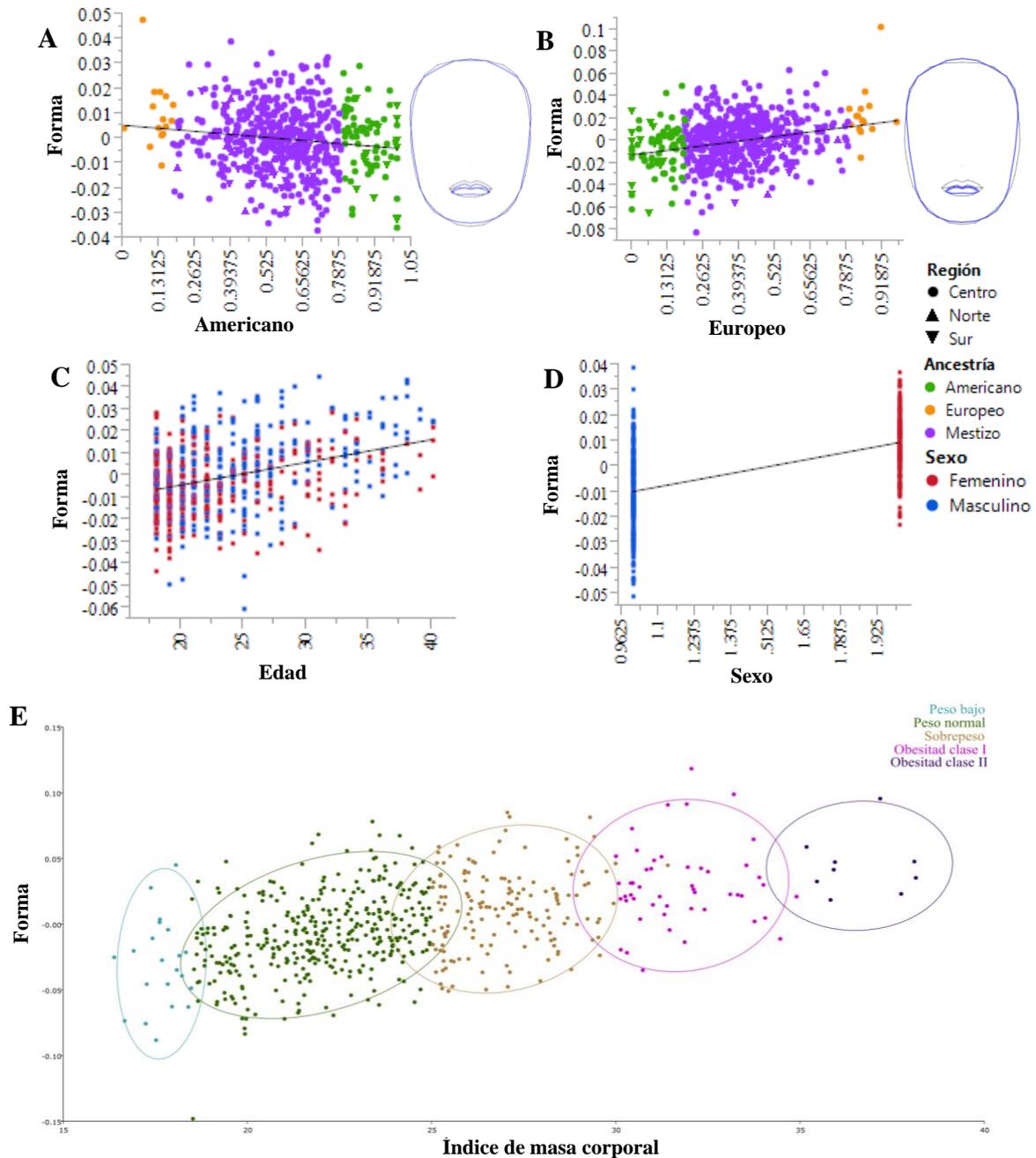


Figura 18. Modelo general de regresión multivariada. Regresiones entre la forma 2D y covariables. Los gráficos **A** y **B** representan las regresiones de ancestría, en ambos, las regiones centro, norte y sur de la República Mexicana son representadas por un círculo, un triángulo y un triángulo invertido respectivamente, además, la clasificación de ancestría americano, europeo y mestizo de los individuos, representada por los colores verde claro, naranja y morado respectivamente. Del lado derecho de estos gráficos se encuentran los *wireframes* (polígonos de cambios en la forma) de las comparaciones entre la forma promedio, línea negra discontinua, y en color azul y línea continua se representa el cambio de forma. La regresión **C** es sobre la edad y la **D** sobre el sexo, en ambos gráficos los puntos azules representan a los individuos masculinos y los puntos rojos a los individuos femeninos. En los cuatro gráficos mencionados, la línea de ajuste medio de la regresión se encuentra representada por una línea continua de color negro. En la sección **E** la gráfica representa la regresión del índice de masa corporal, en éste, las clasificaciones: peso bajo, peso normal, sobrepeso, obesidad clase I y obesidad clase II son representadas por los colores cian, verde oscuro, beige, fucsia y morado oscuro respectivamente y; las elipses representan el 90% de la varianza para cada clasificación.

Morfoespacio: Análisis de componentes principales de la variación de la muestra

En el análisis de componentes principales general (figura 19A), se observa que el patrón fenotípico de la forma se encuentra ligeramente relacionado con el sexo. Si bien se observa la formación de dos grupos, éstos se superponen, presentando una mayor varianza los individuos masculinos (elipse azul) respecto de los femeninos con menor varianza (elipse roja). En el caso de los individuos femeninos su distribución se encuentra entre -0.05 y 0.05 del componente principal uno, mientras que los individuos masculinos se distribuyen entre -0.10 y 0.05 del componente principal uno. En el gráfico B de la figura 19 se encuentra el gráfico que muestra el porcentaje de varianza total por cada componente principal, siendo el componente principal uno el que acumula la mayor cantidad de varianza al mostrar un porcentaje de 50.493% de la varianza total.

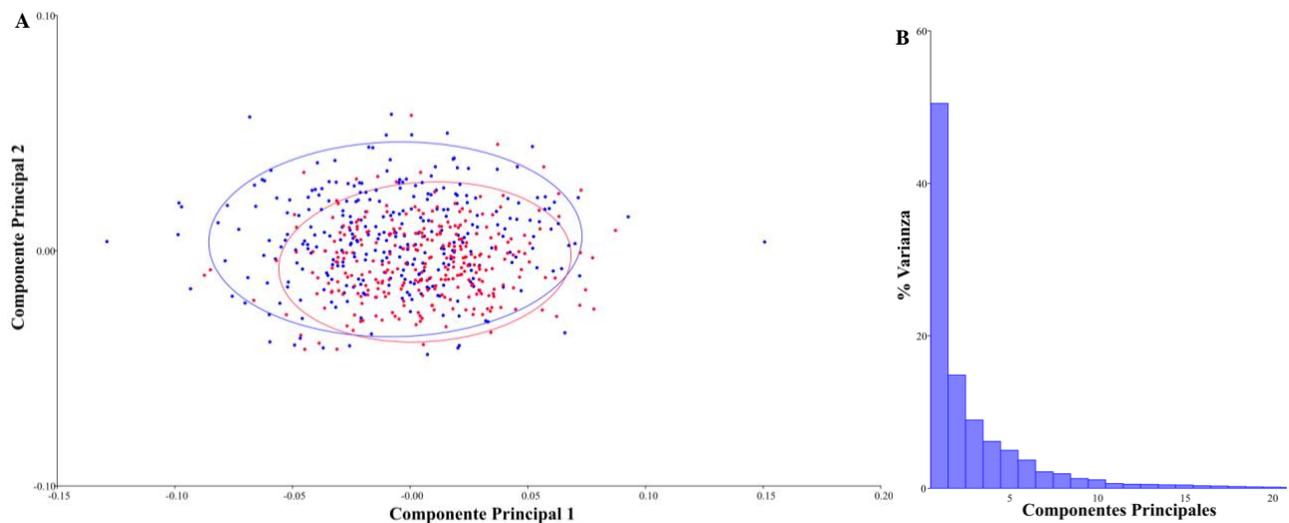


Figura 19. Resultados del análisis de componentes principales. La figura A representa el gráfico de dispersión del componente principal 1 y 2, los puntos rojos representan a los individuos femeninos y los azules a los masculinos. En este gráfico, las elipses explican el 90% de la varianza. Para este caso el componente principal 1 tiene el porcentaje de 50.493% de varianza total, mientras que el componente principal 2 tiene el porcentaje de 14.847 % de varianza total. El gráfico B representa el porcentaje de varianza por cada componente principal.

La tabla 10 muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza de éstos. La varianza total del presente análisis es de 0.00225542 y la varianza de los eigenvalores es de 0.0000000246651.

Tabla 10. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los primeros 10 componentes principales producto del punto de corte del porcentaje acumulativo del 95%.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00113882 | 50.493 | 50.493 |
| 2 | 0.00033486 | 14.847 | 65.340 |
| 3 | 0.00020178 | 8.946 | 74.286 |
| 4 | 0.00013896 | 6.161 | 80.447 |
| 5 | 0.00011227 | 4.978 | 85.425 |
| 6 | 0.00008353 | 3.703 | 89.129 |
| 7 | 0.00004881 | 2.164 | 91.293 |
| 8 | 0.00004300 | 1.907 | 93.199 |
| 9 | 0.00002878 | 1.276 | 94.475 |
| 10 | 0.00002489 | 1.104 | 95.579 |

Validación de las clasificaciones no-métricas en el morfoespacio geométrico

Validación de la discretización para las 12 formas faciales

Forma de la cara

En la regresión de la forma de la cara (figura 20) se observan ligeros cambios en la forma. Las formas faciales que se encontraron en la muestra, de acuerdo con el atlas de clasificación empleado, fueron representadas por los números 1 a 6, no encontrándose la clasificación número cuatro (forma pentagonal con mandíbula pronunciada). La forma facial oval se observa ligeramente más alargada en comparación de la forma redonda; la forma rectangular no dista mucho de la forma redonda, observándose un ligero cambio a nivel del tercio inferior facial. Por otro lado, la forma facial cuña se observa similar a la forma oval, observándose ligeros cambios a partir del segundo tercio facial, donde la forma se muestra ligeramente alargada. En cuanto a la forma pentagonal con pómulos pronunciados, el cambio de forma se observa a nivel del segundo tercio facial. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.150632, un R^2 ajustado de 0.149211 y un valor $p < 0.0001$.

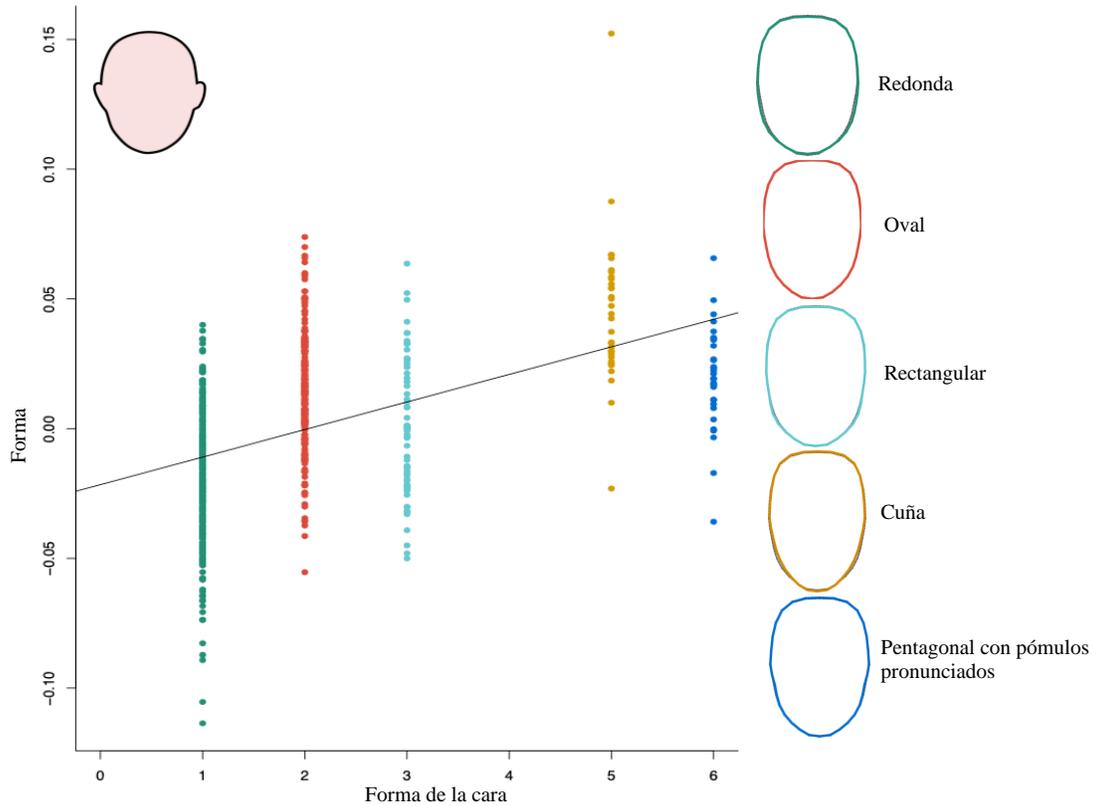


Figura 20. Regresión de la forma de la cara. El gráfico representa la regresión de la forma de la cara. En el eje x se representan las clasificaciones de la forma de la cara de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa la forma promedio de la cara, son presentados la norma frontal. La forma de la cara fue representada por los *landmarks* Trichion (1), Zygion (5 y 6), Gonion (8 y 9), Gnathion (17) y los *semilandmarks* 18 al 43.

En el análisis de componentes principales con la finalidad de identificar las principales tendencias en la variación morfológica de cara, se obtuvo que los cambios de forma asociada al CP1 (53.382% de varianza explicada) se centra a nivel del segundo y tercer tercio facial, específicamente en el área de la mejilla donde se observa aumento de volumen a comparación de la forma promedio, de igual manera, la inserción de la parte ascendente de la hélice en el cuero cabelludo se observa ligeramente por debajo del promedio (figura 21B). Los cambios observados en el CP2 (20.423% de varianza explicada) se encuentran en la inserción de la parte ascendente de la hélice en el cuero cabelludo, misma que se observa por debajo del promedio, de igual manera, en la región mentoniana, el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla se observa por debajo del promedio (figura 21B). Por otro lado, en el CP3 (11.37% de varianza explicada) se observan cambios en los tres tercios faciales; el punto de inserción de

la parte ascendente de la hélice en el cuero cabelludo en este caso se observa ligeramente por encima del promedio; los bordes que limitan con la región temporal de la cabeza, además de la región cigomática, se muestran más disminuidos en volumen que la forma promedio y; en cuanto al tercer tercio facial, la región mentoniana y la región de la mejilla se observan ligeramente con mayor volumen que la forma promedio (figura 21B).

En los gráficos de dispersión de los componentes principales (figura 21A) se observa que todas las formas faciales se superponen, principalmente en el gráfico del CP2 y CP3. En éstos también se observa que la forma facial cuña desplaza la muestra hacia el eje negativo de los gráficos del CP1 con CP2 y CP3, por otro lado, la forma facial redonda tracciona ligeramente la muestra hacia el eje positivo de los mismos gráficos (figura 21A). La varianza total es de 0.00189562, la varianza de los eigenvalores es de 0.00000003738.

Tabla 11. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los primeros 5 componentes principales producto del punto de corte del porcentaje acumulativo del 95%.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00101138 | 53.382 | 53.382 |
| 2 | 0.00038695 | 20.423 | 73.805 |
| 3 | 0.00021542 | 11.37 | 85.175 |
| 4 | 0.00013013 | 6.868 | 92.044 |
| 5 | 0.00005808 | 3.065 | 95.109 |

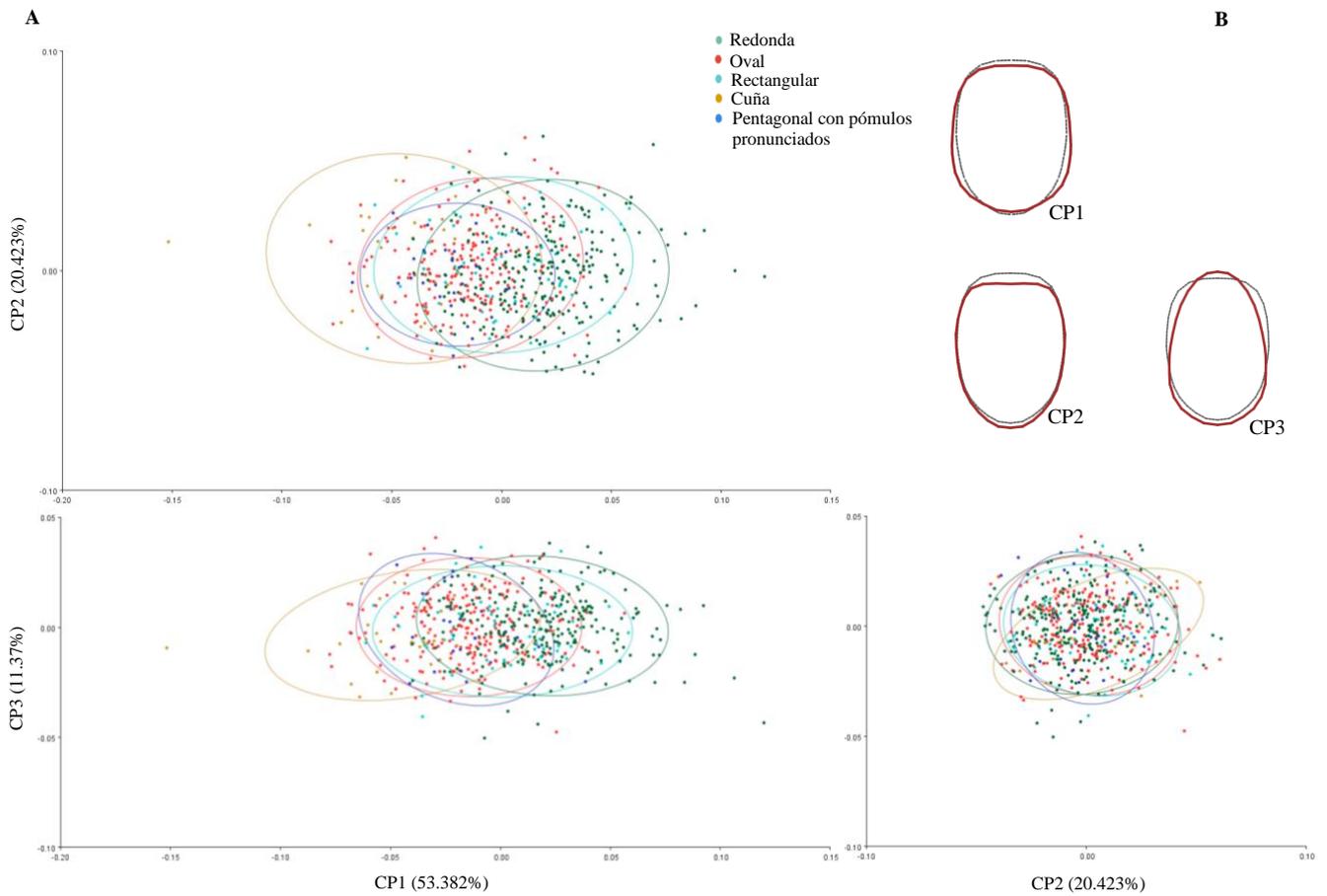


Figura 21. Análisis de componentes principales (ACP) de la forma de la cara. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1, 2 y 3 de la forma (A, superior, inferior e izquierdo). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La forma de la cara fue representada por los *landmarks* Trichion (1), Zygion (5 y 6), Gonion (8 y 9), Gnathion (17) y los *semilandmarks* 18 al 43.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 12.

Tabla 12. Prueba Tukey de la forma de la cara. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 5 | 1 | 0.0638835 | 0.0045881 | 0.051330 | 0.0764373 | <.0001* | |
| 5 | 3 | 0.0446922 | 0.0053197 | 0.030136 | 0.0592480 | <.0001* | |
| 6 | 1 | 0.0388791 | 0.0046536 | 0.026146 | 0.0516122 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.0335508 | 0.0022649 | 0.027354 | 0.0397480 | <.0001* | |
| 5 | 2 | 0.0303326 | 0.0046490 | 0.017612 | 0.0430532 | <.0001* | |
| 5 | 6 | 0.0250044 | 0.0061757 | 0.008106 | 0.0419023 | 0.0006* | |
| 6 | 3 | 0.0196878 | 0.0053763 | 0.004977 | 0.0343985 | 0.0025* | |
| 3 | 1 | 0.0191913 | 0.0034374 | 0.009786 | 0.0285967 | <.0001* | |
| 2 | 3 | 0.0143596 | 0.0035183 | 0.004733 | 0.0239864 | 0.0005* | |
| 6 | 2 | 0.0053282 | 0.0047137 | -0.007569 | 0.0182257 | 0.7904 | |

Altura del filtrum

En la regresión de la altura del *filtrum* (figura 22), los cambios de forma no son muy evidentes. En la altura denominada como baja, apenas se percibe que la unión del borde inferior del tabique nasal se encuentra muy ligeramente por debajo del promedio, mientras que la altura denominada como promedio obedece la norma determinada por el *wireframe* correspondiente a la clasificación mencionada. Por otro lado, en la altura denominada como alta apenas se percibe que la unión del borde inferior del tabique nasal se encuentra muy ligeramente por arriba del promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.151607, un R^2 ajustado de 0.150188 y un valor $p < 0.0001$.

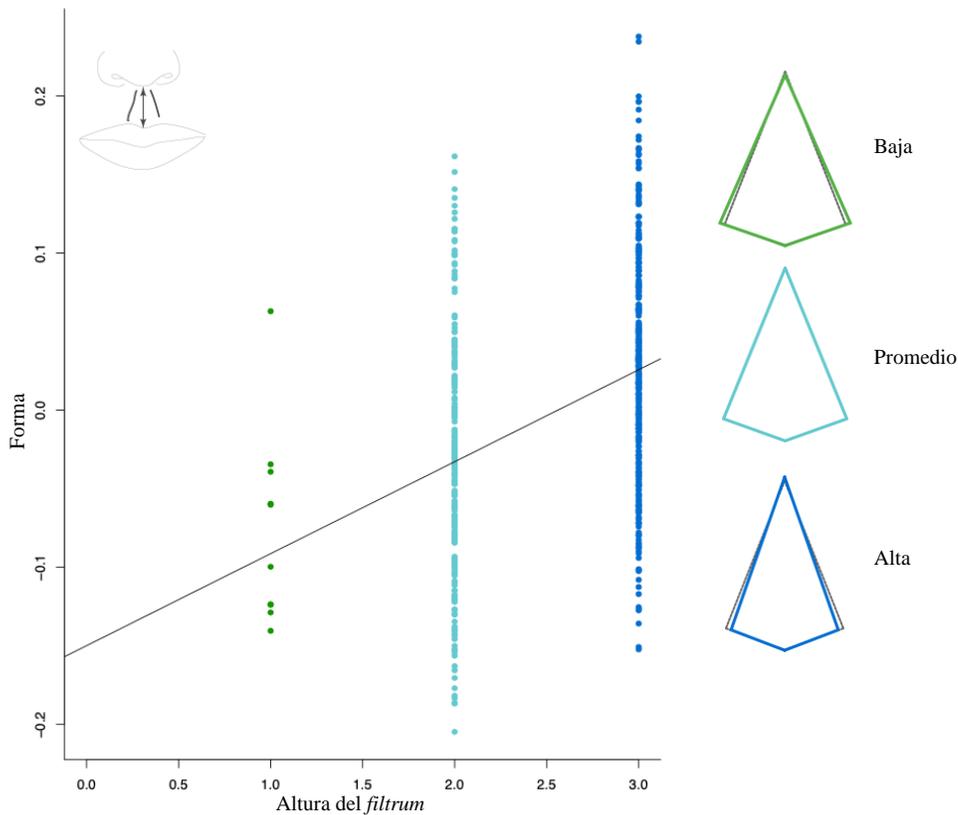


Figura 22. Regresión de la altura del *filtrum*. El gráfico representa la regresión de la altura del *filtrum*. En el eje x se representan las clasificaciones de la altura del *filtrum* de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la altura del *filtrum*, son presentados la norma frontal. La altura del *filtrum* fue representada por los *landmarks* subnasal (7), Crista Philtre (12 y 13) y labial superior (14).

En el análisis de componentes principales se obtuvo que los cambios de forma asociada al CP1 (89.469 % de varianza explicada), se percibe que la unión del borde inferior del tabique nasal se encuentra muy ligeramente por debajo del promedio y el punto medio del borde bermellón del labio superior se encuentra justo en el promedio (figura 23B). Por otro lado, en los cambios de forma asociada al CP2 (10.531 % de varianza explicada) se observa que la unión del borde inferior del tabique nasal se encuentra justo en el promedio, a diferencia del CP1 y el punto medio del borde bermellón del labio superior se encuentra por debajo del promedio (figura 23B).

En los gráficos de dispersión de los componentes principales (figura 23A) se observa que las alturas del *filtrum* se superponen. La altura del *filtrum* baja desplaza la muestra hacia el

lado negativo, mientras que la altura alta posiciona hacia el lado positivo de la muestra. La varianza total es de 0.00708508, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000078200659.

Tabla 13. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00633898 | 89.469 | 89.469 |
| 2 | 0.00074610 | 10.531 | 100 |

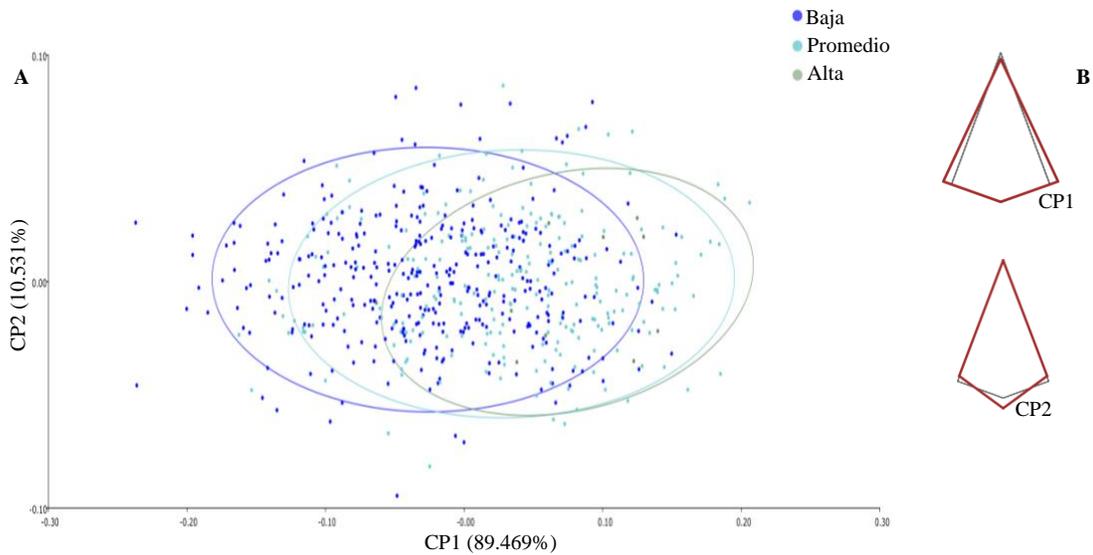


Figura 23. Análisis de componentes principales (ACP) de la altura del *filtrum*. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1 y 2 de la forma (A). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La altura del *filtrum* fue representada por los *landmarks* subnasal (7), Crista Philtre (12 y 13) y labial superior (14).

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 14.

Tabla 14. Prueba Tukey de la altura del *filtrum*. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 3 | 1 | 0.1008854 | 0.0235380 | 0.045581 | 0.1561897 | <.0001* | |
| 3 | 2 | 0.0603814 | 0.0061345 | 0.045968 | 0.0747947 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.0405040 | 0.0236758 | -0.015124 | 0.0961321 | 0.2020 | |

Muesca del labio superior

En la regresión de la muesca del labio superior (figura 24), los cambios de forma asociados no son muy evidentes. En el caso de la clasificación relativamente recto, los bordes ubicados en la cresta del *filtrum*, sobre la frontera del bermellón, presentan una muy ligera aproximación hacia la línea media, además de que se encuentran ligeramente debajo de su ubicación promedio representada por la línea discontinua del *wireframe* y el punto medio del borde bermellón del labio superior se encuentra por encima del promedio, mientras que la forma denominada como ondulada obedece la norma del *wireframe* promedio. Por otro lado, en la forma angular se observa que los bordes ubicados en la cresta del *filtrum*, sobre la frontera del bermellón se alejan muy ligeramente de la línea media, además de que se encuentran ligeramente por encima de su ubicación promedio y el punto medio del borde bermellón del labio superior se encuentra por debajo del promedio, mismo que es representado por la línea discontinua del *wireframe*. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.242406, un R^2 ajustado 0.241139 y un valor $p < 0.0001$.

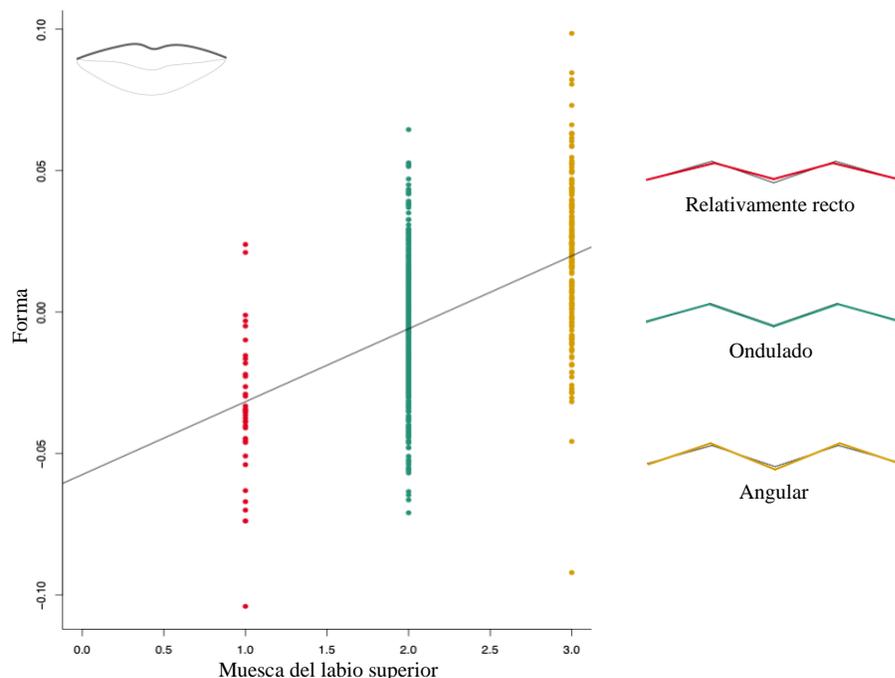


Figura 24. Regresión de la muesca del labio superior. El gráfico representa la regresión de la muesca del labio superior. En el eje x se representan las clasificaciones de la muesca del labio superior de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la muesca del labio superior, son presentados la norma frontal. La forma de la muesca del labio superior fue representada por los *landmarks* Crista Philtre (12 y 13), labial superior (14) y los *semilandmarks* 45 y 46.

En el análisis de componentes principales con la finalidad de identificar las principales tendencias en la variación morfológica (figura 25), se obtuvo que en los cambios de forma asociada al CP1 (50.167 % de varianza explicada), se percibe que los bordes ubicados en la cresta del *filtrum*, sobre la frontera del bermellón se alejan de la línea media y se ubican por debajo del promedio, además de que el punto medio del borde bermellón del labio superior se encuentra debajo del promedio, otro cambio asociado es la ubicación de las esquinas externas de la muesca del labio superior que se encuentran ligeramente por encima del promedio (figura 25B). Por otro lado, en los cambios de forma asociados al CP2 (31.914 % de varianza explicada), al igual que el CP1, los bordes ubicados en la cresta del *filtrum*, sobre la frontera del bermellón se alejan de la línea media, pero se ubican por encima del promedio y las esquinas externas de la muesca del labio superior se encuentran por debajo del promedio, reduciendo ligeramente el ángulo formado entre los bordes ubicados en la cresta del *filtrum* sobre la frontera del bermellón y las esquinas externas (figura 25B).

En el CP3 (17.918% de varianza explicada) incrementa el ángulo formado entre los bordes ubicados en la cresta del *filtrum* sobre la frontera del bermellón y las esquinas externas de la muesca al encontrarse bordes de la cresta del *filtrum* por debajo del promedio (figura 25B).

En los gráficos de dispersión de los componentes principales (figura 25A) se observa que los tipos de muesca del labio superior se superponen. La forma relativamente recta desplaza la muestra hacia el lado negativo, mientras que las formas ondulada y angular traccionan hacia el lado positivo de la muestra. La varianza total es de 0.00345645, la varianza de los eigenvalores es de 0.01743.

Tabla 15. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00173401 | 50.167 | 50.167 |
| 2 | 0.00110311 | 31.914 | 82.082 |
| 3 | 0.00061933 | 17.918 | 100 |

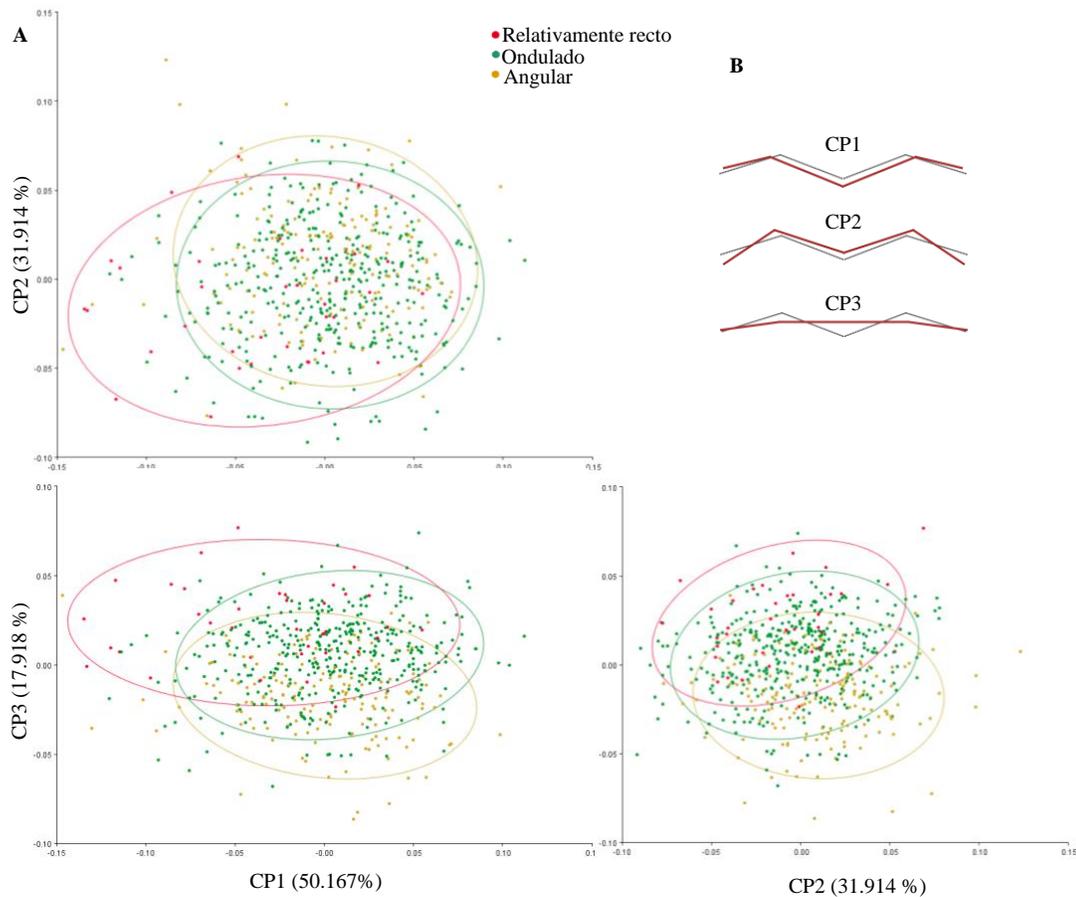


Figura 25. Análisis de componentes principales (ACP) de la muesca del labio superior. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1, 2 y 3 de la forma (A, superior, inferior e izquierdo). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La forma de la muesca del labio superior fue representada por los *landmarks* Crista Philtre (12 y 13), labial superior (14) y los *semilandmarks* 45 y 46.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 16.

Tabla 16. Prueba Tukey de la muesca del labio superior. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 3 | 1 | 0.0539917 | 0.0045502 | 0.0433006 | 0.0646829 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.0294342 | 0.0043262 | 0.0192694 | 0.0395990 | <.0001* | |
| 3 | 2 | 0.0245575 | 0.0022681 | 0.0192284 | 0.0298866 | <.0001* | |

Orientación de la esquina de la boca

En las regresiones de la orientación de la esquina de la boca (figura 26), los cambios asociados no son muy evidentes. En todas las clasificaciones, la esquina externa de la boca donde se unen los labios superior e inferior no dista de la ubicación promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.184366, un R^2 ajustado 0.183002 y un valor $p < 0.0001$.

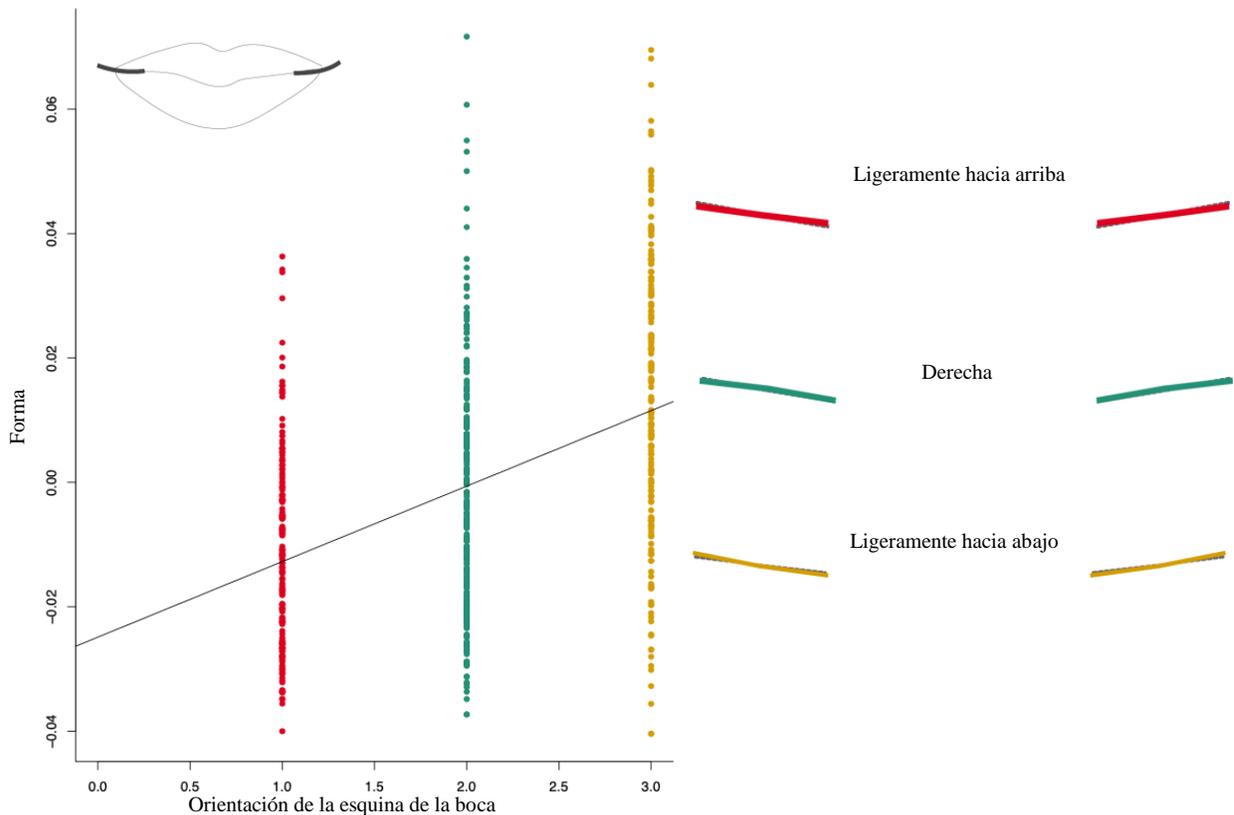


Figura 26. Regresión de la orientación de la esquina de la boca. El gráfico representa la regresión de la orientación de la esquina de la boca. En el eje x se representan las clasificaciones de la orientación de la esquina de la boca de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la orientación de la esquina de la boca, son presentados la norma frontal. La forma de la orientación de la esquina de la boca fue representada por los *landmarks* Chelion (10 y 11), así como los *semilandmarks* 48, 49, 52 y 53.

En el análisis de componentes principales se obtuvo que en los cambios de forma asociada al CP1 (53.587 % de varianza explicada), las esquinas externas de la boca donde se unen los labios superior e inferior se encuentran inclinadas hacia abajo, al contrario de lo que sucede con el CP2 (33.257% de varianza explicada) donde las esquinas externas de la boca se

encuentran orientadas hacia arriba (figura 27B). En el caso del CP3 (10.689% de varianza explicada), las esquinas externas de la boca, de igual manera, se encuentran orientadas hacia arriba, pero en este caso, parte de la hendidura de la boca que se encuentra más proximal a las esquinas de la boca, se encuentra por debajo de la hendidura de la boca promedio (figura 27B).

En los gráficos de dispersión de los componentes principales (figura 27A) se observa que las orientaciones de la esquina de la boca se superponen. La clasificación ligeramente hacia abajo desplaza la muestra hacia el lado negativo, mientras que las formas ondulada y angular traccionan hacia el lado positivo de la muestra, lo anterior en los casos del CP1 contra el CP2 y CP3. La varianza total es de 0.00090735, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000000328877.

Tabla 17. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00048622 | 53.587 | 53.587 |
| 2 | 0.00030175 | 33.257 | 86.844 |
| 3 | 0.00009698 | 10.689 | 97.532 |

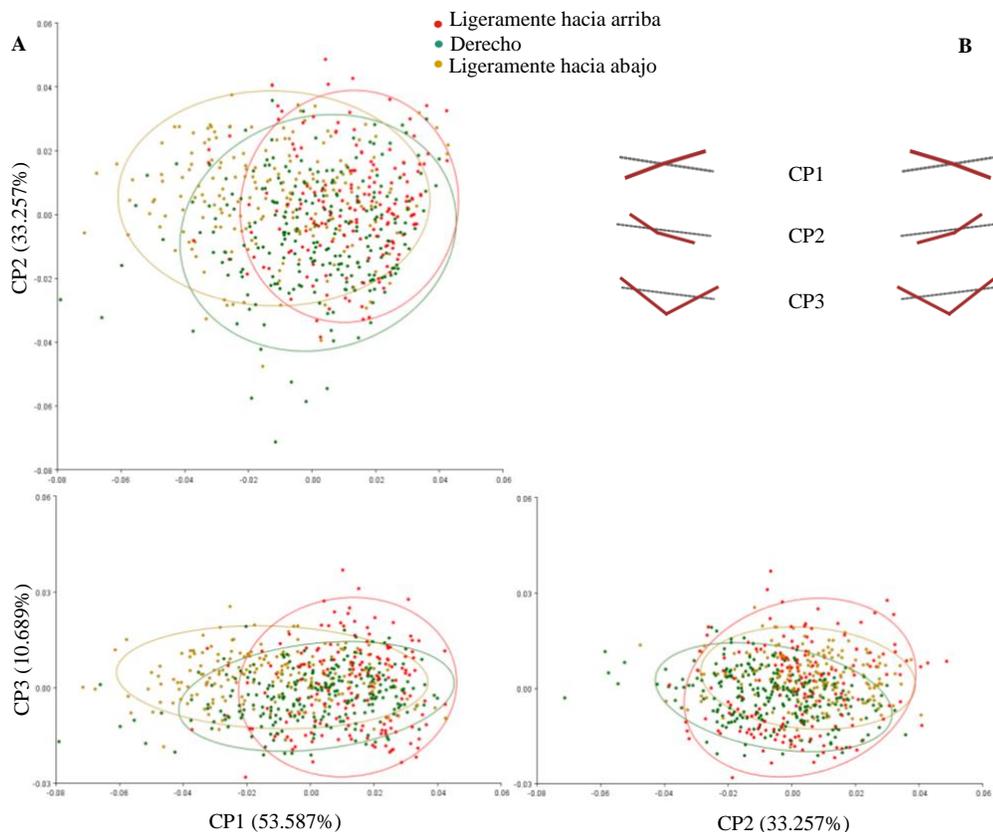


Figura 27. Análisis de componentes principales (ACP) de la orientación de la esquina de la boca. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1, 2 y 3 de la forma (A, superior, inferior e izquierdo). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La orientación de la esquina de la boca fue representada por los *landmarks* Chelion (10 y 11), así como los *semilandmarks* 48, 49, 52 y 53.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 18.

Tabla 18. Prueba Tukey de la orientación de la esquina de la boca. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 3 | 1 | 0.0240065 | 0.0020825 | 0.0191135 | 0.0288994 | <.0001* | |
| 3 | 2 | 0.0159565 | 0.0018919 | 0.0115114 | 0.0204017 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.0080499 | 0.0019856 | 0.0033846 | 0.0127153 | 0.0002* | |

Forma de la hendidura de la boca

En la regresión de la forma de la hendidura de la boca (figura 28) se observan ligeros cambios. En la forma denominada como derecha, las esquinas externas de la boca donde se unen los labios superior e inferior se encuentran ubicadas ligeramente por debajo del promedio y la hendidura de la boca se encuentra muy ligeramente por encima del promedio. En la forma hacia arriba, las esquinas externas de la boca se ubican en el promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial se encuentra por debajo del promedio. Por otro lado, en la forma hacia abajo, las esquinas externas de la boca se ubican ligeramente por encima del promedio, el punto medio de la fisura labial se encuentra en el promedio y el resto de la hendidura de la boca se observa ligeramente por debajo del promedio. En cuanto a la forma ondulada, las esquinas externas de la boca se ubican en el promedio, al igual que el resto de la hendidura de la boca a excepción del punto medio de la fisura labial, el cual se encuentra ligeramente por encima del promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.210698, un R^2 ajustado 0.209378 y un valor $p < 0.0001$.

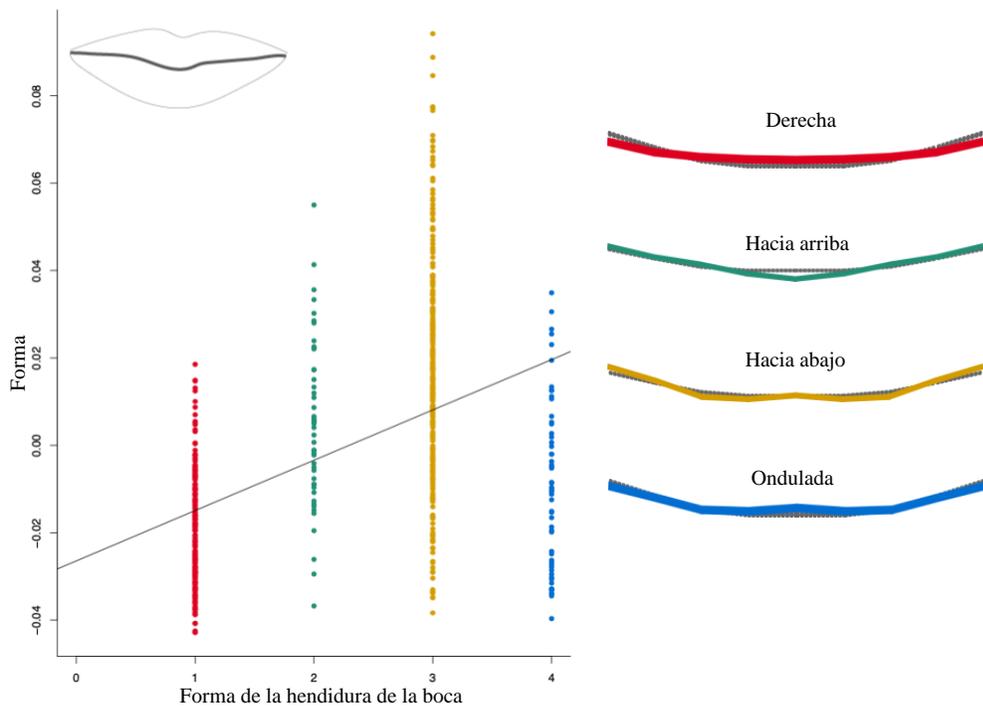


Figura 28. Regresión de la forma de la hendidura de la boca. El gráfico representa la regresión de la forma de la hendidura de la boca. En el eje x se representan las clasificaciones de la forma de la hendidura de la boca de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la forma de la hendidura de la boca, son presentados la norma frontal. La forma de la hendidura de la boca fue representada por los *landmarks* Chelion (10 y 11), Stomion (15) y los *semilandmarks* 48 al 53.

En el análisis de componentes principales se obtuvo que en los cambios de forma asociada al CP1 (47.702 % de varianza explicada), las esquinas externas de la boca se observan por encima de la ubicación promedio y el punto medio de la fisura labial, así como el resto de la hendidura de la boca se observan por debajo de la forma promedio (figura 29B). En el CP2 (27.187% de varianza explicada) se observa una trayectoria más recta de la hendidura de la boca al encontrarse las esquinas externas de la boca por debajo del promedio, sin embargo, esta trayectoria se ve interrumpida por la ubicación por encima del promedio del punto medio de la fisura labial (figura 29B). Por otro lado, en el CP3 (14.008% de varianza explicada), las esquinas externas de la boca se encuentran ligeramente por debajo del promedio, al igual que el punto medio de la fisura labial, sin embargo, el resto de la hendidura de la boca se observa por encima del promedio (figura 29B).

En los gráficos de dispersión (figura 29A), las cuatro clasificaciones de la forma de la hendidura de la boca se superponen, observándose en todos los gráficos que la muestra se agrupa principalmente hacia el eje negativo. La varianza total es de 0.00159461, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000000667193.

Tabla 19. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00076067 | 47.702 | 47.702 |
| 2 | 0.00043353 | 27.187 | 74.89 |
| 3 | 0.00022338 | 14.008 | 88.898 |
| 4 | 0.00010575 | 6.632 | 95.529 |

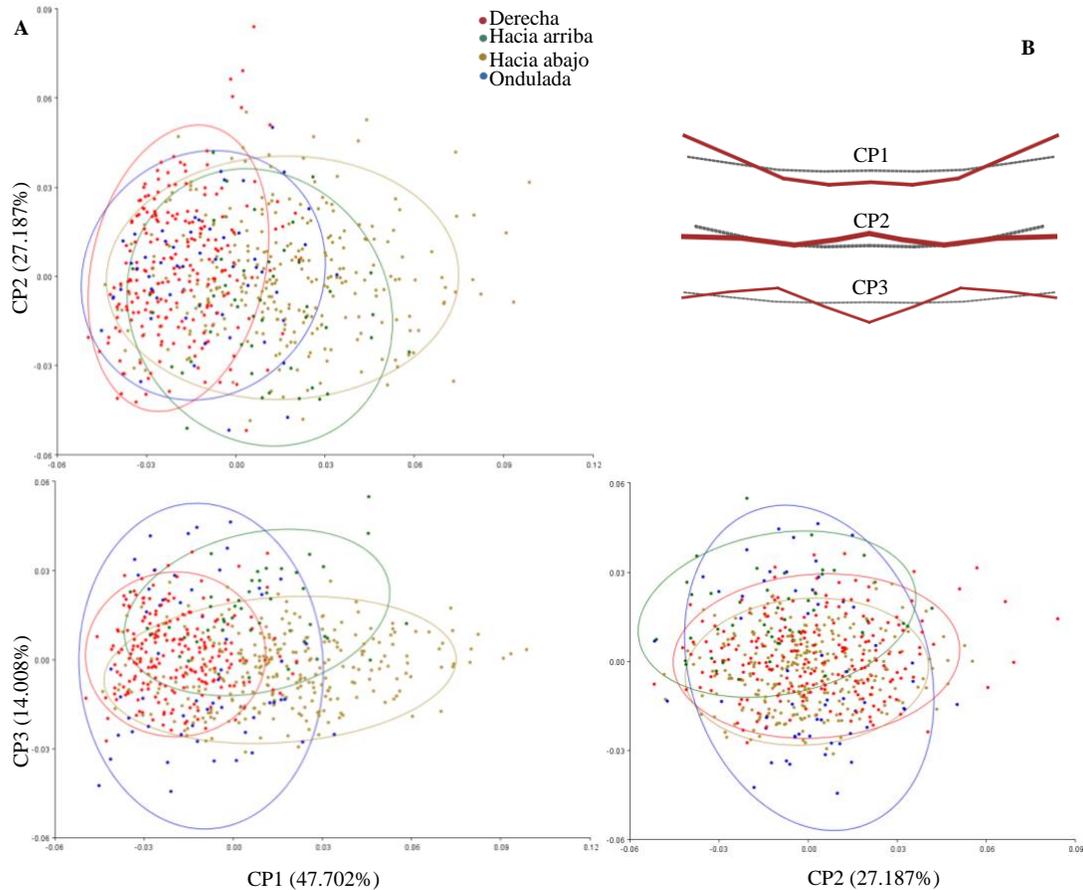


Figura 29. Análisis de componentes principales (ACP) de la forma de la hendidura de la boca. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1, 2 y 3 de la forma (A, superior, inferior e izquierdo). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La forma de la hendidura de la boca fue representada por los *landmarks* Chelion (10 y 11), Stomion (15) y los *semilandmarks* 48 al 53.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 20.

Tabla 20. Prueba Tukey de la forma de la hendidura de la boca. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| Nivel | - Nivel | Diferencia | Error estándar de la diferencia | Límite de control inferior | Límite de control superior | Valor p | Gráfico |
|-------|---------|------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------|
| 3 | 1 | 0.0360086 | 0.0018823 | 0.0311593 | 0.0408580 | <.0001* | |
| 3 | 4 | 0.0259594 | 0.0030203 | 0.0181782 | 0.0337406 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.0244246 | 0.0033454 | 0.0158057 | 0.0330435 | <.0001* | |
| 2 | 4 | 0.0143754 | 0.0040952 | 0.0038248 | 0.0249260 | 0.0027* | |
| 3 | 2 | 0.0115840 | 0.0032764 | 0.0031430 | 0.0200250 | 0.0025* | |
| 4 | 1 | 0.0100492 | 0.0030950 | 0.0020754 | 0.0180230 | 0.0067* | |

Amplitud labial

En la regresión de la amplitud labial (figura 30), no se muestran cambios en la forma.

El intervalo entre las comisuras labiales no presenta cambios, es decir que, en la clasificación de amplitud labial estrecha, el intervalo observado entre las esquinas externas de la boca donde se unen los labios superior e inferior no se muestra reducida. En el caso de la clasificación promedio, al igual que las demás clasificaciones, el intervalo entre las comisuras labiales obedece la norma promedio y, la clasificación ancha no presenta un intervalo incrementado entre comisuras labiales.

En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 3.583×10^{-6} , un R^2 ajustado -0.00167 y un valor p 0.9631 .

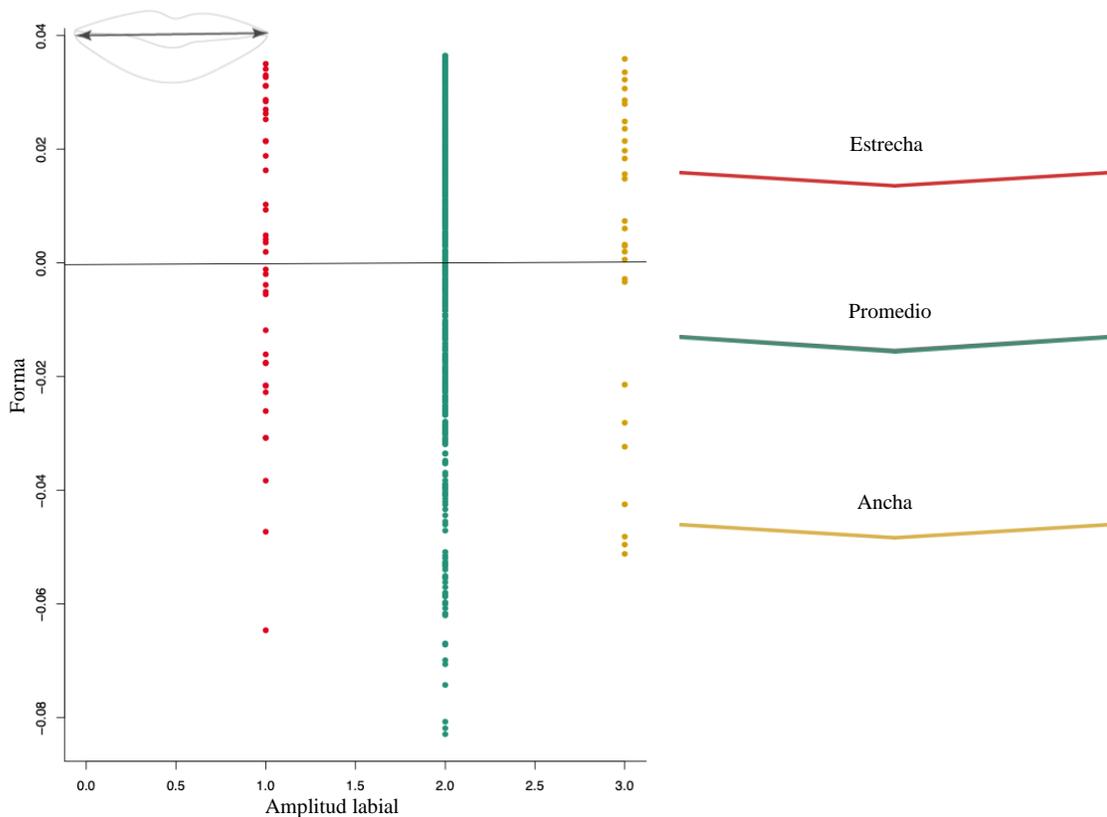


Figura 30. Regresión de la forma de la amplitud labial. El gráfico representa la regresión de la amplitud labial. En el eje x se representan las clasificaciones de la forma de la amplitud labial de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la forma de la amplitud labial, son presentados la norma frontal. La amplitud labial fue representada por los *landmarks* Chelion (10 y 11) y Stomion (15).

En el análisis de componentes principales se obtuvo únicamente un componente principal (100 % de varianza explicada), cuyos cambios asociados son únicamente en el punto medio de la fisura labial, mismo que se ubica por encima del promedio, sobre la línea media, también observándose cambios en las esquinas externas de la boca, pero los cambios que presentan éstas son en su ubicación por debajo del promedio, sin embargo, no se observan cambios en la distancia de las comisuras de la boca (figura 31B). La varianza total es de 0.00065563, la varianza de los eigenvalores es de 0.

Tabla 21. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00065563 | 100 | 100 |

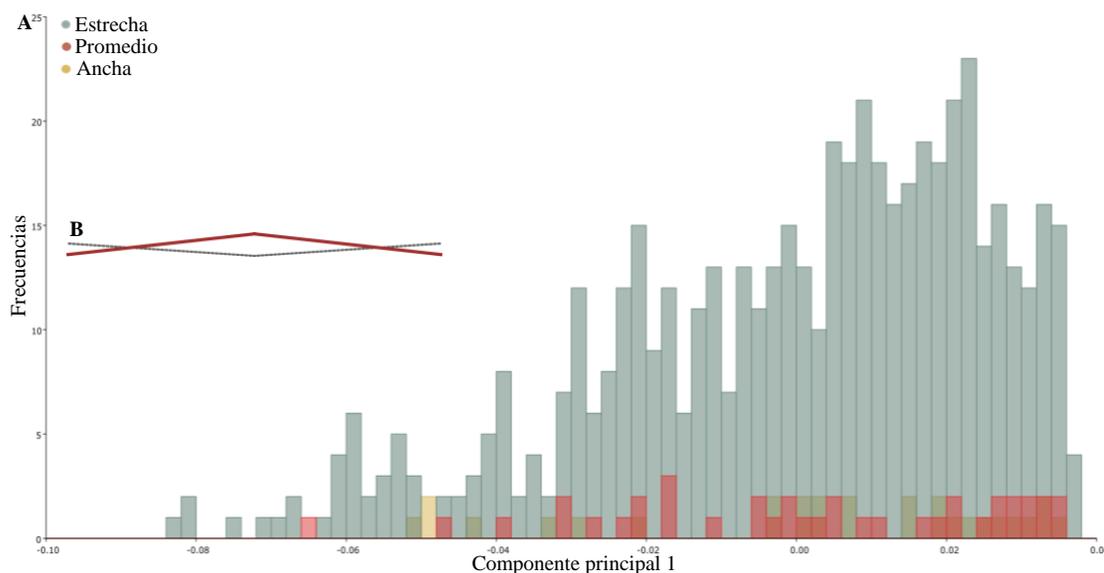


Figura 31. Análisis de componentes principales (ACP) de la forma de la amplitud labial. Se muestran gráficas de barras del CPI y sus frecuencias (A). El gráfico B representa el *wireframe* de los cambios asociados al CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La amplitud labial fue representada por los *landmarks* Chelion (10) y Stomion (15).

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.7956 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 22.

Tabla 22. Prueba Tukey de la forma de la amplitud labial. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 3 | 2 | 0.0027475 | 0.0049708 | -0.008932 | 0.0144268 | 0.8451 | |
| 1 | 2 | 0.0017930 | 0.0042530 | -0.008200 | 0.0117856 | 0.9067 | |
| 3 | 1 | 0.0009545 | 0.0063506 | -0.013967 | 0.0158757 | 0.9876 | |

Bermellón superior

En la regresión del bermellón superior (figura 32) se observa que entre el punto medio del borde bermellón del labio superior y el punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente presenta cambios. En la clasificación de bermellón superior delgado, se observa que el punto medio del borde bermellón del labio superior se ubica por debajo del promedio, al igual que los bordes ubicados en la cresta del *filtrum*, sobre la frontera del bermellón y, el punto medio de la fisura labial se ubica arriba del promedio, aproximándose al punto medio del borde bermellón del labio superior. Por otro lado, en la clasificación promedio, tanto la ubicación del punto medio del borde bermellón del labio superior como los bordes ubicados en la cresta del *filtrum*, sobre la frontera del bermellón coincide con el promedio, sin embargo, el punto medio de la fisura labial se ubica por debajo del promedio.

Los cambios asociados a la clasificación del bermellón superior amplio son que tanto la ubicación del punto medio del borde bermellón del labio superior como los bordes ubicados en la cresta del *filtrum* sobre la frontera del bermellón se encuentran por arriba del promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial se encuentra por debajo del promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.270388, un R^2 ajustado 0.269168 y un valor p 0.0001.

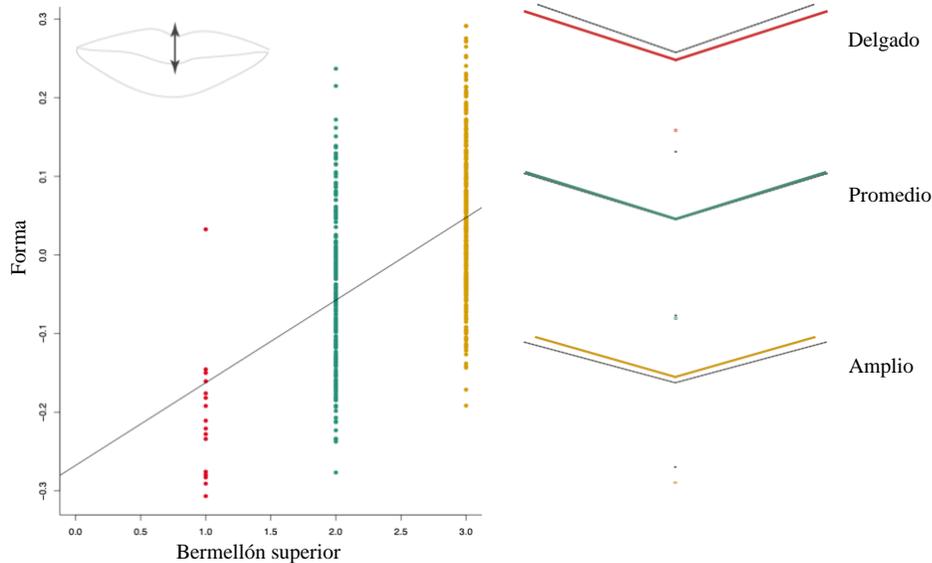


Figura 32. Regresión de la forma del bermellón superior. El gráfico representa la regresión del bermellón superior. En el eje x se representan las clasificaciones del bermellón superior de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio del bermellón superior, son presentados la norma frontal. El bermellón superior fue representado por los *landmarks* Crista Philtre (12 y 13), labial superior (14) y Stomion (15).

En el análisis de componentes principales con la finalidad de identificar las principales tendencias en la variación morfológica, se obtuvo que en el CP1 (87.040% de varianza explicada) tanto la ubicación del punto medio del borde bermellón del labio superior como los bordes ubicados en la cresta del *filtrum* sobre la frontera del bermellón se encuentran debajo del promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial se encuentra por arriba del promedio (figura 33B). En cuanto al CP2 (12.96% de varianza explicada) los bordes ubicados en la cresta del *filtrum* sobre la frontera del bermellón se ubican debajo de la forma promedio y la ubicación del punto medio del borde bermellón del labio superior se encuentra por encima del promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial se ubica muy ligeramente por debajo del promedio (figura 33B). En el gráfico de dispersión (figura 33A), si bien todas las clasificaciones de forma del bermellón superior se superponen, toda la muestra se observa dispersa a lo largo del CP1, encontrándose la clasificación delgado hacia el eje positivo y la clasificación amplio hacia el eje negativo. La varianza total es de 0.01414940, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000274676844.

Tabla 23. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.01231566 | 87.040 | 87.040 |
| 2 | 0.00183374 | 12.96 | 100 |

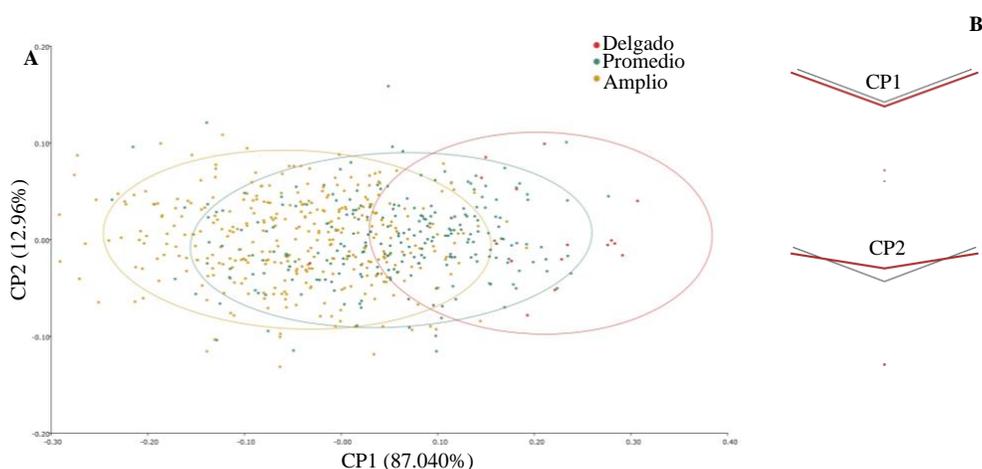
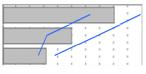


Figura 33. Análisis de componentes principales (ACP) de la forma del bermellón superior. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1 y 2 de la forma (A). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. El bermellón superior fue representado por los *landmarks* Crista Philtre (12 y 13), labial superior (14) y Stomion (15).

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 24.

Tabla 24. Prueba Tukey de la forma del bermellón superior. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|---|
| 3 | 1 | 0.2520220 | 0.0241902 | 0.1951853 | 0.3088586 | <.0001* |  |
| 2 | 1 | 0.1548378 | 0.0244268 | 0.0974453 | 0.2122304 | <.0001* | |
| 3 | 2 | 0.0971841 | 0.0079607 | 0.0784798 | 0.1158885 | <.0001* | |

Bermellón inferior

En la regresión del bermellón inferior (figura 34) se observa que entre el punto medio del borde del bermellón inferior y el punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente presenta cambios. En la clasificación de bermellón inferior delgado, el punto medio del borde del bermellón inferior se ubica por encima del promedio y el punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente se ubica abajo del promedio. En cuanto a la clasificación promedio, el punto medio del borde del bermellón inferior sigue la norma promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial se ubica ligeramente arriba del promedio. Por otro lado, en la clasificación del bermellón inferior amplio, el punto medio del borde del bermellón inferior se ubica por abajo del promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente se ubica arriba del promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.44751, un R^2 ajustado 0.446587 y un valor p 0.0001.

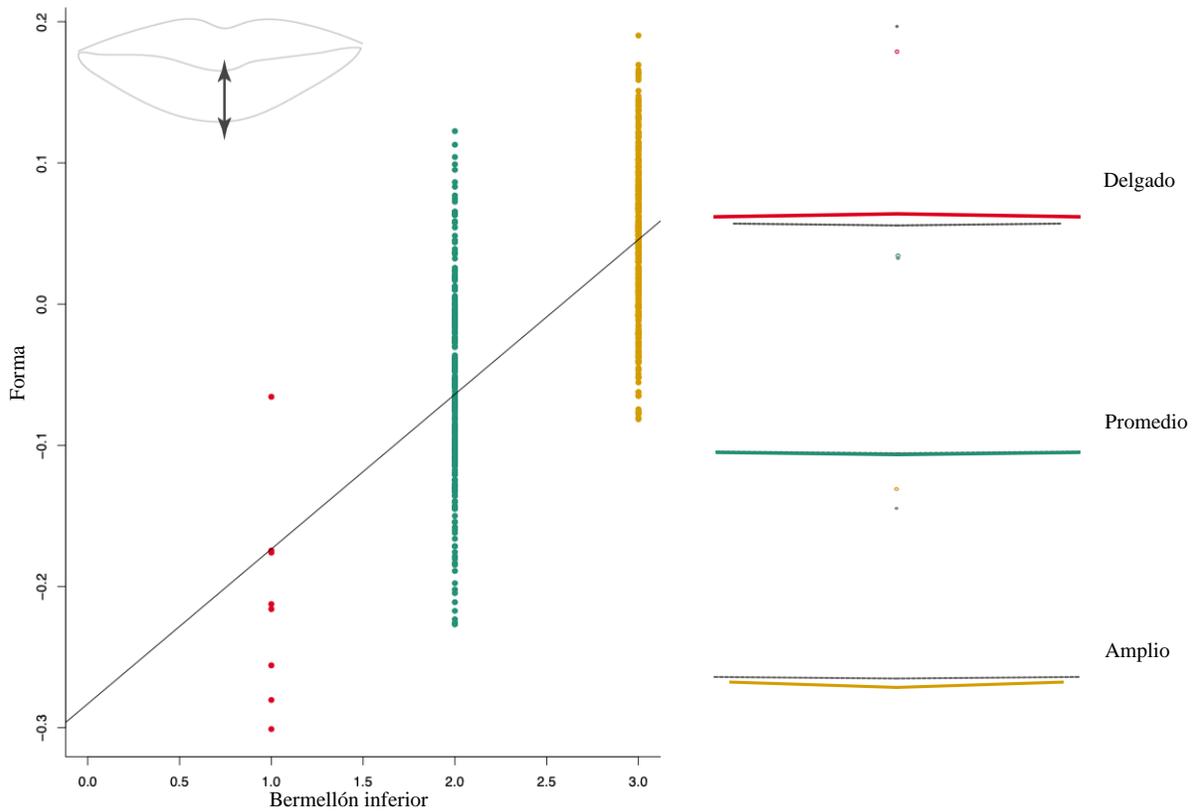


Figura 34. Regresión de la forma del bermellón inferior. El gráfico representa la regresión del bermellón inferior. En el eje x se representan las clasificaciones del bermellón inferior de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio del bermellón inferior, son presentados la norma frontal. El bermellón inferior fue representado por los *landmarks* Stomion (15), labial inferior (16), así como los *semilandmarks* 56 y 57.

En el análisis de componentes principales con la finalidad de identificar las principales tendencias en la variación morfológica, se obtuvo que en el CP1 (93.23% de varianza explicada) el punto medio del borde del bermellón inferior se ubica por arriba del promedio, mientras que el punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente se ubica debajo del promedio (figura 35B). En el CP2 (6.77% de varianza explicada) se observa que el punto medio del borde del bermellón inferior se ubica debajo del promedio y el punto medio de la fisura labial cuando los labios están cerrados naturalmente se ubica en el promedio (figura 35B). En los gráficos de dispersión (figura 35A), si bien todas las clasificaciones de forma del bermellón inferior se superponen, toda la muestra se observa dispersa a lo largo del CP1, encontrándose la clasificación delgado hacia el eje positivo y la clasificación amplio hacia el eje

negativo (figura 35A). La varianza total es de 0.00778191, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000113173459.

Tabla 25. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00725508 | 93.23 | 93.23 |
| 2 | 0.00052683 | 6.77 | 100 |

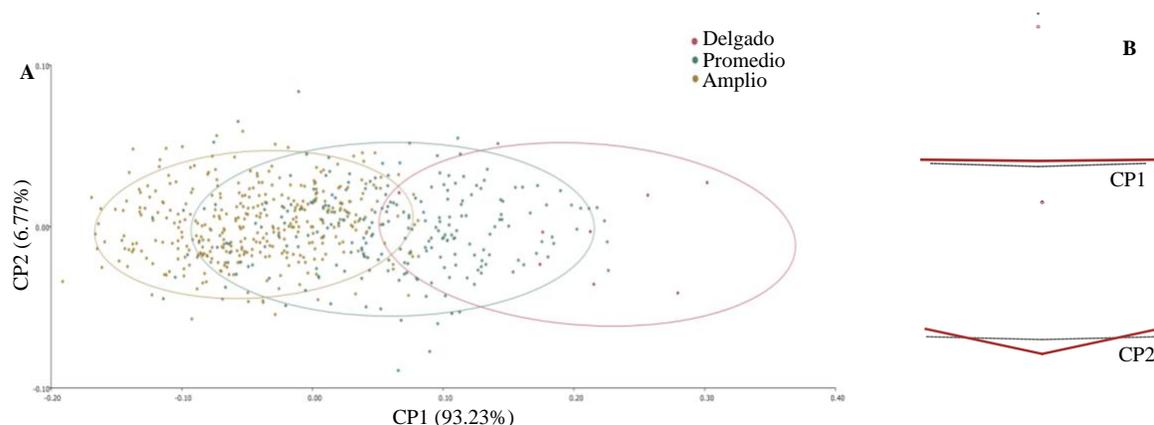


Figura 35. Análisis de componentes principales (ACP) de la forma del bermellón inferior. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1 y 2 de la forma (A). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. El bermellón inferior fue representado por los *landmarks* Stomion (15), labial inferior (16), así como los *semilandmarks* 56 y 57.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 26.

Tabla 26. Prueba Tukey de la forma del bermellón inferior. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| <i>Nivel</i> | <i>- Nivel</i> | <i>Diferencia</i> | <i>Error estándar de la diferencia</i> | <i>Límite de control inferior</i> | <i>Límite de control superior</i> | <i>Valor p</i> | <i>Gráfico</i> |
|--------------|----------------|-------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| 3 | 1 | 0.2551290 | 0.0226039 | 0.2020195 | 0.3082385 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.1488781 | 0.0227344 | 0.0954619 | 0.2022943 | <.0001* | |
| 3 | 2 | 0.1062509 | 0.0053155 | 0.0937618 | 0.1187399 | <.0001* | |

Forma del mentón

En la regresión de la forma del mentón (figura 36) no se observan cambios evidentes en la forma. En el caso de la clasificación de forma del mentón redondo, todo el borde de la barbilla, desde el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla hasta el punto de proyección más externo de la cara a lo largo del eje horizontal de la boca, obedece la norma promedio. Al igual que la forma del mentón redonda, en la forma del mentón cuadrado, todo el borde de la barbilla, a excepción del punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla, obedecen la norma promedio, mientras que el punto mencionado se ubica muy ligeramente por arriba del promedio. Por otro lado, al igual que la forma del mentón cuadrado, en la clasificación de mentón puntiagudo, todo el borde de la barbilla, a excepción del punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla, obedece la norma promedio, mientras que el punto mencionado se ubica muy ligeramente por debajo del promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.023674, un R^2 ajustado 0.022041 y un valor p 0.0002.

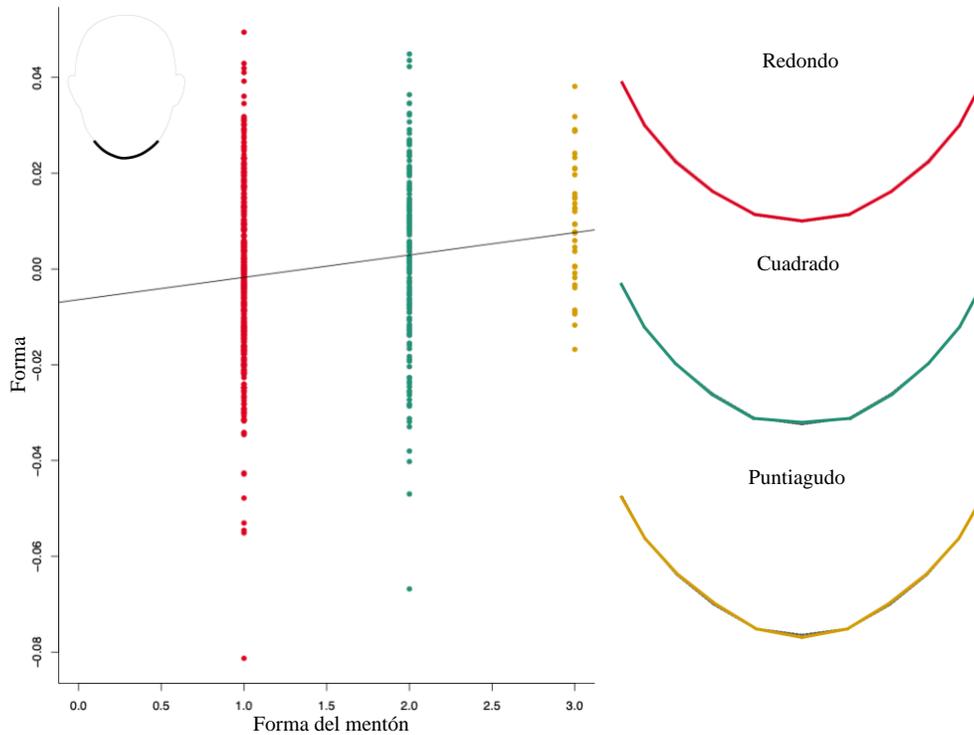


Figura 36. Regresión de la forma del mentón. El gráfico representa la regresión de la forma del mentón. En el eje x se representan las clasificaciones de la forma del mentón de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la forma del mentón, son presentados la norma frontal. La forma del mentón fue representada por los *landmarks* Gnathion (17), Gonion (8 y 9), así como los *semilandmarks* 18 a 21 y 40 a 43.

En el análisis de componentes principales con la finalidad de identificar las principales tendencias en la variación morfológica, se obtuvo que en el CP1 (64.251% de varianza explicada) se observan cambios en el borde de la barbilla, observándose una forma redonda (figura 37B). En el CP2 (19.851 % de varianza explicada) se observan cambios en el borde de la barbilla, principalmente en la región mentoniana, donde el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla se observa ligeramente por debajo del promedio (figura 37B). En el CP3 (9.67 % de varianza explicada) se observa que la región mentoniana se posiciona por debajo del promedio (figura 37B).

En los gráficos de dispersión (figura 37A), todas las clasificaciones de la forma del mentón se superponen, observándose que la elipse de la forma del mentón puntiagudo se reduce ligeramente. La varianza total es de 0.00112888, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000000498792. Cabe mencionar que el número de componentes del análisis es de nueve.

Tabla 27. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00072531 | 64.251 | 64.251 |
| 2 | 0.0002241 | 19.851 | 84.102 |
| 3 | 0.00010917 | 9.67 | 93.772 |
| 4 | 0.00004521 | 4.005 | 97.777 |

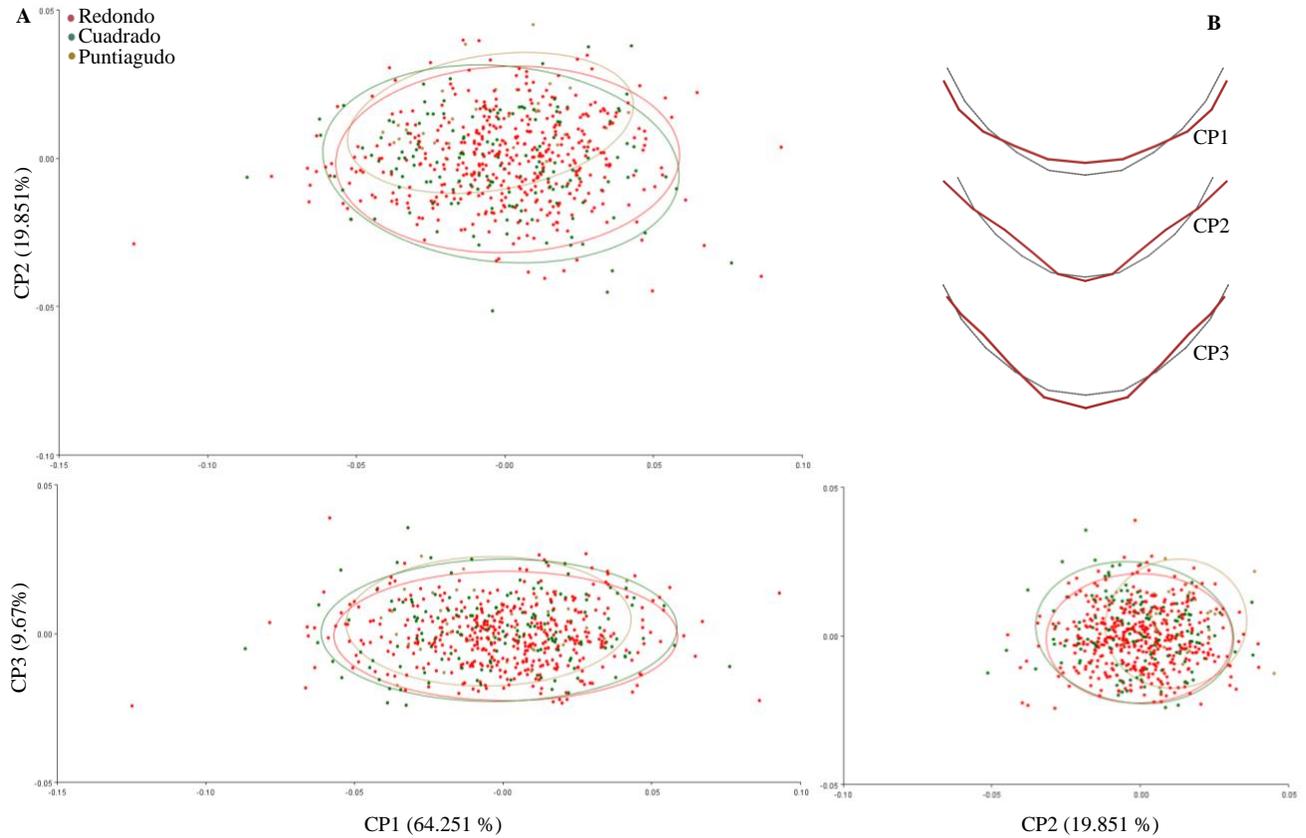


Figura 37. Análisis de componentes principales (ACP) de la forma del mentón. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1, 2 y 3 de la forma (A, superior, inferior e izquierdo). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La forma del mentón fue representada por los *landmarks* Gnathion (17), Gonion (8 y 9), así como los *semilandmarks* 18 a 21 y 40 a 43.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0004 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 28.

Tabla 28. Prueba Tukey de la forma del mentón. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| Nivel | - Nivel | Diferencia | Error estándar de la diferencia | Límite de control inferior | Límite de control superior | Valor p | Gráfico |
|-------|---------|------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------|
| 3 | 1 | 0.0114322 | 0.0031276 | 0.004084 | 0.0187808 | 0.0008* | |
| 3 | 2 | 0.0080086 | 0.0033284 | 0.000188 | 0.0158290 | 0.0433* | |
| 2 | 1 | 0.0034236 | 0.0016818 | -0.000528 | 0.0073751 | 0.1046 | |

Altura del mentón

En la regresión de la altura del mentón (figura 38) se observan ligeros cambios. En el caso de la clasificación de altura baja el punto medio del borde del bermellón del labio inferior se encuentra por debajo del promedio, mientras que el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla se ubica ligeramente por encima del promedio. En cuanto a la clasificación de la altura del mentón promedio, tanto el punto medio del borde del bermellón inferior como el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla obedecen la norma promedio. Por otro lado, en la clasificación de altura del mentón alta, el punto medio del borde del bermellón inferior se encuentra por arriba del promedio, mientras que el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla se ubica ligeramente por debajo del promedio. En el gráfico de regresión se obtuvo un R^2 de 0.367453, un R^2 ajustado 0.366397 y un valor p 0.0001.

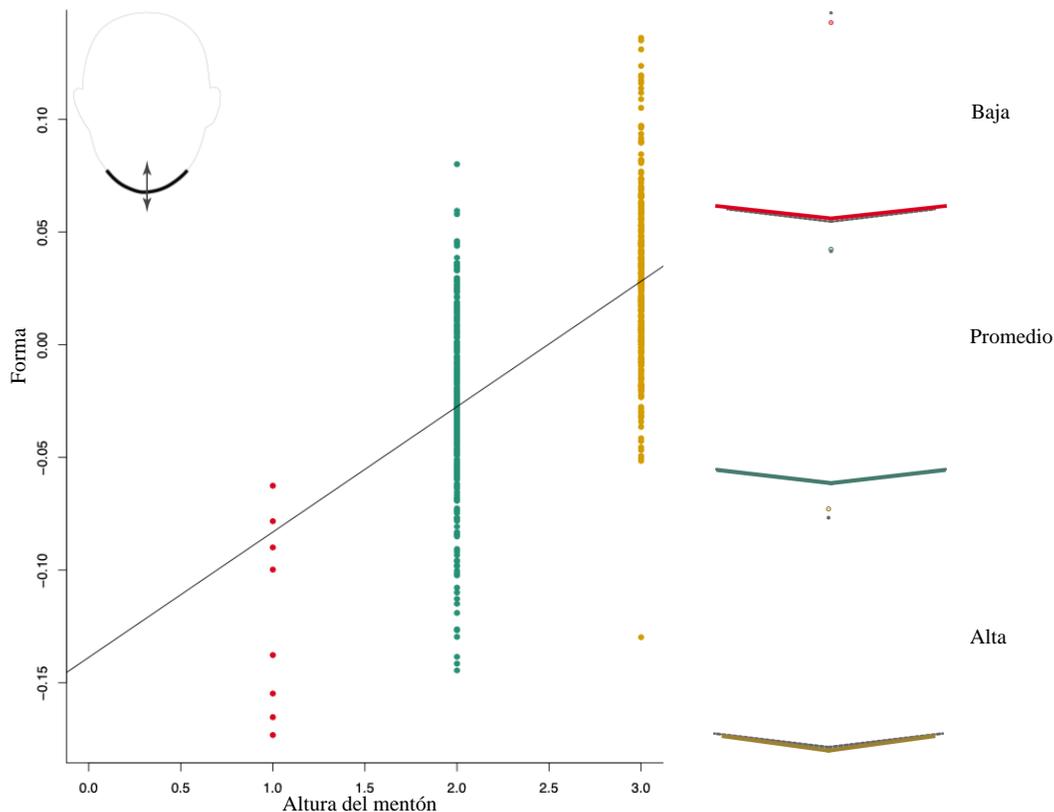


Figura 38. Regresión de la altura del mentón. El gráfico representa la regresión de la altura del mentón. En el eje x se representan las clasificaciones de la altura del mentón de acuerdo con el atlas de clasificación facial *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009). En el lado derecho del gráfico se encuentran los *wireframes* de cada una de las clasificaciones, representadas por el mismo color que se observa en el gráfico, la línea punteada color gris representa el promedio de la altura del mentón, son presentados la norma frontal. La altura del mentón fue representada por los *landmarks* labial inferior (16), Gnathion (17) los *semilandmarks* 43 y 18.

En el análisis de componentes principales con la finalidad de identificar las principales tendencias en la variación morfológica, se obtuvo que en el CP1 (88.929 % de varianza explicada) el punto medio del borde del bermellón inferior se ubica por debajo del promedio, mientras que el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla se ubica ligeramente por encima del promedio (figura 39B). En el CP2 (11.071 % de varianza explicada) el punto más bajo en la línea media en el borde inferior de la barbilla se ubica ligeramente debajo del promedio, mientras que el punto medio del borde del bermellón inferior se ubica en la ubicación promedio (figura 39B).

En los gráficos de dispersión (figura 39A), todas las clasificaciones de forma de la altura del mentón se superponen, sin embargo, la clasificación de altura baja desplaza la muestra hacia el eje positivo, mientras que la clasificación alta la mueve hacia el lado negativo del eje. La varianza total es de 0.00262489, la varianza de los eigenvalores es de 0.0000010441637.

Tabla 29. Tabla de componentes principales con sus eigenvalores y porcentajes de varianza respectivos. La tabla muestra los componentes principales, eigenvalores y porcentaje de varianza.

| <i>Componente principal</i> | <i>Eigenvalor</i> | <i>% Varianza</i> | <i>% Acumulado</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.00233429 | 88.929 | 88.929 |
| 2 | 0.00029060 | 11.071 | 100 |

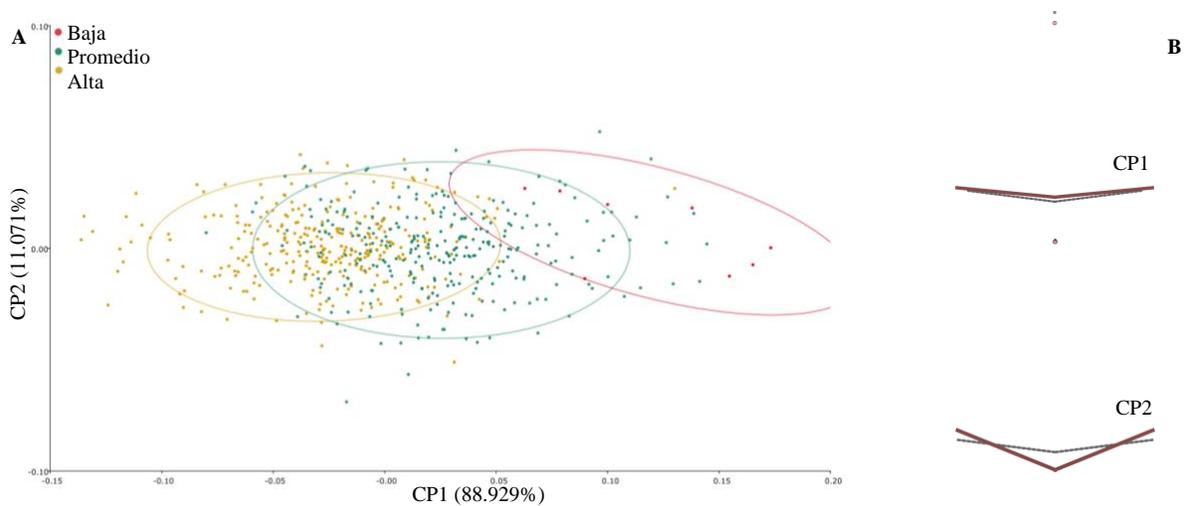


Figura 39. Análisis de componentes principales (ACP) de la altura del mentón. Se muestran gráficas de dispersión del CP 1 y 2 de la forma (A). Las elipses representan el 90% de la varianza. La sección B representa los *wireframes* de los cambios asociados a cada CP, donde la línea continua color rojo representa el cambio asociado y la línea punteada color gris representa la forma promedio, son presentados la norma frontal. La altura del mentón fue representada por los *landmarks* labial inferior (16), Gnathion (17) los *semilandmarks* 43 y 18.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor de p de 0.0001 y en la prueba Tukey se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 30.

Tabla 30. Prueba Tukey de la altura del mentón. La tabla muestra los resultados de la prueba Tukey. En la tabla el asterisco representa un valor de p menor a 0.05.

| Nivel | - Nivel | Diferencia | Error estándar de la diferencia | Límite de control inferior | Límite de control superior | Valor p | Gráfico |
|-------|---------|------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------|
| 3 | 1 | 0.1473917 | 0.0136873 | 0.1152323 | 0.1795510 | <.0001* | |
| 2 | 1 | 0.0947946 | 0.0136971 | 0.0626123 | 0.1269768 | <.0001* | |
| 3 | 2 | 0.0525971 | 0.0031423 | 0.0452140 | 0.0599802 | <.0001* | |

Análisis de conglomerados

Para el análisis de conglomerados se empleó el cálculo de 30 métodos que determinan el número de agrupaciones en un conjunto de datos y que ofrecen el mejor esquema de agrupación a partir de diferentes resultados.

En la tabla 31 se muestran las conclusiones de la aplicación del cálculo de 30 métodos para cada característica evaluada. El contenido de la tabla contempla el mejor número de agrupaciones, así como la segunda opción de agrupación.

Los dendogramas de los *clusters* se encuentran en el **Anexo 2**.

Tabla 31. Conclusiones de la aplicación del cálculo de 30 métodos para cada característica.

| <i>Característica</i> | <i>Mejor número de agrupación</i> | <i>Segunda opción de agrupación</i> |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Forma de la cara | 2 | 4 |
| Altura del <i>filtrum</i> | 3 | 2 |
| Muesca del labio superior | 2 | 8 |
| Orientación de la esquina de la boca | 2 | 12 |
| Forma de la hendidura de la boca | 2 | 5 |
| Amplitud labial | 4 | 9 |
| Bermellón superior | 3 | 2 |
| Bermellón inferior | 2 | 3 |
| Forma del mentón | 2 | 9 |
| Altura del mentón | 2 | 5 |

DISCUSIÓN

México enfrenta una crisis de gran magnitud debido a los casos de personas desaparecidas, no identificadas, entre otros (Hincapie & Bravo, 2017). Por otro lado, entre las necesidades latentes de México se encuentra la identificación de personas que presuntamente hayan cometido un delito y que éstos han sido capturados por sistemas de videograbación. En ambos casos, lograr la identificación exacta de una persona es imprescindible, por esta razón es necesario el empleo de métodos de identificación confiables y seguros (López, 2018) que permitan la reducción del universo de búsqueda y/o la identificación humana propiamente dicha.

El principal objetivo de la identificación facial forense es distinguir entre una identificación precisa de aquella que no lo es (Valentine & Davis, 2015), por esta razón, ante la existencia de casos en los que se cuenta con evidencia de fotografías, cámaras ubicadas en la vía pública, etc., se debe recurrir a un modelo basado en evidencia con la finalidad de brindar una aproximación más objetiva sobre la identificación de un sospechoso o de alguna persona involucrada (Quinto-Sánchez, 2019).

Existen pocos estudios sobre identificación facial forense en población mexicana. En el caso de los trabajos previos, empleando el método morfoscópico, se encuentran aquellos realizados por María Villanueva Sagrado (2001, 2003, 2010), mismos que aportan información basta sobre la asimetría facial, así como sobre los rasgos faciales de los mexicanos y sus frecuencias a nivel nacional, sin embargo, estos datos no se han comparado con otras poblaciones con la finalidad de conocer si existen rasgos faciales distintivos del mexicano en contraste con otras poblaciones. Además, no existen estudios en población mexicana donde se empleen, como método de clasificación, listas o atlas de clasificación que tienen el objetivo de estandarizar las clasificaciones faciales. Si bien los estudios en identificación facial forense en población mexicana donde se emplea el método morfoscópico son pocos, los estudios que emplean la antropometría se encuentran en menor proporción, resaltando que éstos han contribuido a describir la variación morfológica por sexo y grupos de edad de imágenes faciales en vista frontal y lateral en 2D (Farrera, García-Velasco & Villanueva, 2016), así como en la evaluación de la forma facial en 3D con la finalidad de caracterizar la asociación entre ascendencia genética y asimetría individual en una muestra de poblaciones mixtas latinoamericanas (Quinto-Sánchez et al., 2015), sin embargo, es necesario realizar más estudios en este campo de estudio con población mexicana.

Atendiendo la observación sobre el poco o nulo uso de atlas de clasificación que pretenden una estandarización, se realizó la evaluación de fotografías de sujetos mexicanos, obtenidas del proyecto CANDELA (Quinto-Sánchez, 2016), mediante la aplicación del método no métrico, empleando el esquema de descripción y clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009), mismo que promueve la base para un registro estandarizado de los rasgos faciales, sus variaciones, así como para la adquisición de datos con la finalidad de establecer frecuencias de estos rasgos (Ohlrogge et al., 2009).

De los resultados obtenidos en la aproximación no métrica, si bien existe dimorfismo sexual en rasgos faciales de la población mexicana, cuando es evaluado de forma multivariada, en el análisis de componentes principales, es visible la superposición entre los sexos (figura 11). Al aplicar una prueba de independencia (tabla 5), se obtuvo que no todos los rasgos faciales evaluados dependen del sexo, es decir, la forma de la cara, forma del mentón, altura del *filtrum*, orientación de la esquina de la boca y bermellón superior son aquellos que dependen del sexo. Por otro lado, al aplicar un análisis discriminante (tabla 6) se determinó que el 39% de los individuos femeninos se ubican dentro del grupo sexo que no les corresponde (tabla 6), mientras que el 34.66% de los individuos masculinos se encuentran en el sexo que no les corresponde (tabla 6), lo que indica que la evaluación morfoscópica puede sobrevalorar el grado de dimorfismo sexual. Lo anterior se puede explicar debido a que el grado de dimorfismo sexual cambia en función de la edad (Samal, Subramani & Marx, 2007). A pesar de que en la muestra de estudio se encuentran individuos entre los 18 y 40 años de edad, con base en los análisis realizados se determinó que la diferencia entre sexos debe tomarse con cautela y que no todos los rasgos faciales evaluados dependen de esta categoría, además de que la bibliografía reporta que si bien existe dimorfismo sexual en rasgos faciales, éste es más evidente en la etapa de la adolescencia (Enlow & Hans, 1996; Koudelová et al., 2015) y que en estudios bidimensionales el dimorfismo sexual puede no ser muy evidente (Koudelová et al., 2015) o como aquí se demuestra, puede ser mimética.

Por otro lado, la generación de las frecuencias faciales a partir de las clasificaciones realizadas aportan conocimientos sobre la variabilidad morfoscópica facial y labial de la población mexicana, mediante la aplicación del protocolo morfoscópico, estableciendo así los caracteres más y menos frecuentes, mismos que pueden coadyuvar con el personal de administración de justicia a la reducción del universo de búsqueda. Además, la comparación de

estas frecuencias con las reportadas por Ritz-Timme et al. (2011) muestra que existen rasgos faciales distintivos de la población mexicana en contraste con la población europea. Si bien en estas comparaciones no se empleó el mismo atlas de clasificación, es decir, en el presente estudio se empleó *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009) y en el estudio de Ritz-Timme et al. (2011) *Anthropological atlas of male facial features* (Aßmann et al., 2007), ambos pertenecientes a la misma imprenta, los resultados producto de esta comparación otorgan una noción sobre las diferencias faciales entre poblaciones. Si bien se empleó el atlas de Ohlrogge et al. (2009) en el presente estudio para la evaluación de individuos femeninos y masculinos, aun siendo un atlas elaborado para caracteres femeninos, existe evidencia de que el dimorfismo sexual facial presenta el grado más significativo en la etapa de adolescencia (Enlow & Hans, 1996; Koudelová et al., 2015) y que éste prácticamente no es notorio cuando se trata de análisis bidimensionales (Koudelová et al., 2015). Sin embargo, se sugiere profundizar en análisis sobre dimorfismo sexual facial con población mexicana empleando una clasificación estándar.

Cabe mencionar que, en la aproximación no métrica, con la finalidad de proporcionar un error de medición producto de la variabilidad intraobservador se realizó la prueba estadística kappa de Cohen (k), misma que evalúa la concordancia observada entre evaluaciones y puede variar de -1 a $+1$ (McHugh, 2012). Producto de esta prueba se obtuvo un índice promedio de 0.787, interpretando este resultado como un nivel de concordancia moderado. En la mayoría de las evaluaciones se obtuvo un nivel de concordancia entre moderado y casi perfecto, siendo únicamente tres los casos donde el nivel de concordancia fue mínimo (primeras dos evaluaciones de las fotografías seis, ocho y quince) (anexo 1). Estos resultados son consistentes con lo dicho en la bibliografía pues, a pesar de que este método cuenta con esquemas de clasificación, estudios indican que existen diferencias entre evaluadores al momento de realizar la evaluación (FISWG, 2012b; Ritz-Timme et al., 2010), esto puede deberse a que los analistas llegan a clasificar las mismas características faciales de manera distinta e incluso un mismo analista puede ser inconsistente con sus evaluaciones a lo largo del tiempo (Valentine & Davis, 2015). La importancia de conocer el nivel de acuerdo o desacuerdo en la evaluación de un conjunto de datos radica en el hecho de que los investigadores pueden experimentar e interpretar los fenómenos de manera diferente (McHugh, 2012), por lo que es necesario estimar hasta qué punto las observaciones coinciden en su clasificación (Cerdeira & Villarroel, 2008) con el objetivo

de tener una recopilación de datos fiable (McHugh, 2012). Por otro lado, el nivel de concordancia casi perfecto obtenido en la estimación de error de la presente investigación (tabla 33) nos indica que el evaluador fue constante en sus evaluaciones a lo largo del tiempo, y que el alcance de acuerdo entre éstas contribuye a la fiabilidad del mismo (McHugh, 2012), sin embargo, esto no quiere decir que únicamente se van a emplear aquellas características cuya concordancia haya obtenido un resultado casi perfecto debido a que este resultado puede generarse cuando en una variable con distintos estados o clasificaciones posibles, los estados están marcadamente diferenciados, produciendo así que la fiabilidad sea alta (McHugh, 2012). Por otro lado, cuando se requiere que los recopiladores de datos hagan discriminaciones más detalladas, los niveles de concordancia pueden ser mínimos y, por ende, menor fiabilidad, en estos casos, más que descartar la variable medida es importante que el evaluador adquiera una capacitación en la variable a medir con la finalidad de registrar con precisión el estado de las variables bajo observación (McHugh, 2012), además de generar análisis para el control de las evaluaciones en función del tiempo, generar análisis dando pesos diferenciales a las variables más precisas y registrando los resultados de forma continua como una forma de evaluación de la calidad o performance del fenotipado.

Lo obtenido en la aproximación no métrica se contrasta con los resultados obtenidos de la aplicación del método métrico. Si bien la varianza de la forma explicada por cada una de las covariables predictoras (edad, ancestría, índice de masa corporal y sexo) es poca, siendo la covariable sexo aquella que representa mayormente ($r^2= 0.363$, $p < 0.0001$) la varianza de la forma, el resultado obtenido en las regresiones indica que todos los predictores abarcan una cantidad significativa de variación en la respuesta forma, lo que indica una serie de cambios en la forma facial y labial de acuerdo con cada variable. Con el apoyo de los polígonos de forma obtenidos, en el caso de individuos americanos se aprecian cambios más evidentes en ambos bermellones, la comisura de la boca y la forma de la hendidura de la boca, focalizando estos cambios en la región labial. De igual manera, en el caso de individuos europeos, los cambios más significativos se encuentran focalizados en la región labial y la forma de la cara *per se*.

Los resultados obtenidos en las frecuencias para la población mexicana y su comparación con población europea, así como los obtenidos en la aproximación morfogeométrica donde se muestran cambios de forma relacionados con el predictor ancestría muestra lo dicho sobre la influencia de las propiedades genéticas de una población y su

influencia en la caracterización, dividiendo así la variación fenotípica en componentes adscritos a diversas fuentes causales (Richtsmeier, Lele & Cole, 2005).

En concordancia con lo obtenido en el análisis de componentes principales de la aproximación no métrica, este análisis en la aproximación morfogeométrica muestra que, si bien existe dimorfismo sexual en la muestra, éste no es muy evidente.

Es necesario recordar que las fotografías analizadas pertenecen a individuos mexicanos cuya edad varía entre los 18 a 40 años, más del 80% son mestizos y más del 85% pertenecen a la región centro de México. Lo anterior es importante debido a que la individualidad de la cara se debe a variaciones anatómicas en cuanto a la forma y prominencia de los huesos subyacentes del cráneo, el depósito de tejido adiposo, cambios provocados por el envejecimiento sobre la piel (Moore, Dalley & Agur, 2013), factores intrínsecos, principalmente factores hereditarios (Fedok, 1996), extrínsecos resultado de los hábitos, la nutrición, entre otros (Fedok, 1996; Farkas, Pessa, Hubbard & Rohrich, 2013), así como a las alteraciones faciales que pueden ocurrir producto de las anomalías congénitas (Arteaga & García, 2013). Algunas de estas variables (ancestría, índice de masa corporal, sexo y edad) se pueden contrastar con las respuestas de los predictores al presentar una cantidad significativa de variación en la respuesta forma. Considerando lo anterior, se sugiere la realización de trabajos de investigación focalizados en los cambios puntuales de forma y tamaño de los caracteres faciales de la población mexicana dependiendo del sexo, edad e índice de masa corporal.

Debido a que la forma de la cara es anexada en los formatos de media filiación para personas desaparecidas y a que es empleada en credenciales para identificación legal (INE, pasaporte, título profesional, cartilla nacional de salud, entre otros), es necesario conocer si estas clasificaciones realizadas a partir del método morfoscópico son confiables para el propósito que buscan, para ello, considerando que la morfometría geométrica es la combinación entre las herramientas empleadas en geometría y de la biología (Bookstein, 1997), esta técnica puede ser empleada para el estudio de la variación de la forma y tamaño del fenotipo facial (Slice, 2005; Quinto-Sánchez, 2019). Además, su base es la identificación y cuantificación de los puntos de referencia o *landmarks* (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007). Empleando estos puntos de referencia se puede analizar la forma y tamaño de un objeto al capturar su estructura, proceso que se lleva a cabo al momento de realizar el *landmarking* o fenotipado (Torcida & Pérez, 2012).

Otro aspecto en el que la morfometría geométrica contribuye en el estudio es en la generación de resultados gráficos claros sobre los cambios de forma asociados (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007) mismos que son producto del análisis de estadística multivariada al que es sometida la representación de la muestra (Klingenberg, 2011), facilitando así al evaluador percibir las diferencias que pueden existir en la forma entre especímenes individuales o grupos (von Cramon-Taubadel, Frazier & Lahr, 2007).

Cabe recalcar que se entiende por forma a toda aquella información obtenida que es invariante a los efectos de traslación, escala y rotación (Slice, 2005), por lo que estas características pueden variar libremente sin afectar la información de la forma (Klingenberg, 2013). Por esta razón, en el presente estudio se empleó morfometría geométrica y técnicas de estadística multivariada como método de validación del método no métrico a partir de las clasificaciones faciales y labiales propuestas en *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009).

A pesar de las ventajas mencionadas, existen organismos que no recomiendan su uso (FISWG, 2012b), indicando que la antropometría posee una mínima utilidad como medio de identificación. Estos argumentos se encuentran basados en la poca discriminación hallada al emplear únicamente cuatro puntos de referencia faciales (exocantion, nasion y stomion) (Kleinberg, Vanezis & Burton, 2007), sin embargo, estos estudios limitan que la complejidad craneofacial, al ser una estructura irregular en cuanto a sus dimensiones (White & Folkens, 2005) sea representada (en cuanto a su forma) con el uso de pocas distancias, además de que entre mayor esté representada la forma de la cara, se obtendrá mayor poder de discriminación (Quinto-Sánchez, 2019). Además, en estos estudios se ignora la existencia de protocolos sobre el número de *landmarks* faciales necesarios para una caracterización morfogeométrica, de los cuales, por mencionar algunos, mencionan que se deben emplear 22 puntos (Paternoster et al., 2012), 26 puntos (Viðarsdóttir, O'Higgins, & Stringer, 2002; Farrera, García-Velasco, & Villanueva, 2016), 34 puntos (Quinto-Sánchez et al., 2015, 2017, 2018), además de los que mencionan el escaneo facial total como método de análisis (Djordjevic et al., 2013).

En el estudio realizado por Kleinberg, Vanezis y Burton (2007) proponen la caracterización general del fenotipo facial por medio de únicamente cuatro *landmarks*. Por otro lado, en el presente estudio, para la caracterización del módulo facial sobre las clasificaciones labiales, se emplearon de dos a cuatro *landmarks* tipo I con el objetivo de representar

subestructuras dentro de este módulo con la finalidad de validar su pertinencia en la naturaleza continua de los caracteres faciales. Sin embargo, es necesario tener en consideración una línea de investigación en la que se propongan puntos de referencia mínimos para la representación de cada una de las estructuras o módulos que conforman la cara, como Watanabe (2018) ha realizado, sin embargo, dicho objetivo estaba fuera de los objetivos de la presente tesis. Nuestros datos establecen una primera evidencia para la conformación de bases de datos faciales y labiales en población mexicana, pero se reconoce el hecho de que entre más puntos de referencia se empleen y menor sea la distancia inter *landmark*, mejor representada estará una estructura (Slice, 2005). El presente estudio tuvo el objetivo de representar estructuras faciales empleando pocos *landmarks*, principalmente aquellos de tipo I, con la finalidad de realizar análisis exploratorios y representar estas estructuras en su forma más simple, empero es necesaria la estandarización del número de *landmarks* por estructura facial siguiendo el ejemplo de los protocolos sobre el número mínimo de *landmarks* para la representación de la morfología de la cara (Paternoster et al., 2012; Viðarsdóttir, O'Higgins, & Stringer, 2002; Farrera, García-Velasco, & Villanueva, 2016; Quinto-Sánchez et al., 2015, 2017, 2018; Djordjevic et al., 2013).

Cumpliendo con el objetivo de validar los resultados morfoscópicos mediante la aplicación de morfometría geométrica y estadística multivariada, a continuación, se presenta el compendio de resultados obtenidos de la validación de las clasificaciones no-métricas en el morfoespacio geométrico (tabla 32).

Tabla 32. Compendio de resultados.

| <i>Característica facial</i> | <i>Regresión multivariada</i> | <i>Análisis de componentes principales (% varianza explicada)</i> | <i>ANOVA</i> | <i>Prueba Tukey</i> | <i>Análisis de conglomerados</i> |
|---|--|---|------------------|--|---|
| <i>Forma de la cara</i> | R ² =0.150632 <i>p</i> <0.0001 | CP1=53.382% CP2=20.423% CP3=11.37% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones excepto en las formas 6 y 2 donde <i>p</i> =0.79 | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 4 grupos |
| <i>Altura del filtrum</i> | R ² =0.151607 <i>p</i> <0.0001 | CP1=89.469% CP2=10.531% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones excepto en las formas 1 y 2 donde <i>p</i> =0.2020 | 1ª conclusión: 3 grupos* 2ª conclusión: 2 grupos |
| <i>Muesca del labio superior</i> | R ² =0.242406 <i>p</i> <0.0001 | CP1=50.167% CP2=31.914% CP3=17.918% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 8 grupos |
| <i>Orientación de la esquina de la boca</i> | R ² =0.184366 <i>p</i> <0.0001 | CP1=53.587% CP2=33.257% CP3=10.689% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones excepto en las formas 1 y 2 | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 12 grupos |
| <i>Forma de la hendidura de la boca</i> | R ² =0.210698 <i>p</i> <0.0001 | CP1=47.702% CP2=27.187% CP3=14.008% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.05 en todas las comparaciones | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 5 grupos |
| <i>Amplitud labial</i> | R ² =3.583x10 ⁻⁶ <i>p</i> =0.9631 | CP1=100% | <i>p</i> =0.7956 | <i>p</i> >0.05 en todas las comparaciones | 1ª conclusión: 4 grupos 2ª conclusión: 9 grupos |
| <i>Bermellón superior</i> | R ² =0.270388 <i>p</i> =0.0001 | CP1=87.040% CP2=12.96% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones | 1ª conclusión: 3 grupos* 2ª conclusión: 2 grupos |
| <i>Bermellón inferior</i> | R ² =0.44751 <i>p</i> =0.0001 | CP1=93.23% CP2=6.77% | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 3 grupos* |
| <i>Forma del mentón</i> | R ² =0.023674 <i>p</i> =0.0002 | CP1=64.251% CP2=19.851 % CP3=9.67 % | <i>p</i> =0.0004 | <i>p</i> <0.05 en todas las comparaciones excepto en las formas 1 y 2 donde <i>p</i> =0.1046 | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 9 grupos |
| <i>Altura del mentón</i> | R ² =0.367453 <i>p</i> =0.0001 | CP1=88.929 % CP2=11.071 % | <i>p</i> =0.0001 | <i>p</i> <0.0001 en todas las comparaciones | 1ª conclusión: 2 grupos 2ª conclusión: 5 grupos |

*Concordancia con lo establecido en el atlas *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009).

Si bien en todas las características evaluadas, a excepción de la amplitud labial, la varianza de la forma explicada por los predictores (las clasificaciones de la forma establecidos en el atlas) es poca, el resultado obtenido indica una serie de cambios en la forma de acuerdo con cada variable. Lo anterior se contrasta con los resultados del análisis ANOVA, mismo que indica que efectivamente hay diferencias entre grupos y, a su vez, el análisis de conglomerados otorga el número óptimo de clasificaciones por característica facial evaluada, obteniendo que únicamente tres características concuerdan con el número de grupos establecidos en *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009) para cada uno de esos caracteres.

Lo anterior nos indica que todas las características evaluadas por ambos métodos, a excepción de la amplitud labial, presentan cambios en su forma y que estos cambios a su vez pueden ser clasificados en grupos de acuerdo con su grado de similitud o disimilitud. Sin embargo, el número de grupos obtenidos en el análisis de 30 métodos (Charrad, Ghazzali, Boiteau & Niknafs, 2014) únicamente es consistente con el atlas propuesto por Ohlrogge et al. (2009) para tres de las características evaluadas, mismas que son ambos bermellones y la altura del *filtrum*. Lo dicho sustenta el hecho de que se debe considerar que las clasificaciones propuestas por las listas y atlas de clasificación facial no permiten identificar a las personas (Ritz-Timme et al., 2010) y que, si bien existe variación en la forma de estas características, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran, con base en evidencia, que las clasificaciones propuestas por el análisis no métrico no muestran correspondencia con la naturaleza de la variación fenotípica facial en un morfoespacio bidimensional.

El realizar las comparaciones entre las formas de cada característica evaluada con ayuda de una prueba *post hoc* ayuda a enriquecer la validación del método no métrico y a focalizar la atención de los evaluadores en aquellos caracteres que presentan o no diferencias en la forma. En este tenor se recomienda a las personas dedicadas a la evaluación de las características faciales considerar que la forma de la cara oval y pentagonal con pómulos pronunciados no presentan diferencias entre sí. En cuanto a la altura del *filtrum*, a pesar de presentar concordancia en el número de clasificaciones propuestas en el análisis no-métrico, no presenta diferencias entre una altura baja y promedio, incluso, en la segunda conclusión obtenida del análisis de 30 métodos (Charrad, Ghazzali, Boiteau & Niknafs, 2014) indica que el número óptimo de agrupaciones es dos, por lo que se sugiere especial cuidado en la evaluación de dicho carácter.

La muesca del labio superior muestra diferencia en todas las clasificaciones, aunado al hecho de que en las conclusiones obtenidas en el análisis de 30 métodos indica que en este carácter se formaron una de las mayores cantidades de grupos óptimos (ocho), sugiriendo una gran variación en su forma. Por otro lado, en la orientación de la esquina de la boca también se encuentra, en primera instancia, la sugerencia de dos grupos óptimos, contrastándose con el hecho de que la orientación ligeramente hacia arriba y derecha no presentan diferencias entre sí.

La forma de la hendidura de la boca a pesar de presentar un mayor número de clasificaciones en el atlas (cuatro clasificaciones), obtuvo como número óptimo de grupos únicamente dos como primera conclusión, sin embargo, todas las clasificaciones que presenta este carácter a partir del atlas empleado presentan diferencias en su forma, con base en la prueba *post hoc*, por lo que, con la finalidad de abarcar mejor la variabilidad de esta característica, se sugiere considerar lo propuesto por la segunda conclusión de agrupación (cinco grupos) en la aplicación del análisis de 30 métodos.

El caso de la amplitud labial es de suma relevancia y cuidado, debido a que en todas las pruebas estadísticas se llega a la conclusión de que no hay concordancia entre los rasgos no métricos y la variación continua de su forma. Empezando con la regresión, se obtiene la menor varianza explicada por las clasificaciones propuestas, además de que los cambios en el predictor no están asociados con cambios en la respuesta forma. Lo anterior lo sustentan los distintos análisis, en el caso de componentes principales, el 100% de la varianza se explica por un único componente principal y en las pruebas ANOVA y Tukey se muestra la no diferencia entre amplitudes. Sin embargo, en el análisis de *cluster* se muestra la formación de cuatro grupos óptimos y de nueve grupos como segunda conclusión, por lo que se sugiere especial cuidado en la consideración de este carácter.

En el caso de los bermellones superior e inferior, ambos presentan diferencias en sus formas y ambos concuerdan con los grupos óptimos establecidos en el atlas de clasificación, por lo que se recomienda el uso de estos caracteres con sus clasificaciones propuestas en caso de realizar un análisis no métrico.

Finalmente, en la evaluación del mentón se determinó que existen cambios asociados a la altura y forma del mismo, sin embargo, el mejor número de agrupaciones para estas clasificaciones no coincide con los grupos establecidos en el atlas propuesto por Ohlrogge et al. (2009). Cabe resaltar que la prueba *post hoc* indica que las formas del mentón redondo y

cuadrado no presentan diferencias entre sí, además de que el análisis de la altura del mentón requiere ser complementado con estudios sobre tamaño.

Un cambio de forma implica una diferencia directa entre una forma inicial a una forma objetivo, mientras que la diferencia entre formas se refiere, como su nombre lo indica, a la no igualdad entre éstas (Klingenberg, 2013). Estos cambios y diferencias se pueden observar y ser interpretadas por medio de gráficos como los *wireframes* empleados, en los cuales se distingue el desplazamiento de los puntos de referencia y que, a su vez, estos polígonos de forma otorgan una noción anatómica de las estructuras evaluadas, además, su interpretación debe ir acompañada de otros análisis de estadística multivariada (Klingenberg, 2013) como los análisis empleados en el presente estudio.

Como ya se mencionó, la forma es toda aquella información obtenida que es invariante a los efectos de traslación, escala y rotación (Slice, 2005), lo que quiere decir que si se eliminan las diferencias entre estos efectos, únicamente se obtendrán las diferencias en la forma, permitiendo analizarlas (Zelditch et al., 2004). Esta definición de forma menciona la escala como uno de los efectos que deben eliminarse para extraer las diferencias de forma entre las configuraciones (Zelditch et al., 2004). Por otro lado, para determinar la escala geométrica de un objeto, necesitamos determinar la ubicación del centro de la forma y calcular la distancia entre cada punto de referencia y el centroide, lo que se le conoce como tamaño del centroide y es la única medida de tamaño que es matemáticamente independiente de la forma (Zelditch et al., 2004).

Lo anterior toma relevancia debido a que el presente estudio tuvo por objetivo el análisis de la forma facial y labial en una muestra de fotografías de individuos mexicanos obtenidas de la base de datos CANDELA (Quinto-Sánchez, 2016), de la cual, todas las fotografías fueron tomadas manualmente a 1.5m de distancia del sujeto, a nivel de los ojos y empleando estándares específicos en cuanto a la apertura de diafragma, uso de flash, entre otros (Quinto Sánchez et al., 2015). Sin embargo, existen caracteres faciales cuya evaluación requiere la integración de un análisis de tamaño, tal es el caso de la amplitud labial, altura del mentón y la altura del *filtrum*, de las cuales, como se mencionó anteriormente, este análisis de forma requiere especial cuidado. Principalmente, en el caso de la amplitud labial donde se debe considerar que para su análisis de forma se emplearon los puntos de referencia chelion y stomion, capturando únicamente la esquina externa de la boca donde se unen los labios superior e inferior y su relación con el punto

medio de la fisura labial, obteniendo como resultado prácticamente una variabilidad nula, pero aun con lo dicho por los análisis de componentes principales, el análisis ANOVA y la prueba Tukey, el análisis de conglomerados indica como segunda conclusión que el número óptimo de grupos que se forman en la amplitud labial son nueve, es decir, seis grupos más de los que indica Ohlrogge et al. (2009).

De igual manera, la altura del mentón, del *filtrum* e incluso la evaluación de los bermellones que son características que abarcan en su definición el factor tamaño y que al eliminar este efecto se obtuvo en todas las pruebas estadísticas la presencia de variaciones en la forma y que además se ajustaron (en el caso de ambos bermellones y la altura del *filtrum*) a lo dicho por el atlas de clasificación empleado. A diferencia de la amplitud labial, cuya forma constituye una línea horizontal, las demás características mencionadas presentan una curvatura, misma que es representada por los *landmarks* tipo III. La curvatura es una característica de un objeto que permanece después de filtrar la ubicación, la escala y los efectos de rotación (Zelditch et al., 2004). Mencionada esta característica, en los gráficos *wireframes* de estos caracteres se pueden observar variaciones en las regiones ligeramente curvadas.

A pesar de que el objetivo de la investigación fue el análisis de forma, es necesario explorar las variaciones de tamaño, tarea que se encuentra pendiente para el enriquecimiento del estudio. Sin embargo, el hecho de realizar estudios de forma y tamaño de manera independiente no significa que se pierda información sobre la relación entre ambas características (Zelditch et al., 2004).

Lo anterior refleja otra de las razones por las que el método no métrico es considerado como altamente subjetivo (Stephan et al., 2018), pues a pesar de que el atlas otorga definiciones de cada característica facial, indicando que pueden abarcar distancias o alturas entre estructuras (tabla 2, Ohlrogge, 2009), su interpretación para la evaluación se vuelve subjetiva para el analista al no contar con una referencia dimensional (únicamente se cuenta con un esquema) sobre cuál es aquella amplitud o distancia denominada como “promedio”.

De la presente investigación se tiene presente que para la gran mayoría de la morfología facial y labial de una muestra de individuos mexicanos hay cambios presentes y, que éstos no precisamente concuerdan con lo establecido en un atlas de clasificación. También se debe recalcar que en estos cambios morfológicos las influencias genéticas y ambientales se combinan

e interactúan de manera activa con las estructuras, de modo que todas las formas difieren entre sí de diversas maneras (Richtsmeier, Lele & Cole, 2005).

Del análisis no métrico se puede mencionar que es considerado como altamente subjetivo, especialmente cuando los criterios para la comparación facial no son los ideales, ejemplo de ello son los diferentes ángulos de una cámara al momento de capturar una imagen (Stephan et al., 2018). Con la finalidad de disminuir esta subjetividad, se han creado diversas listas (FISWG, 2013; Vanezis et al., 1996) y atlas (Ritz-Timme et al., 2010, 2011) de clasificación facial, sin que hasta el momento exista un estándar universal, sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, estudios indican que existen diferencias entre observadores al momento de realizar la evaluación (FISWG, 2012b; Ritz-Timme et al., 2010). Aun con estas desventajas y sin que se haya documentado la precisión de las comparaciones faciales empleando este método (Stephan et al., 2018) existen organizaciones que recomiendan su uso de manera prioritaria, tal es el caso de *Facial Identification Scientific Working Group* (FISWG), quienes a pesar de mencionar en su guía que las conclusiones obtenidas de la aplicación de este método, sobre la similitud o diferencia, están basadas en la valoración subjetiva, la evaluación y la interpretación de las observaciones (FISWG, 2012b) y conociendo que el método ha sido cuestionado debido a su alto grado de subjetividad y errores en la clasificación de características faciales conforme a los esquemas actuales (FISWG, 2012b), recomiendan este método como el principal y prioritario para la comparación facial.

Sumado a lo anterior, estos manuales no solo recomiendan un método que se sabe es altamente subjetivo (Stephan et al., 2018), sino que en su metodología de aplicación no mencionan ni sugieren en ningún momento la aplicación de estudios de error intra o interobservador (FISWG, 2012b), lo cual es de suma importancia debido a que la confiabilidad del evaluador radica en el hecho de que representa la medida en que los datos recopilados en el estudio son representaciones correctas de las variables medidas (McHugh, 2012).

Como ejemplo de la subjetividad del método no métrico se encuentra la investigación realizada por Ritz-Timme et al (2010) en la cual realizaron la clasificación de características faciales empleando atlas de clasificación y determinaron que los evaluadores presentaron discrepancias en sus clasificaciones a lo largo del tiempo, por lo que sugieren precaución al verificar la identidad personal solo a partir de la clasificación de rasgos faciales y recomiendan emplear este método como un primer paso para la identificación, cuando los rasgos faciales sean

visibles, y posteriormente aplicar análisis en conjunto, como la antropometría, para lograr la identificación positiva.

Los resultados obtenidos en el presente estudio cumplen con los objetivos generales y específicos planteados al inicio de la investigación, generando así un reporte científico sobre la variabilidad facial y labial en poblaciones mexicanas, exponiendo frecuencias de características fenotípicas faciales presentes y, de igual manera, los archivos producto del *landmarking* realizado a las fotografías muestra contribuyen a la construcción de bases de datos libres que pretenden ser útiles para los peritos al momento de realizar confrontas.

Cabe resaltar que la presente investigación detona una línea de investigación que debe extenderse hacia otros módulos faciales, por ejemplo, nariz, ojos, etc.; para explorar los resultados de cada una de estas estructuras y así complementar la validación de estos fenotipos no métricos. La elección de los labios y la forma general de la cara obedece a dar una caracterización exploratoria de la forma de la cara general, primer carácter del atlas y la forma labial a elección e interés personal sobre los caracteres faciales por su complejidad en el proceso ontogenético.

Por otro lado, México cuenta con herramientas para ayudar a la localización y recuperación de personas, éstas son las llamadas fichas de media filiación de personas desaparecidas, por ejemplo, la alerta amber y la alerta odisea. La función de estas alertas es la difusión masiva de los datos de una persona, acompañados de una fotografía reciente en la que se muestre la cara de la persona cuyo paradero es desconocido (Gobierno de México, s.f.). Cabe destacar que entre la información contenida en estas fichas y/o alertas, se encuentra la clasificación de la forma del mentón, clasificación de los labios, así como la forma de la cara, etc., sin embargo, se desconoce qué clasificación de características faciales, atlas de clasificación o listas de caracteres a evaluar son empleados para realizar dichas clasificaciones.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación, se abre el debate sobre el volver a considerar las clasificaciones faciales a emplear tanto en las fichas de media filiación para personas desaparecidas, como en la aplicación del método no métrico para la comparación facial. Lo dicho se sustenta en los resultados de la aplicación de pruebas de estadística multivariada donde, en el caso de la forma de la cara se obtuvo que la forma ovalada y la forma pentagonal con pómulos pronunciados es igual, por lo que, en este caso la recomendación es agrupar ambas formas en una sola clasificación. Esta misma situación ocurre con la altura del

filtrum, la orientación de la esquina de la boca y la forma del mentón, donde dos de sus clasificaciones no presentan diferencias en forma, por lo que se sugiere agrupar las formas iguales en una sola clasificación.

En el caso de las clasificaciones faciales donde hubo diferencia en todas las formas (muesca del labio superior, forma de la hendidura de la boca, ambos bermellones y altura del mentón) se determina que se pueden emplear las clasificaciones propuestas por Ohlrogge et al. (2009). Sin embargo, con la finalidad de abarcar mayores aspectos de la variabilidad facial y labial, es recomendable atender los resultados obtenidos en el análisis de conglomerados, por lo que es necesaria la implementación de más estudios en esta línea de investigación que propongan una clasificación facial amplia y completa, teniendo presentes los resultados expuestos.

El presente estudio intenta únicamente validar las clasificaciones en su naturaleza continua, la propuesta de una clasificación facial y/o labial debe explorar otros rubros que aquí no se han explorado, por lo que se considera queda fuera de los objetivos de la presente tesis. Empero, los resultados permiten generar un punto de partida y una configuración de *landmarks* iniciales para el desarrollo de una propuesta nueva, validada desde espacios continuos y con la generación de información sobre el número óptimo de puntos para cada módulo facial.

Dicho lo anterior, la presente investigación puede resultar de gran utilidad para las labores efectuadas por los encargados de la procuración y administración de justicia debido a que se ha presentado la evaluación de características faciales empleando un manual cuyo propósito es la estandarización (Ohlrogge et al., 2009), pero además se realizó el fenotipado que contribuye a la generación de bases de datos que pueden ser empleadas para la verificación de formas faciales y, al ser bases libres, los familiares de personas desaparecidas pueden consultar las formas faciales establecidas por el manual (Ohlrogge et al., 2009), así como las observaciones realizadas en el presente estudio, ayudando así a que se tenga mayor noción de las clasificaciones y descripciones que se llegan a realizar, aportando objetividad en la información al momento de realizar o recabar descripciones.

Finalmente, la hipótesis planteada al inicio de la investigación se rechaza por las razones ya planteadas, lo que da paso al planteamiento de nuevas líneas de investigación donde se propongan clasificaciones óptimas que abarquen más de la variabilidad facial.

CONCLUSIONES

De la presente investigación, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- I. Con base en el análisis de componentes principales, las características faciales que más representan el modelo en la población mexicana son el bermellón inferior, seguido del bermellón superior.
- II. De acuerdo con el análisis de componentes principales, las características faciales que no representan el modelo en la población mexicana son la altura del *filtrum* y la forma del mentón.
- III. Existen características faciales dependientes del sexo, mismas que son: la forma de la cara, forma del mentón, altura del *filtrum*, orientación de la esquina de la boca y bermellón superior.
- IV. La forma de la cara más frecuente en la población mexicana es la redonda y la forma facial pentagonal con pronunciación en los pómulos es menos frecuente en la población mexicana.
- V. Existen diferencias en las frecuencias faciales y labiales entre la población mexicana y la población europea, mismas que se encuentran principalmente en la forma de la cara, altura, forma y profundidad del *filtrum* y orientación de la esquina de la boca.
- VI. Se presentan cambios de forma faciales dependientes al sexo, ancestría, índice de masa corporal y edad.
- VII. Todas las características faciales evaluadas presentaron cambios en su forma a excepción de la amplitud labial.
- VIII. Únicamente la altura del *filtrum*, el bermellón superior e inferior tuvieron concordancia en el número de clasificaciones descritas en la caracterización por método no-métrico a partir del atlas de Ohlrogge et al. (2009).
- IX. La forma de la cara, muesca del labio superior, orientación de la esquina de la boca, forma de la hendidura de la boca, amplitud labial, así como la forma y la altura del mentón no tuvieron concordancia en el número de clasificaciones descritas en la caracterización por método no-métrico a partir del atlas de Ohlrogge et al. (2009).
- X. Es necesario complementar el estudio añadiendo la variable tamaño en las siguientes características: altura del *filtrum*, amplitud labial, altura del mentón, así como bermellón superior e inferior.

- XI. La forma de la cara de la población mexicana no corresponde totalmente con lo establecido por el atlas de clasificación *Anthropological atlas of female facial features* (Ohlrogge et al., 2009) y no es concordante con las frecuencias de Alemania, Italia y Lituania (Ritz-Timme et al., 2011).

REFERENCIAS

- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the revolution. *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5–16.
<https://doi.org/10.1080/11250000409356545>
- Aguilar, M. (2011). Bases de datos criminalísticos en la Procuraduría General de la República. En García, S. & Gonzáles, O. *La situación actual del sistema penal en México: XI jornadas sobre justicia penal* (pp. 445-450). UNAM: Instituto de Investigaciones Jurídicas, INACIPE.
- Aßmann, S., Nohrden D., Schmitt R., Gabriel P., Ritz-Timme, S. (2007). *Anthropological atlas of male facial features*. Verlag für Polizeiwissenschaft.
- Asociación Latinoamericana de Antropología Forense [ALAF] (2016). *Guía Latinoamericana de Buenas Prácticas para la Aplicación en Antropología Forense*, GLAAF.
- Arnqvist, G., & Martensson, T. (1998). Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 44(1-2), 73-96.
- Arteaga Botello, N. (2016). Regulación de la videovigilancia en México. Gestión de la ciudadanía y acceso a la ciudad. *Espiral Estudios Sobre Estado y Sociedad*, 23(66), 193–238. <https://doi.org/10.32870/espiral.v23i66.5301>
- Arteaga, S. & García, M. (2013). *Embriología humana y biología del desarrollo*. México: Editorial médica Panamericana.
- Bailey, R. C., & Byrnes, J. (1990). A new, old method for assessing measurement error in both univariate and multivariate morphometric studies. *Systematic zoology*, 39(2), 124-130.
- Barreto, M. (1998). La identidad y la identificación en el contexto de la antropología forense. *Maguaré*, 269(13), 253–270.
- Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press.
- Bookstein, F. L. (1996). Biometrics, biomathematics and the morphometric synthesis. *Bulletin of Mathematical Biology*, 58(2), 313–365.
- Bookstein, F. L. (1997). Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. *Proceedings of the Workshop on Mathematical Methods in*

- Biomedical Image Analysis*, 1(3), 279–289.
<https://doi.org/10.1109/mmbia.1996.534080>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (17 de noviembre del 2017). *Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas* [LGMDFP].
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGMDFP_171117.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (27 de mayo del 2019). *Ley General del Sistema Nacional de Seguridad Pública* [LGSNSP].
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGSNSP_270519.pdf
- Cummaudo, M., Guerzoni, M., Marasciuolo, L., Gibelli, D., Cigada, A., Obertová, Z., Ratnayake, M., Poppa, P., Gabriel, P., Ritz-Timme, S., & Cattaneo, C. (2013). Pitfalls at the root of facial assessment on photographs: a quantitative study of accuracy in positioning facial landmarks. *International journal of legal medicine*, 127(3), 699-706.
- Campomanes-Álvarez, B. R., Ibáñez, O., Navarro, F., Alemán, I., Cerdón, O., & Damas, S. (2015). Dispersion assessment in the location of facial landmarks on photographs. *International journal of legal medicine*, 129(1), 227-236.
- Cattaneo, C., De Angelis, D., Porta, D. & Grandi, M. (2006). *Personal identification of cadavers and human remains* en Schmitt, A., Cunha, E., & Pinheiro, J. (2006). *Forensic anthropology and medicine*. Humana Press Incorporated.
- Cerda, J., & Villarroel Del P., L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58.
- Charrad, M., Ghazzali, N., Boiteau, V., & Niknafs, A. (2014). NbClust: an R package for determining the relevant number of clusters in a data set. *Journal of statistical software*, 61(1), 1-36.
- Comisión Nacional de Protección Social en Salud [CNPSS] (s.f.). Guía de afiliación y operación. *Comisión Nacional de Protección Social en Salud*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/384970/Gu_a_Gu_a_de_Afiliaci_n.pdf

- Comité Internacional de la Cruz Roja [CICR] (2014). *Evaluación sobre la situación de las familias de personas migrantes desaparecidas: El Salvador, Guatemala, Honduras y México*. CICR: México.
- Comité Internacional de la Cruz Roja [CICR] (2009). *Personas desaparecidas, análisis forense de ADN e identificación de restos humanos: guía sobre prácticas idóneas en caso de conflicto armado y otras situaciones de violencia armada*. 2ª ed. CICR: México.
- Congreso de la Ciudad de México (24 de diciembre del 2019). *Ley por la cual se crea el Banco de ADN para el Uso Forense de la Ciudad de México*.
<https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/306354a7899b9cffd3096cb79d8897a958ed188e.pdf>
- Djordjevic, J., Pirttiniemi, P., Harila, V., Heikkinen, T., Toma, A. M., Zhurov, A. I., & Richmond, S. (2013). Three-dimensional longitudinal assessment of facial symmetry in adolescents. *The European Journal of Orthodontics*, 35(2), 143-151.
- Dryden, I. L., & Mardia, K. V. (1998). *Statistical shape analysis: Wiley series in probability and statistics*.
- Enlow, D. H., & Hans, M. G. (1996). *Essentials of facial growth*. WB Saunders Company.
- Ercan, I., Ozdemir, S. T., Etoz, A., Sigirli, D., Tubbs, R. S., Loukas, M., & Guney, I. (2008). Facial asymmetry in young healthy subjects evaluated by statistical shape analysis. *Journal of Anatomy*, 213(6), 663-669.
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2012a). *Glossary*.
https://fiswg.org/fiswg_glossary_v2.0_20191025.pdf
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2012b). *Guidelines for Facial Comparison Methods*.
https://fiswg.org/fiswg_guidelines_facial_comparison_methods_v1.0_2012_02_02_archived.pdf
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2013). *Facial Image Comparison Feature List for Morphological Analysis*.
https://fiswg.org/FISWG_Morph_Analysis_Feature_List_v2.0_20180911.pdf

- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2018). *Facial Identification Scientific Working Group (FISWG) overview, version 2.0*.
https://fiswg.org/FISWG_overview_v2.0_2018_09_19.pdf
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2019a). *Disclaimer : Redistribution Policy : Investigative Lead Note Taking and Reporting Requirements*.
https://fiswg.org/FISWG_Invest_Lead_Notes_and_Reporting_v1.0_20190510.pdf
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2019b). *Facial Comparison Overview and Methodology Guidelines*.
https://fiswg.org/fiswg_facial_comparison_overview_and_methodology_guidelines_V1.0_20191025.pdf
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2019c). *Standard guide for capturing facial images for use with facial recognition systems, version 2.0*.
https://fiswg.org/FISWG_Guide_for_Capturing_Facial_Images_for_FR_Use_v2.0_20190510.pdf
- Facial Identification Scientific Working Group [FISWG] (2020). *Guide for Role-Based Training in Facial Comparison*. https://fiswg.org/fiswg_guide_for_role-based_training_in_facial_comparison_v1.0_20200717.pdf
- Fagertun, J., Wolffhechel, K., Pers, T. H., Nielsen, H. B., Gudbjartsson, D., Stefansson, H., ... & Jarmer, H. (2015). Predicting facial characteristics from complex polygenic variations. *Forensic Science International: Genetics*, 19, 263-268.
- Farkas, J. P., Pessa, J. E., Hubbard, B., & Rohrich, R. J. (2013). The Science and Theory behind Facial Aging. *Plastic and reconstructive surgery. Global open*, 1(1), e8-e15.
<https://doi.org/10.1097/GOX.0b013e31828ed1da>
- Farrera, A., García-Velasco, M., & Villanueva, M. (2016). Quantitative assessment of the facial features of a Mexican population dataset. *Forensic Science International*, 262, 283.e1-283.e9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.046>
- Fedok, F. G. (1996). The aging face. *Facial plastic surgery*, 12(02), 107-115. Doi: 10.1055/s-0028-1082402
- Fiscalía General de la República [FGR] (2015). *Protocolo para el tratamiento e identificación forense*.

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/343413/Protocolo_para_el_Tratamiento_e_Identificaci_n_Forense.pdf
- Gobierno de México (s.f.). Alerta Amber. *Gobierno de México*.
- <http://www.alertaamber.gob.mx/swb/alertaamber/PreguntasFrecuentes>
- Goodall, C. (1991). Procrustes Methods in the Statistical Analysis of Shape. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 53(2), 285–321.
- <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1991.tb01825.x>
- Guzmán, F. (07 de junio del 2019). “Proyecto NN”: identificación forense. *El Universal*.
- <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/ciencia/proyecto-nn-identificacion-forense-de-mexicanos>
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Hincapie, J. & Bravo, M. (2017). ¿Derechos post mortem?, una primera aproximación. En Pérez, E. Et al. (1ª ed.), *Tópicos selectos de Ciencias Forenses y seguridad* (pp. 41-52). Editorial progreso.
- Houlton, T. M. R., & Steyn, M. (2018). Finding Makhubu: A morphological forensic facial comparison. *Forensic Science International*, 285(June 1978), 13–20.
- <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.01.022>
- Instituto de Ciencias Forenses [INCIFO] (2019). Áreas del departamento de identificación. *Instituto de Ciencias Forenses*. <https://www.incifocdmx.gob.mx/procedimiento/>
- Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses (18 de febrero del 2021). Registro PFSI. *Instituto Jalisciense de Ciencias Forenses*.
- https://cienciasforenses.jalisco.gob.mx/registro_pfsi.php
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2017). *Censo Nacional de Gobierno, Seguridad Pública y Sistema Penitenciario Estatales 2016: resultados*. México: INEGI.
- Instituto Nacional Electoral [INE] (2019). ABC de la credencial para votar. *Instituto Nacional Electoral*.
- https://www.ine.mx/wp-content/uploads/2019/12/ABC_CREDENCIAL2020.pdf
- Instituto Nacional Electoral [INE] (24 de enero del 2020). Tarjeta informativa: sobre el padrón electoral y los datos biométricos. *Instituto Nacional Electoral*.

<https://centralectoral.ine.mx/2020/01/24/tarjeta-informativa-padron-electoral-los-datos-biometricos/>

Instituto Nacional Electoral [INE] (7 de septiembre del 2018). Firman INE y CNB convenio para identificación de personas desaparecidas y cadáveres o restos humanos. *Instituto Nacional Electoral*. <https://centralectoral.ine.mx/2018/09/07/firman-ine-y-cnb-convenio-para-identificacion-de-personas-desaparecidas-y-cadaveres-o-restos-humanos/>

Instituto Nacional Electoral [INE] & Secretaría de Gobernación [SEGOB] (2018). *Convenio de colaboración en materia de búsqueda y localización de personas desaparecidas e identificación de cadáveres o restos humanos y que celebran por una parte la secretaría de gobernación, representada en este acto por el titular de la comisión nacional de búsqueda de personas, el lic. Roberto Cabrera Alfaro, a quien en lo sucesivo se le denominará "la CNB"; y por la otra, el instituto nacional electoral, en lo sucesivo "el INE", representado por el presidente del consejo general, dr. Lorenzo Córdova Vianello y por el secretario ejecutivo, lic. Edmundo Jacobo Molina; instituciones a las que actuando de manera conjunta se les denominara "las partes", al tenor de los siguientes antecedentes, declaraciones y cláusulas.*

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/392275/INE-DJ-198-2018.pdf>

INTERPOL (2011). *Disaster Victim Identification*. <https://doi.org/10.1201/b10926>

Jain, A. K., Ross, A., & Prabhakar, S. (2004). An Introduction to Biometric Recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 4–20. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2003.818349>

Jasso, J. (2019). *La forma de las arcadas dentales para la individualización forense: método de Kieser et al. aplicado a modelos dentales 2D y 3D en población mexicana* [tesis de licenciatura], Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado [22-02-2020] de: <http://132.248.9.195/ptd2019/septiembre/0795781/Index.html>

Jensen, R. A., & Andrew, R. A. R. (1999). *Mass Fatality and Casualty Incidents : A Field Guide Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*. CR Press.

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202.

- Kleinberg, K. F., Vanezis, P., & Burton, A. M. (2007). Failure of anthropometry as a facial identification technique using high-quality photographs. *Journal of Forensic Sciences*, 52(4), 779–783. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00458.x>
- Klingenberg, C. P. (2010a). Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, 11(9), 623–635.
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
- Klingenberg, C. P. (2013). Visualizations in geometric morphometrics: how to read and how to make graphs showing shape changes. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 24(1), 15–24.
- Klingenberg, C. P., Wetherill, L., Rogers, J., Moore, E., Ward, R., Autti-Rämö, I., Fagerlund, Å., Jacobson, S. W., Robinson, L. K., Hoyme, H. E., Mattson, S. N., Li, T. K., Riley, E. P., & Foroud, T. (2010b). Prenatal alcohol exposure alters the patterns of facial asymmetry. *Alcohol*, 44(7–8), 649–657. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2009.10.016>
- Koudelová, J., Brůžek, J., Cagáňová, V., Krajíček, V., & Velemínská, J. (2015). Development of facial sexual dimorphism in children aged between 12 and 15 years: a three-dimensional longitudinal study. *Orthodontics & craniofacial research*, 18(3), 175–184.
- Krogman, W. M., & Isçan, M. Y. (1986). *The human skeleton in forensic medicine*, Charles C. Thomas, Springfield, IL, 202–08.
- Lambros, V. (2007). Observations on periorbital and midface aging. *Plastic and reconstructive surgery*, 120(5), 1367–1376. Doi: 10.1097/01.prs.0000279348.09156.c3
- Larin-Fonseca, R., Meneses, L. & Vazquez, H. (2014). Reconocimiento Facial por Retrato Hablado: Revisión del Estado del Arte. 10.13140/RG.2.1.3628.1449.
- Lee, S., & Lee, D. K. (2018). What is the proper way to apply the multiple comparison test?. *Korean journal of anesthesiology*, 71(5), 353–360. <https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00242>
- Liao, Q., Jin, X., & Zeng, W. (2012). Enhancing the symmetry and proportion of 3D face geometry. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 18(10), 1704–1716.
- Lieberman, D. (2011). *The evolution of the human head*. E.U.: Harvard University Press.

- López de Ullibarri, I., & Pita Fernández, S. (1999). Medidas de concordancia: El índice Kappa. *Cadernos de atención primaria*, 6(4), 223-226.
- López Tovar, D. (2018). Los sistemas de identificación personal y su importancia en el sistema de justicia penal acusatorio. *Revistas jurídicas*. México: UNAM. <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/hechos-y-derechos/article/view/12940/14479>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282.
- Medina Linares, M. (2000). Sistema Nacional de Seguridad Pública. México. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/1/131/19.pdf>.
- Mellion, Z. J., Behrents, R. G., & Johnston, L. E. (2013). The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 143(6), 845–854. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.01.019>
- Monteiro R., L. (1999). Multivariate regression models and geometric morphometrics: the search for causal factors in the analysis of shape. *Systematic Biology*, 48(1), 192–199.
- Moore, K. & Persaud, T. (2004). *Embriología clínica: el desarrollo humano*. España: Elsevier.
- Moore, K., Dalley, A. & Agur, A. (2013). *Moore: Anatomía con orientación clínica*. (Trad. A. Guitiérrez, L. Vasallo, F. Fontán, J. Vizcaíno & B. Magri). Lippincott Williams & Wilkins (7a).
- Nguyen, J., & Duong, H. (2020). Anatomy, Head and Neck, Face. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551530/>
- Nikita, E. (2016). *Osteoarchaeology: A guide to the macroscopic study of human skeletal remains*. Academic Press.
- Ohlrogge, S., Arent, T., Huckenbeck, W., Gabriel, P., & Ritz-Timme, S. (2009). *Anthropological atlas of female facial features*. Alemania: Schriftenreihe.
- Ortiz, L. (2020). *Variación craneofacial en población mexicana: estimación de ancestría biogeográfica para la identificación forense* [tesis de licenciatura]. Escuela Nacional de Antropología e Historia. Recuperado de: <https://laofunam.files.wordpress.com/2020/11/tesis-leo-ortiz.pdf>

- Paternoster, L., Zhurov, A. I., Toma, A. M., Kemp, J. P., Pourcain, B. S., Timpson, N. J., ... & Evans, D. M. (2012). Genome-wide association study of three-dimensional facial morphology identifies a variant in PAX3 associated with nasion position. *The American Journal of Human Genetics*, 90(3), 478-485.
- Quinto-Sánchez, M. (2016). *Asimetría facial: un estudio de bioantropología integrativa en poblaciones cosmopolitas latinoamericanas* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de la Plata].
- Quinto-Sánchez, M. (2019). *Identificación facial forense*. México: UNAM. Próximo a publicarse.
- Quinto-Sánchez, M., Adhikari, K., Acuña-Alonzo, V., Cintas, C., Silva De Cerqueira, C. C., Ramallo, V., Castillo, L., Farrera, A., Jaramillo, C., Arias, W., Fuentes, M., Everardo, P., De Avila, F., Gomez-Valdés, J., Hünemeier, T., Gibbon, S., Gallo, C., Poletti, G., Rosique, J., ... González-José, R. (2015). Facial asymmetry and genetic ancestry in Latin American admixed populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 157(1), 58–70. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22688>
- Quinto-Sánchez, M., Cintas, C., Silva de Cerqueira, C. C., Ramallo, V., Acuña-Alonzo, V., Adhikari, K., ... & González-José, R. (2017). Socioeconomic status is not related with facial fluctuating asymmetry: evidence from Latin-American populations. *PloS one*, 12(1), e0169287.
- Quinto-Sánchez, M. (2021). Controversias en la identificación facial forense. *Análisis por medios digitales y biométricos*. Recuperado de: https://www.identificacionhumana.mx/wp-content/uploads/2021/05/03_03_Controversias-en-la-identificacion-facial-forense.pdf
- Quinto-Sánchez, M., Muñoz-Muñoz, F., Gomez-Valdes, J., Cintas, C., Navarro, P., De Cerqueira, C. C. S., ... & Gonzalez-Jose, R. (2018). Developmental pathways inferred from modularity, morphological integration and fluctuating asymmetry patterns in the human face. *Scientific reports*, 8(1), 1-15.
- Richtsmeier, J., Lele, S. & Cole, T. (2005). Landmark Morphometrics and the Analysis of Variation en Hallgrímsson, B. & Hall, B. (1ª ed) *Variation a central concept in biology* (pp. 49-69). Elsevier Academic Press.

- Ritz-Timme, S., Gabriel, P., Obertová, Z., Boguslawski, M., Mayer, F., Drabik, A., Poppa, P., De Angelis, D., Ciaffi, R., Zanotti, B., Gibelli, D., & Cattaneo, C. (2010). A new atlas for the evaluation of facial features: Advantages, limits, and applicability. *International Journal of Legal Medicine*, 125(2), 301–306. <https://doi.org/10.1007/s00414-010-0446-4>
- Ritz-Timme, S., Gabriel, P., Tutkuvienė, J., Poppa, P., Obertová, Z., Gibelli, D., De Angelis, D., Ratnayake, M., Rizgeliene, R., Barkus, A., & Cattaneo, C. (2011). Metric and morphological assessment of facial features: A study on three European populations. *Forensic Science International*, 207(1–3), 239.e1-239.e8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.01.035>
- RStudio team (12/12/2019). R-3.6.2. CRAN. Recuperado de: <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/3.6.2/>
- Roessner, U., Nahid, A., Chapman, B., Hunter, A., & Bellgard, M. (2011). *Metabolomics - The Combination of Analytical Biochemistry, Biology, and Informatics*. En *Comprehensive Biotechnology, Second Edition (Second Edition, Vol. 1)*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00052-0>
- Rohlf, J. (2004). Digitize landmarks & outlines from image files, scanner, or video. *Data acquisition*. Recuperado [21/10/2021] de: <http://www.sbmorphometrics.org/soft-dataacq.html>
- Rohlf, J. (2008). Tps file utility program. *Utility programs*. Recuperado [21/10/2021] de: <http://www.sbmorphometrics.org/soft-utility.html>
- Rohlf, J. (s.f.). Tpsrelw. Recuperado [21/10/2021] de: <https://tpsrelw.software.informer.com/versions/>
- Rohrich, R. J., & Pessa, J. E. (2008). The retaining system of the face: histologic evaluation of the septal boundaries of the subcutaneous fat compartments. *Plastic and reconstructive surgery*, 121(5), 1804-1809. Doi: 10.1097 / PRS.0b013e31816c3c1a
- Rouvière, H. & Delmas, A. (2005). *Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional* (11a) Volumen 1. España: Masson.
- Ruiz-Linares, A., Adhikari, K., Acuña-Alonzo, V., Quinto-Sanchez, M., Jaramillo, C., Arias, W., Fuentes, M., Pizarro, M., Everardo, P., de Avila, F., Gómez-Valdés, J., León-Mimila, P., Hunemeier, T., Ramallo, V., Silva de Cerqueira, C. C., Burley, M. W.,

- Konca, E., de Oliveira, M. Z., Veronez, M. R., ... Gonzalez-José, R. (2014). Admixture in Latin America: Geographic Structure, Phenotypic Diversity and Self-Perception of Ancestry Based on 7,342 Individuals. *PLoS Genetics*, 10(9).
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1004572>
- Sadler, T. (2019). *Langman's medical embryology* (14a). China: Wolters Kluwer.
- Samal, A., Subramani, V., & Marx, D. (2007). Analysis of sexual dimorphism in human face. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 18(6), 453-463.
- SAS (s.f.). JMP Statistical discovery from SAS. *JMP*. Recuperado [21/10/2021] de:
https://www.jmp.com/es_mx/software/data-analysis-software.html
- Sawyer, S. F. (2009). Analysis of variance: the fundamental concepts. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 17(2), 27E-38E.
- Scheuer, L., & Black, S. (2004). *The juvenile skeleton*. Elsevier.
- Schlessinger, J., Kenkel, J., & Werschler, P. (2011). Further enhancement of facial appearance with a hydroquinone skin care system plus tretinoin in patients previously treated with botulinum toxin Type A. *Aesthetic surgery journal*, 31(5), 529–539.
<https://doi.org/10.1177/1090820X11411579>
- Secretaría de Gobierno [SEGOB] (2018). Libro blanco del programa presupuestario R903 “Plataforma México”. *Secretaría de Gobierno, Comisionado Nacional de Seguridad*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/415293/181031_CNS_LB_Programa_Presupuestal_R903_Plataforma_Mexico.pdf
- Secretaría de Relaciones Exteriores (29 de enero del 2021). Pasaporte mexicano. *Secretaría de Relaciones Exteriores*.
<https://consulmex.sre.gob.mx/nuevayork/index.php/espanol/servicios-consulares/pasaportes-mexicano>
- Secretaría de Relaciones Exteriores (7 de enero del 2021). Matrícula consular. *Secretaría de Relaciones Exteriores*. <https://consulmex.sre.gob.mx/seattle/index.php/es/documentos-de-identidad/matricula>
- Secretaría de Relaciones Exteriores (s.f.). Documentos para acreditar nacionalidad e identidad. *Secretaría de Relaciones Exteriores*.
<https://consulmex.sre.gob.mx/reinounido/index.php/es/contenido/7-pasaportes/168-identificaciones->

- Secretaría de Seguridad Pública [SSP] (s.f.). Lineamientos del Sistema de Identificación Biométrica por Reconocimiento Facial. *Secretaría de Seguridad Pública*.
<https://slp.gob.mx/secesp/PDF/NORMATECA/LINEAMIENTOS%20DEL%20SISTEMA%20DE%20IDENTIFICACION%20BIOMETRICA%20POR%20RECONOCIMIENTO%20FACIAL.pdf>
- Senado de la República (8 de octubre del 2018). *Iniciativa con proyecto de decreto por el que se adiciona un párrafo segundo y las fracciones I, II, III, IV y V al artículo 101 de la ley general en materia de desaparición forzada de personas, desaparición cometida por particulares y del sistema nacional de búsqueda de personas, en relación con la identificación de cadáveres*. https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2018-10-09-1/assets/documentos/Ini_Art.101-LGEMDDFP_091018.pdf
- Singleton, M. (2002). Patterns of cranial shape variation in the Papionini (Primates: Cercopithecinae). *Journal of human evolution*, 42(5), 547-578.
- Slice, D. E. (2005). *Modern morphometrics*. In *Modern morphometrics in physical anthropology*. Springer, Boston, MA.
- Stephan, C. N., Caple, J. M., Guyomarc'h, P., & Claes, P. (2018). An overview of the latest developments in facial imaging. *Forensic sciences research* 4(1), 10–28.
<https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1519892>
- Stuzin, J. M., Baker, T. J., & Gordon, H. L. (1992). The relationship of the superficial and deep facial fascias: relevance to rhytidectomy and aging. *Plastic and reconstructive surgery*, 89(3), 441–451.
- Thompson, T. & Black, S. (2007). *Forensic human identification; an introduction*. E.U.: CRC Press.
- Toma, A. M., Zhurov, A. I., Playle, R., Marshall, D., Rosin, P. L., & Richmond, S. (2012). The assessment of facial variation in 4747 British school children. *European Journal of Orthodontics*, 34(6).
- Torcida, S., & Ivan Pérez, S. (2012). Análisis de Procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 14(1), 131–141.
<https://doi.org/10.17139/raab.2012.0014.1>
- Valentine, T., & Davis, J. P. (2015). Forensic Facial Identification: Theory and Practice of Identification from Eyewitnesses, Composites and CCTV. In *Forensic Facial*

- Identification: Theory and Practice of Identification from Eyewitnesses, Composites and CCTV*. <https://doi.org/10.1002/9781118469538>
- Vanezis P, Lu D, Cockburn J, Gonzalez A, McCombe G, Trujillo O, Vanezis M. (1996). Morphological classification of facial features in adult Caucasian males based on an assessment of photographs of 50 subjects. *Journal of forensic sciences*, 41(5), 786-91. PMID: 8789838.
- Viðarsdóttir, U. S., O'Higgins, P., & Stringer, C. (2002). A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. *Journal of anatomy*, 201(3), 211-229.
- Villanueva, M. (2001). Un nuevo Método para evaluar fenotipos Faciales. En *Estudios de Antropología biológica* (Issues 1405–5066, pp. 21–41).
- Villanueva, M. (2003). Forma y fenotipo facial. En *Estudios de antropología Biologica* (Vols. 599–616, Issues 1405–5066).
- Villanueva, M. (2010). *Morfología facial: estudios de población mexicana a través de fotografías digitales* (No. 611.920972 V5).
- von Cramon-Taubadel, N., Frazier, B. C., & Lahr, M. M. (2007). The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 134(1), 24-35.
- Watanabe, A. (2018). How many landmarks are enough to characterize shape and size variation?. *PloS one*, 13(6), e0198341. Recuperado de: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0198341>
- White T. D. & Folkens P. A. (2005). *The Human Bone Manual*. Burlington, MA: Academic Press.
- White, T. D., Folkens, P. A., & Beck, M. T. (2011). *Human Osteology* (3a). En Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2009-0-03221-8>
- Wilkinson, C., & Rynn, C. (2012). *Craniofacial Identification*. E.U.: Cambridge University Press.
- Yezerinac, S. M., Loughheed, S. C., & Handford, P. (1992). Measurement error and morphometric studies: statistical power and observer experience. *Systematic Biology*, 41(4), 471-482.

Zelditch, M., Swiderski, D., Sheets, H., & Fink, W. (2004). Geometric Morphometrics for Biologists. *Geometric Morphometrics for Biologists*, 1–443.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-778460-1.X5000-5>

ANEXOS

Anexo 1. Estudio de error intraobservador: aproximación No-métrica

Tabla 33. Compendio de los índices Kappa entre evaluaciones y su interpretación.

| <i>Fotografía</i> | <i>Comparación entre evaluaciones</i> | <i>Índice Kappa</i> | <i>Nivel de concordancia</i> |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 1 | 1ª y 2ª | 0.769 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.647 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 0.869 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 0.875 | Fuerte |
| | Promedio | 0.79 | Moderado |
| 2 | 1ª y 2ª | 0.733 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.714 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 0.846 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.823 | Fuerte |
| 3 | 1ª y 2ª | 0.632 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.875 | Fuerte |
| | 3ª y 4ª | 0.875 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.845 | Fuerte |
| 4 | 1ª y 2ª | 0.566 | Débil |
| | 2ª y 3ª | 0.724 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 0.733 | Moderado |
| | 4ª y 5ª | 0.862 | Fuerte |
| | Promedio | 0.721 | Moderado |
| 5 | 1ª y 2ª | 0.873 | Fuerte |
| | 2ª y 3ª | 0.472 | Débil |
| | 3ª y 4ª | 0.851 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 0.851 | Fuerte |
| | Promedio | 0.761 | Moderado |
| 6 | 1ª y 2ª | 0.325 | Mínimo |
| | 2ª y 3ª | 0.671 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 1 | Casi perfecta |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.749 | Moderado |
| 7 | 1ª y 2ª | 0.724 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.60 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 1 | Casi perfecta |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.831 | Fuerte |
| 8 | 1ª y 2ª | 0.333 | Mínimo |
| | 2ª y 3ª | 0.478 | Débil |
| | 3ª y 4ª | 1 | Casi perfecta |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.702 | Moderado |
| 9 | 1ª y 2ª | 0.414 | Débil |
| | 2ª y 3ª | 0.566 | Débil |
| | 3ª y 4ª | 0.844 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.706 | Moderado |
| 10 | 1ª y 2ª | 0.608 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.727 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 0.862 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.799 | Moderado |
| 11 | 1ª y 2ª | 1 | Casi perfecta |
| | 2ª y 3ª | 0.87 | Fuerte |
| | 3ª y 4ª | 1 | Casi perfecta |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.967 | Casi perfecta |

| <i>Fotografía</i> | <i>Comparación entre evaluaciones</i> | <i>Índice Kappa</i> | <i>Nivel de concordancia</i> |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 12 | 1ª y 2ª | 0.747 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.744 | Moderado |
| | 3ª y 4ª | 0.87 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.84 | Fuerte |
| 13 | 1ª y 2ª | 0.75 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 1 | Casi perfecta |
| | 3ª y 4ª | 1 | Casi perfecta |
| | 4ª y 5ª | 1 | Casi perfecta |
| | Promedio | 0.937 | Casi perfecta |
| 14 | 1ª y 2ª | 0.6 | Moderado |
| | 2ª y 3ª | 0.59 | Débil |
| | 3ª y 4ª | 0.844 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 0.844 | Fuerte |
| | Promedio | 0.719 | Moderado |
| 15 | 1ª y 2ª | 0.277 | Mínimo |
| | 2ª y 3ª | 0.454 | Débil |
| | 3ª y 4ª | 0.869 | Fuerte |
| | 4ª y 5ª | 0.869 | Fuerte |
| | Promedio | 0.617 | Moderado |

Anexo 2. Clusters de la validación de las características no-métricas en el morfoespacio geométrico

Debido al número de individuos, los gráficos de *clusters* exceden el tamaño que se puede colocar en una sola hoja, por lo que cada uno fue seccionado. A continuación, cada análisis de *cluster* será presentado primero por una figura donde se indican las secciones del gráfico y posteriormente el gráfico amplificado.

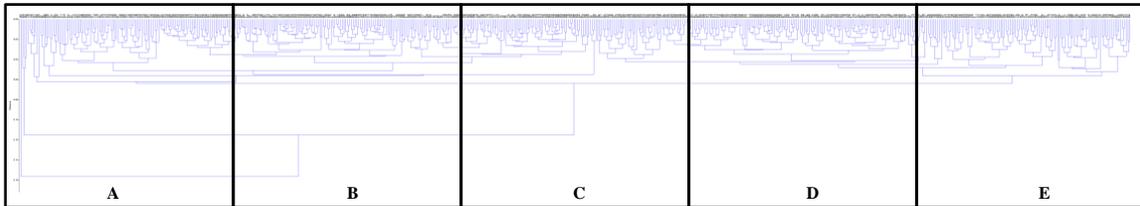
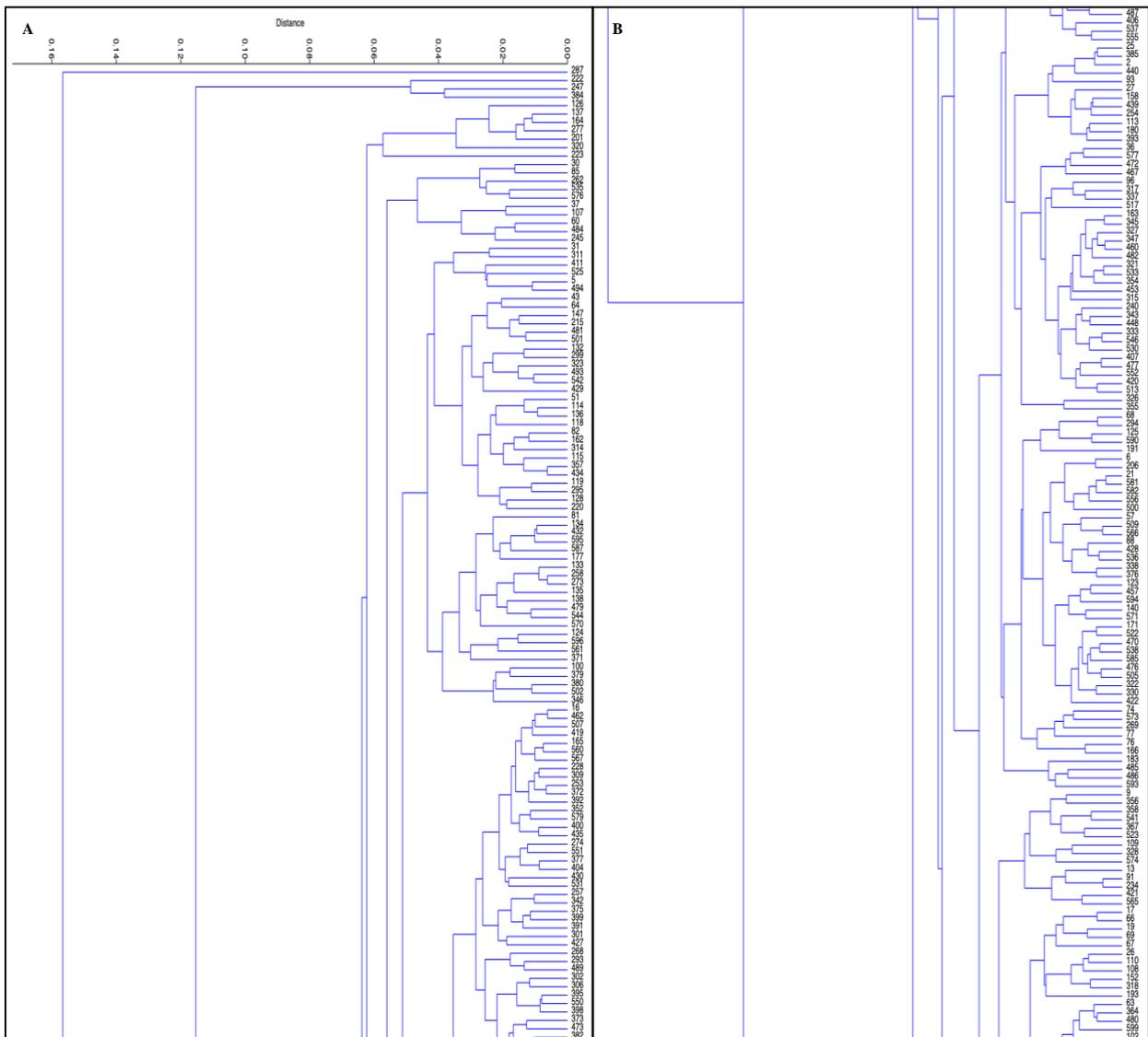
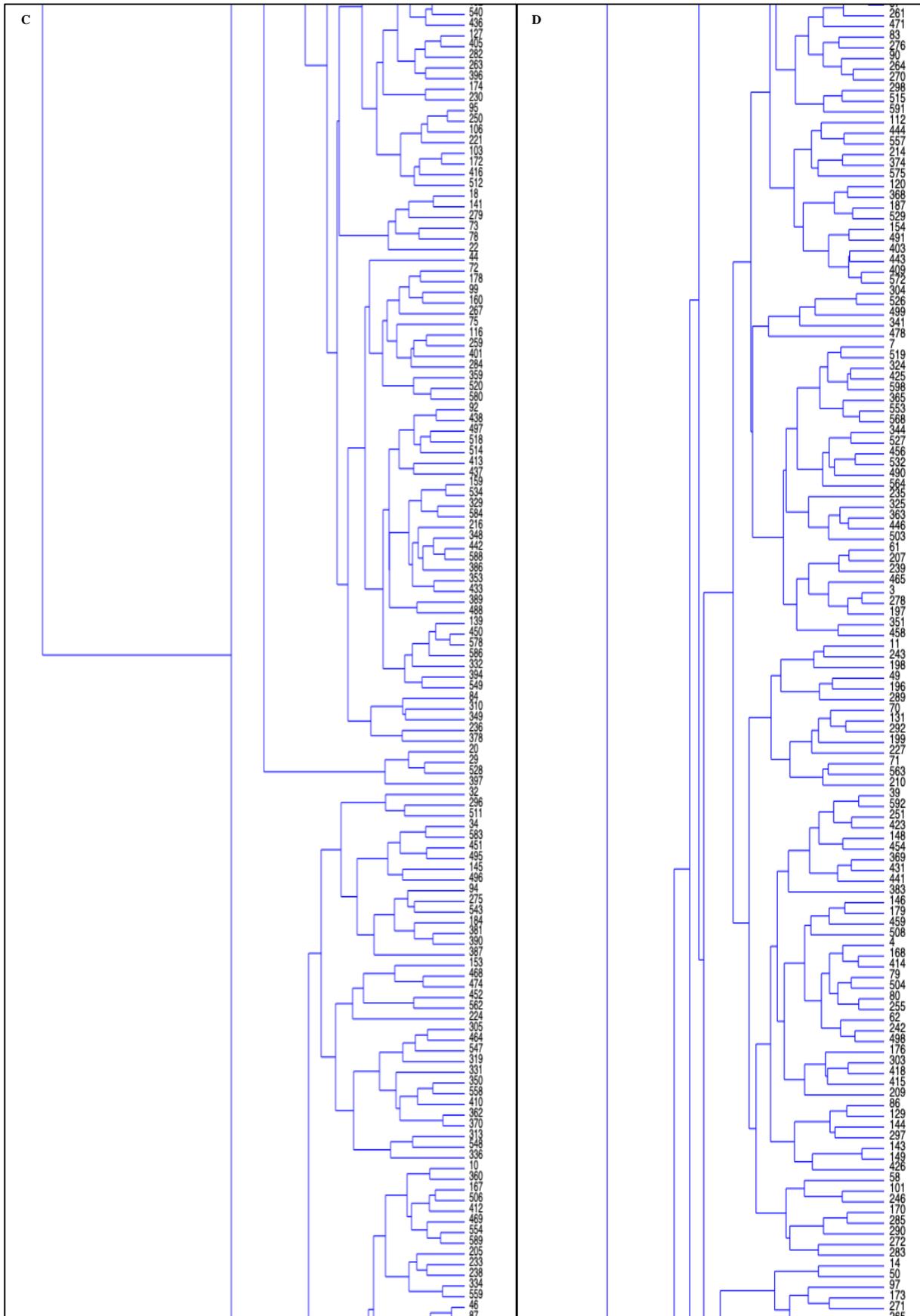


Figura 40.1. Gráfico *cluster* de la forma de la cara dividido en secciones (A-E).

Figura 40.2. Gráfico *cluster* de la forma de la cara.





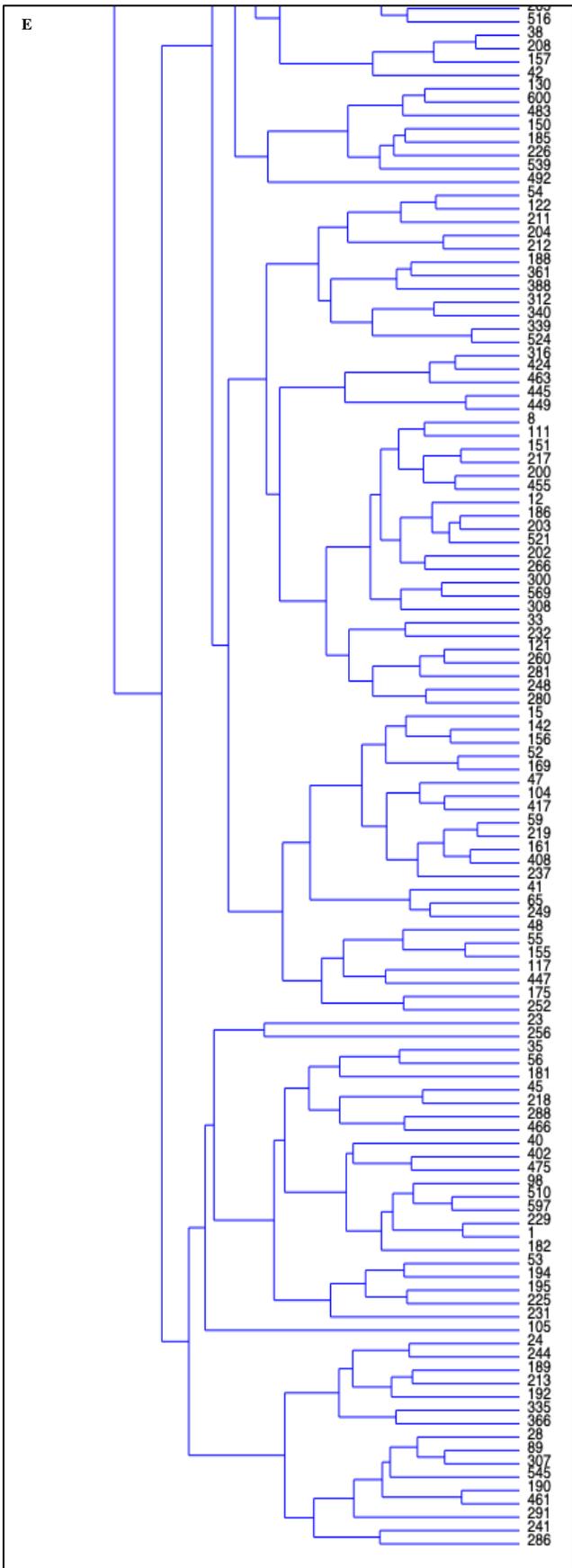
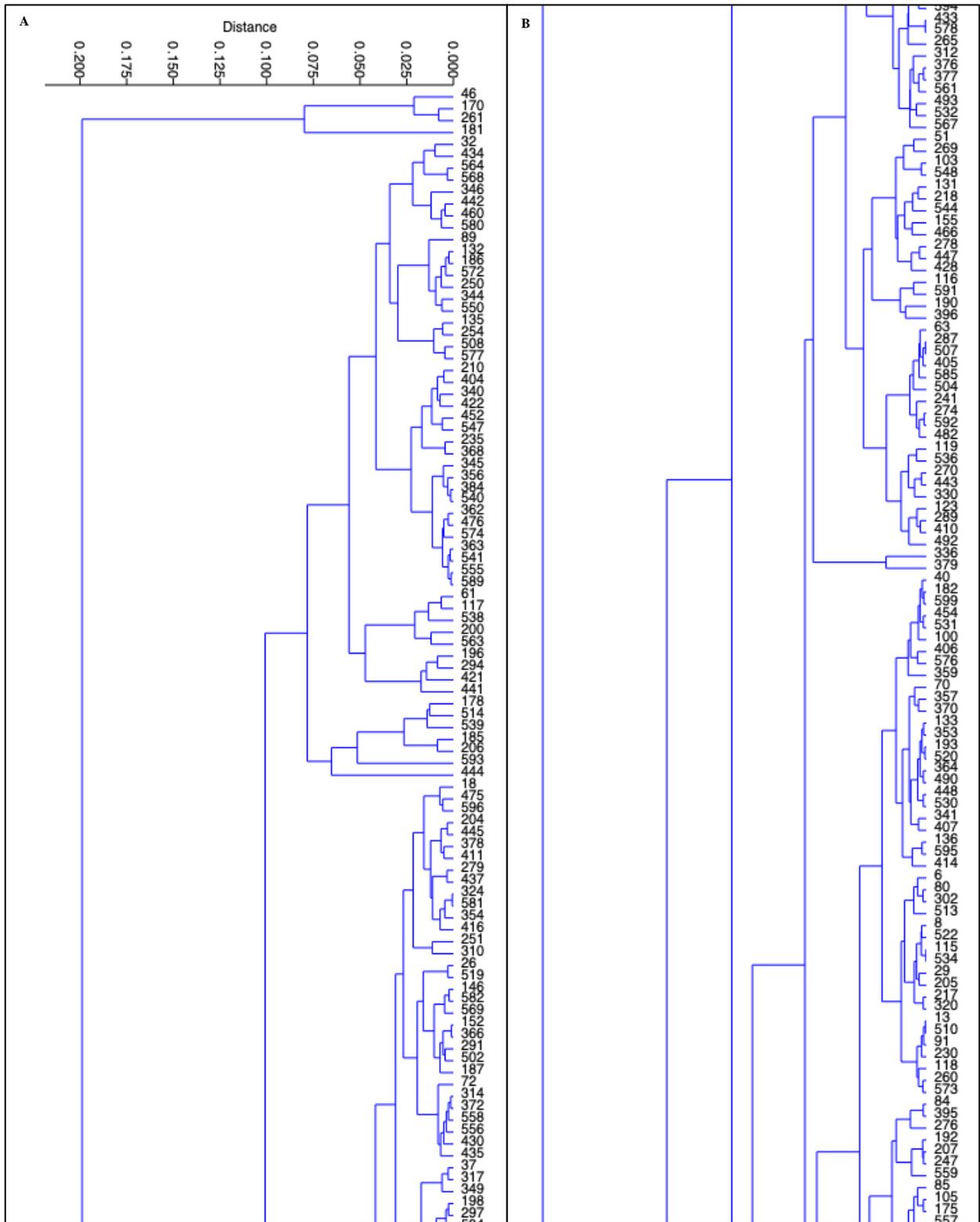
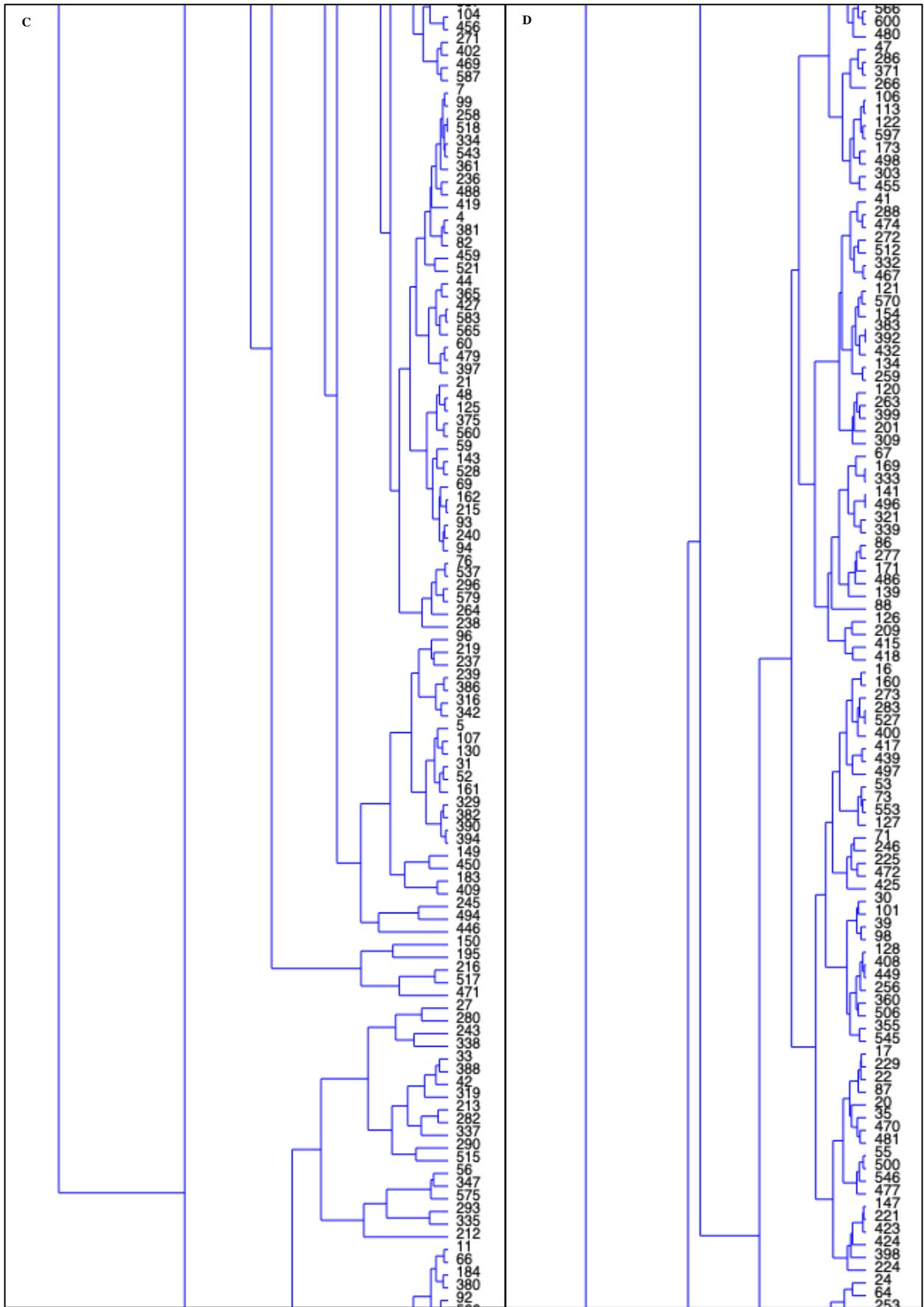


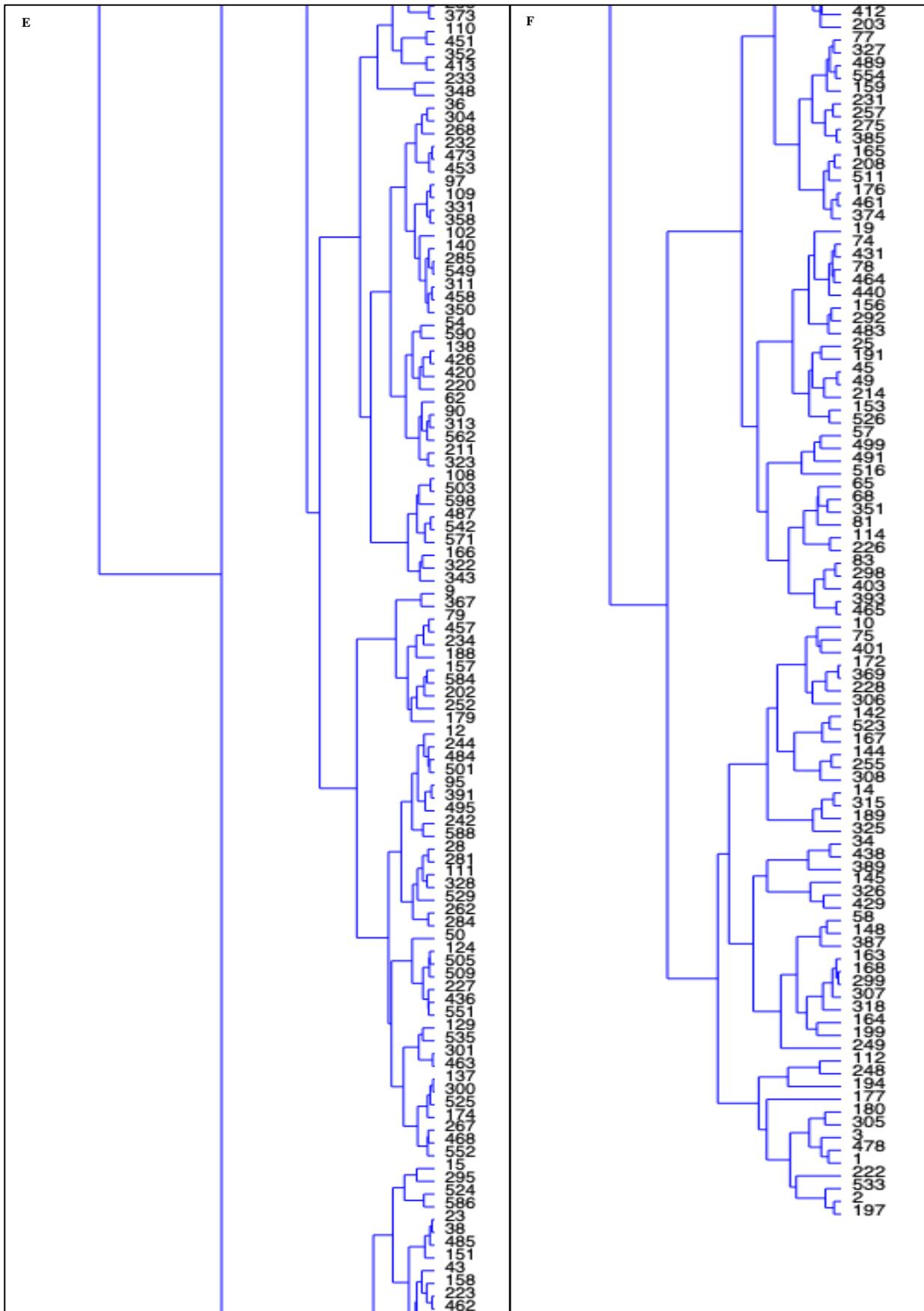


Figura 41.1. Gráfico *cluster* de la altura del *filtrum* dividido en secciones (A-F).

Figura 41.2. Gráfico *cluster* de la altura del *filtrum*.







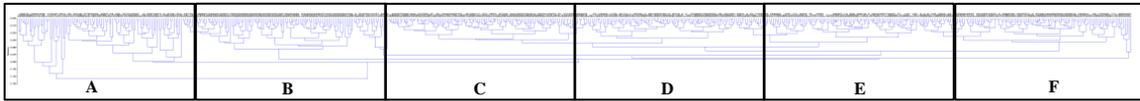
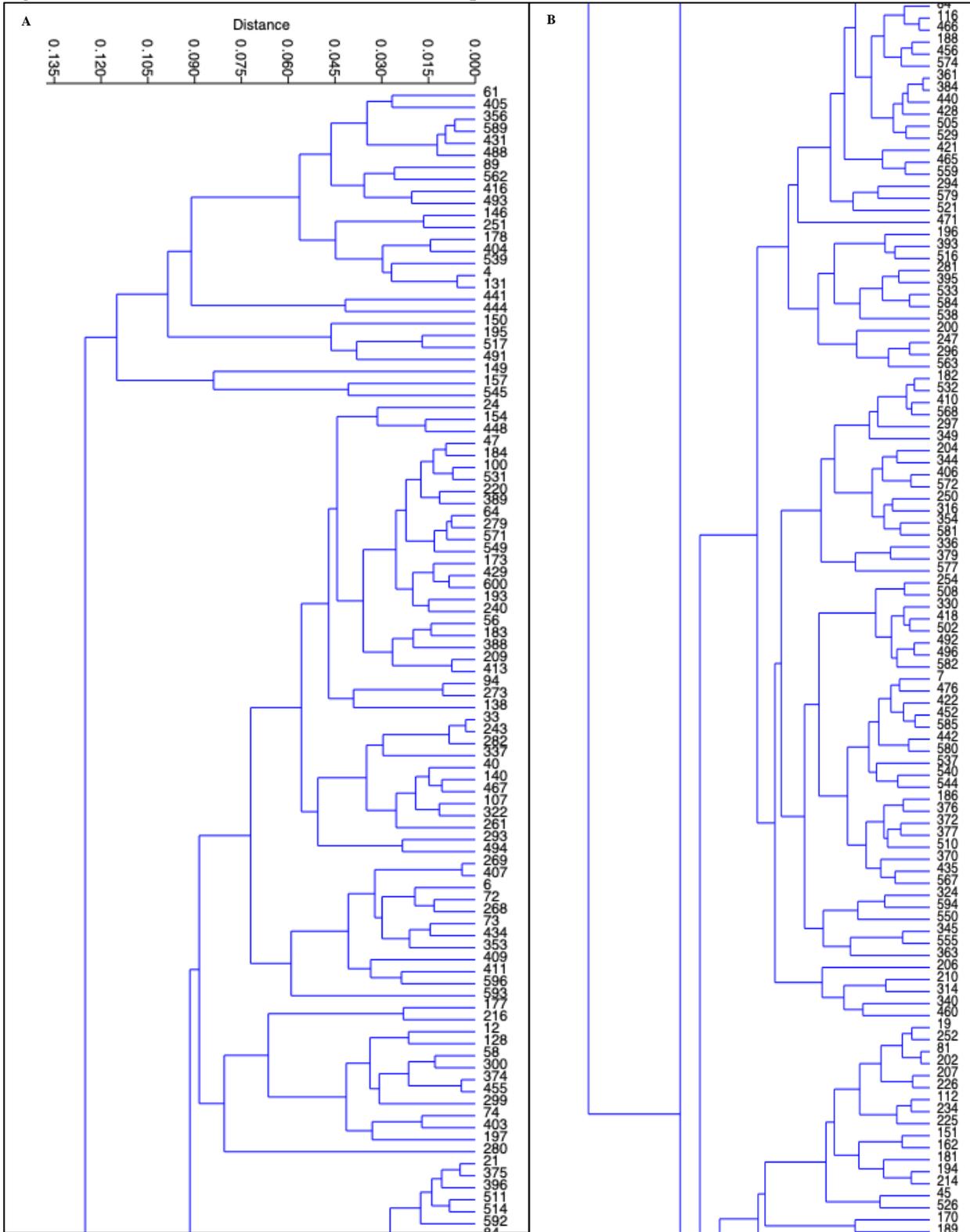
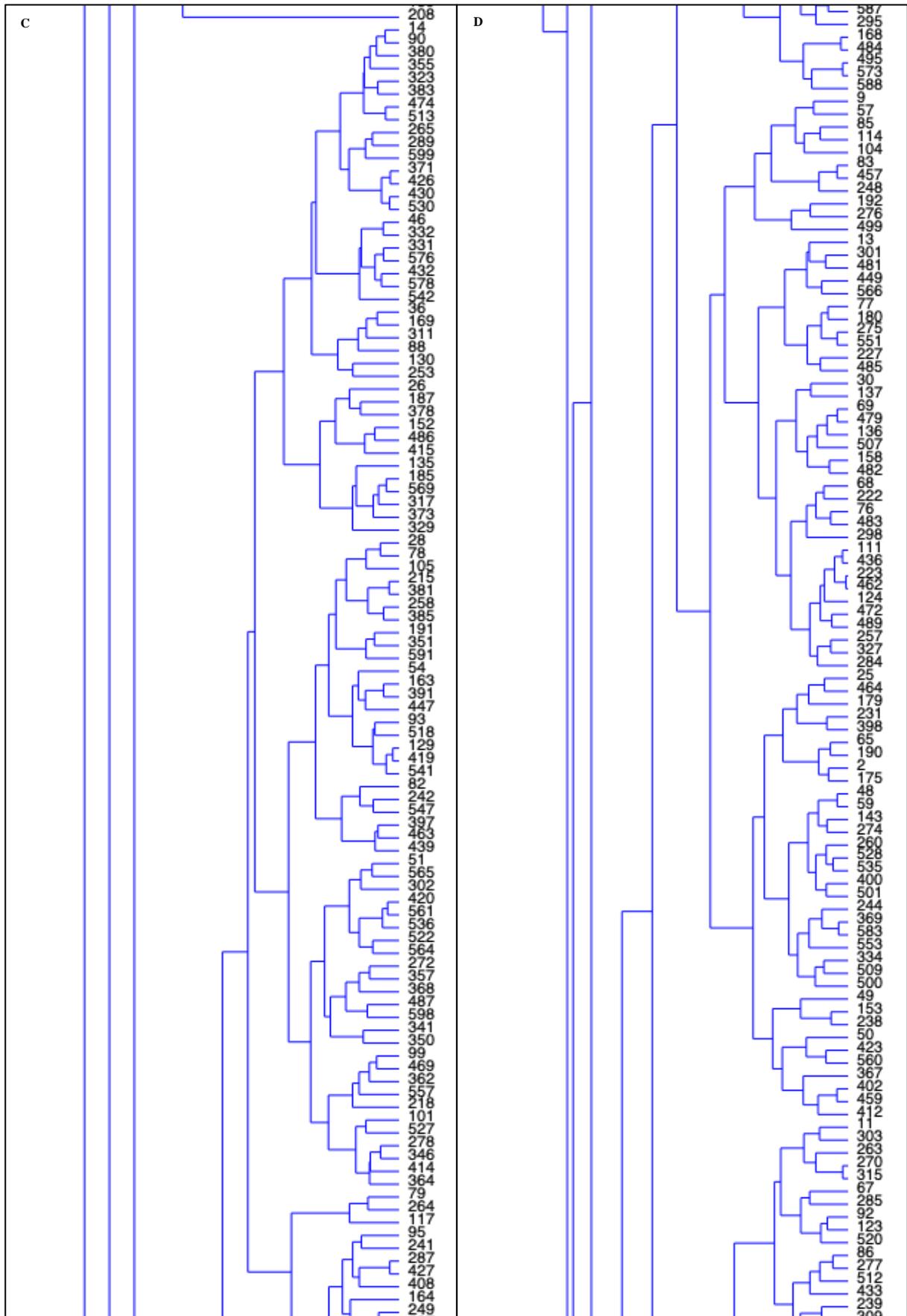
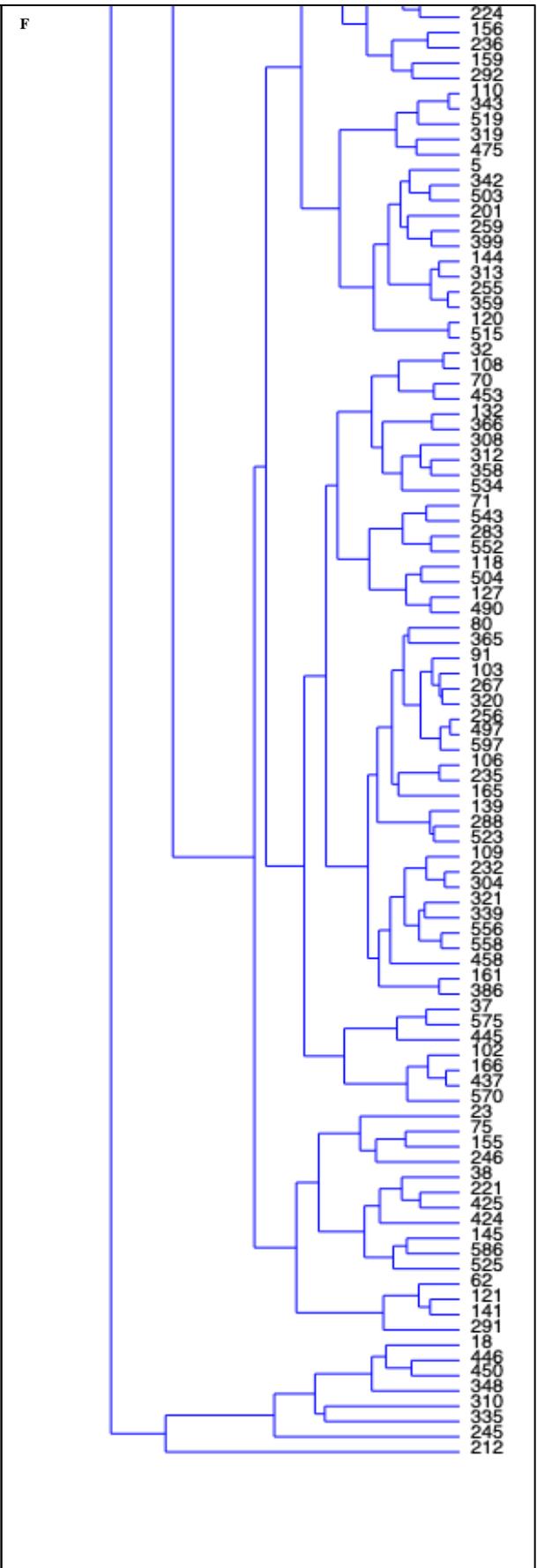
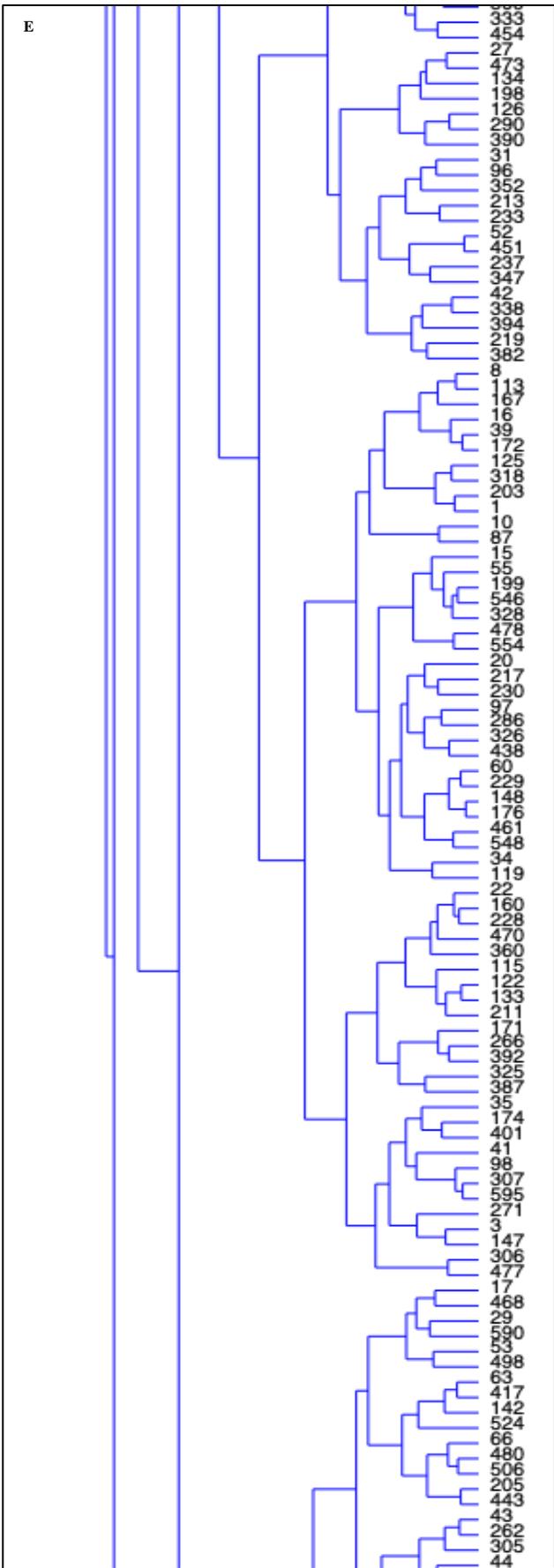


Figura 42.1. Gráfico *cluster* de la muesca del labio superior dividido en secciones (A-F).

Figura 42.2. Gráfico *cluster* de la muesca del labio superior.







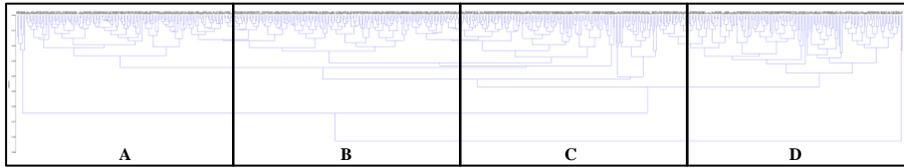
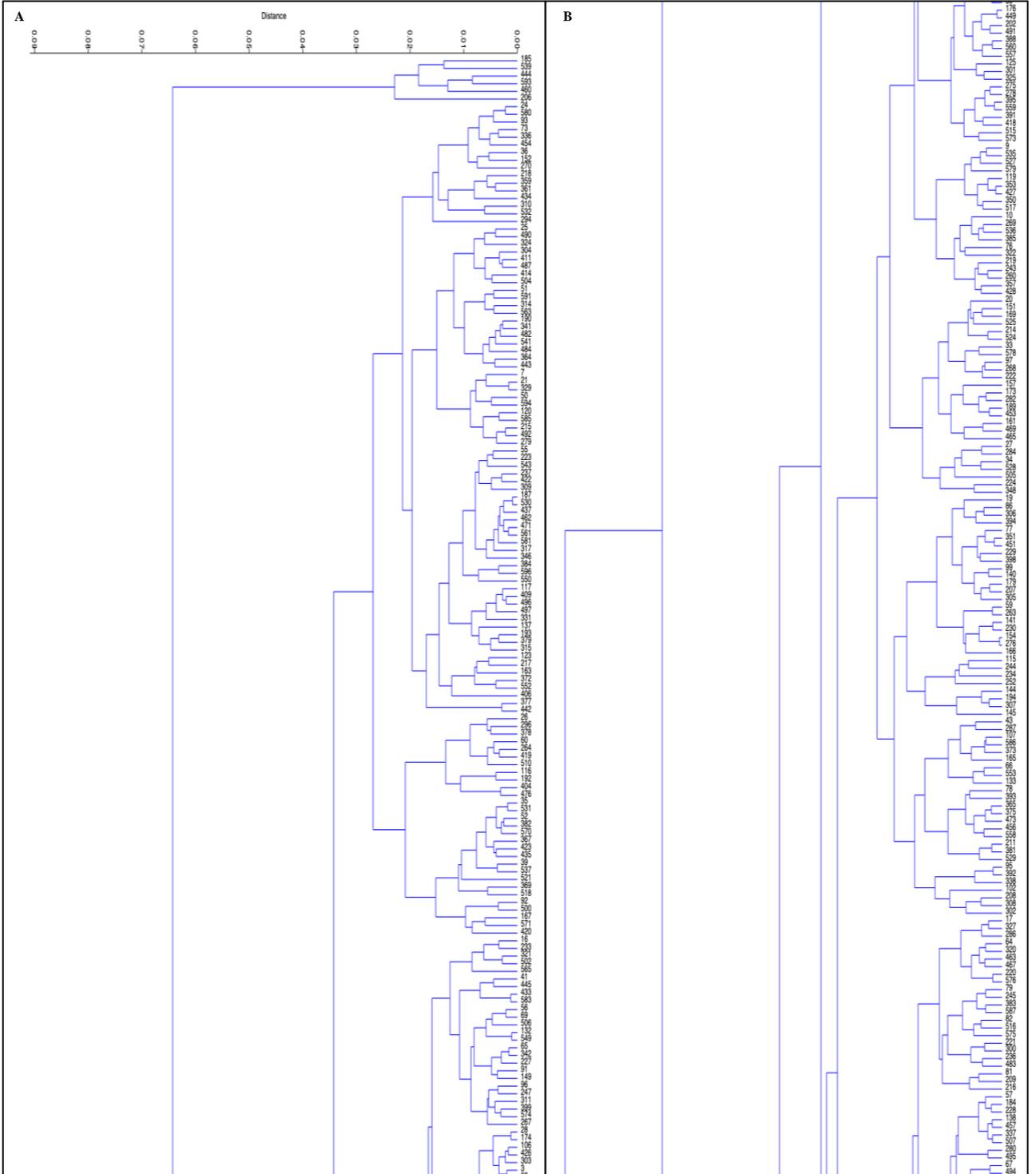
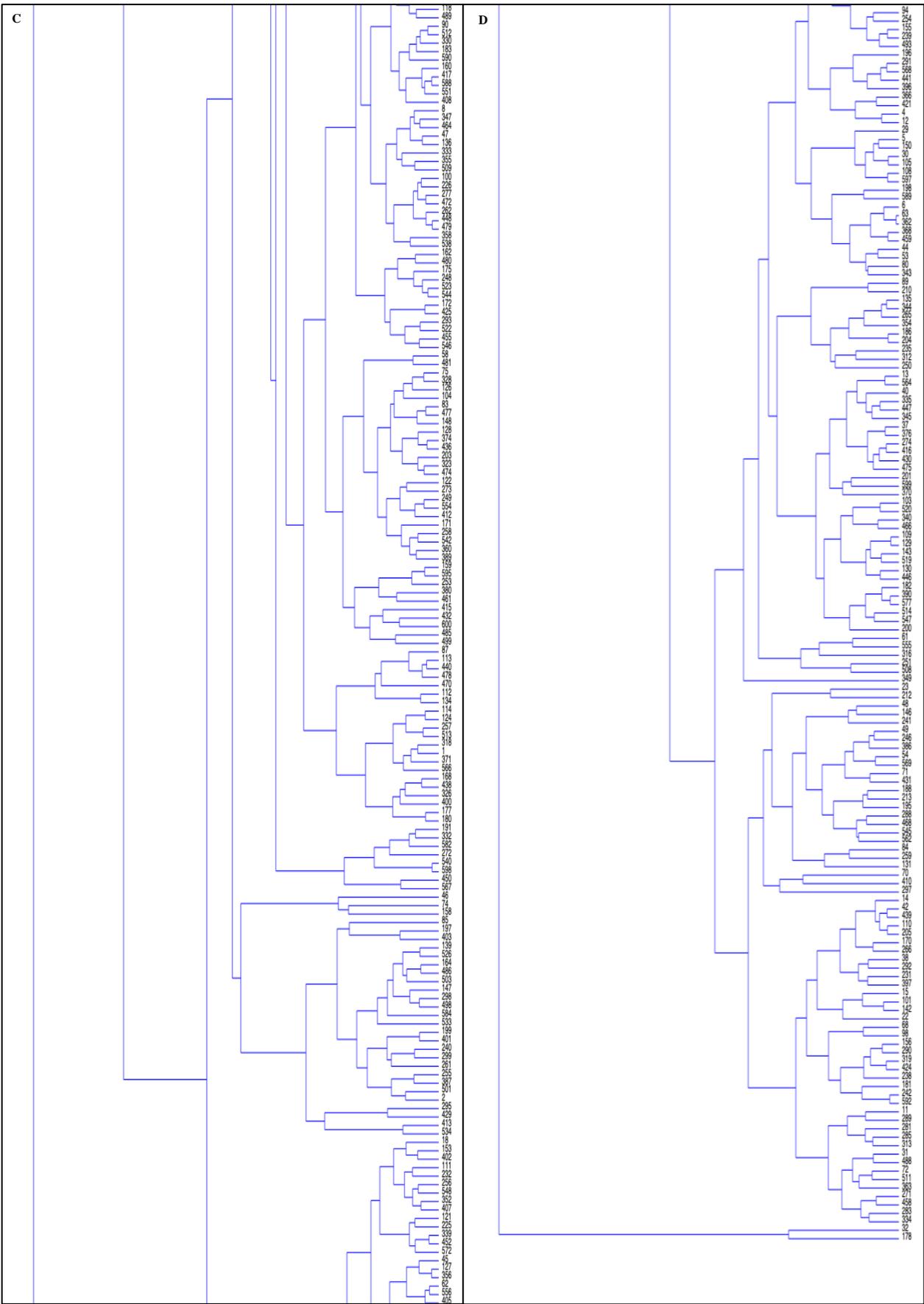


Figura 43.1. Gráfico *cluster* de la orientación de la esquina de la boca dividido en secciones (A-D).

Figura 43.2. Gráfico *cluster* de la orientación de la esquina de la boca.





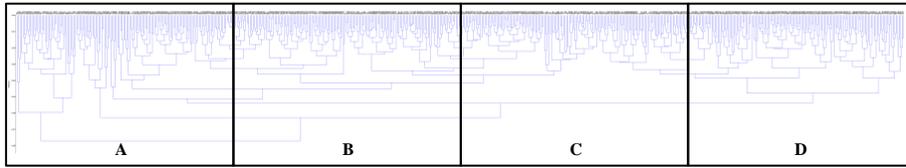
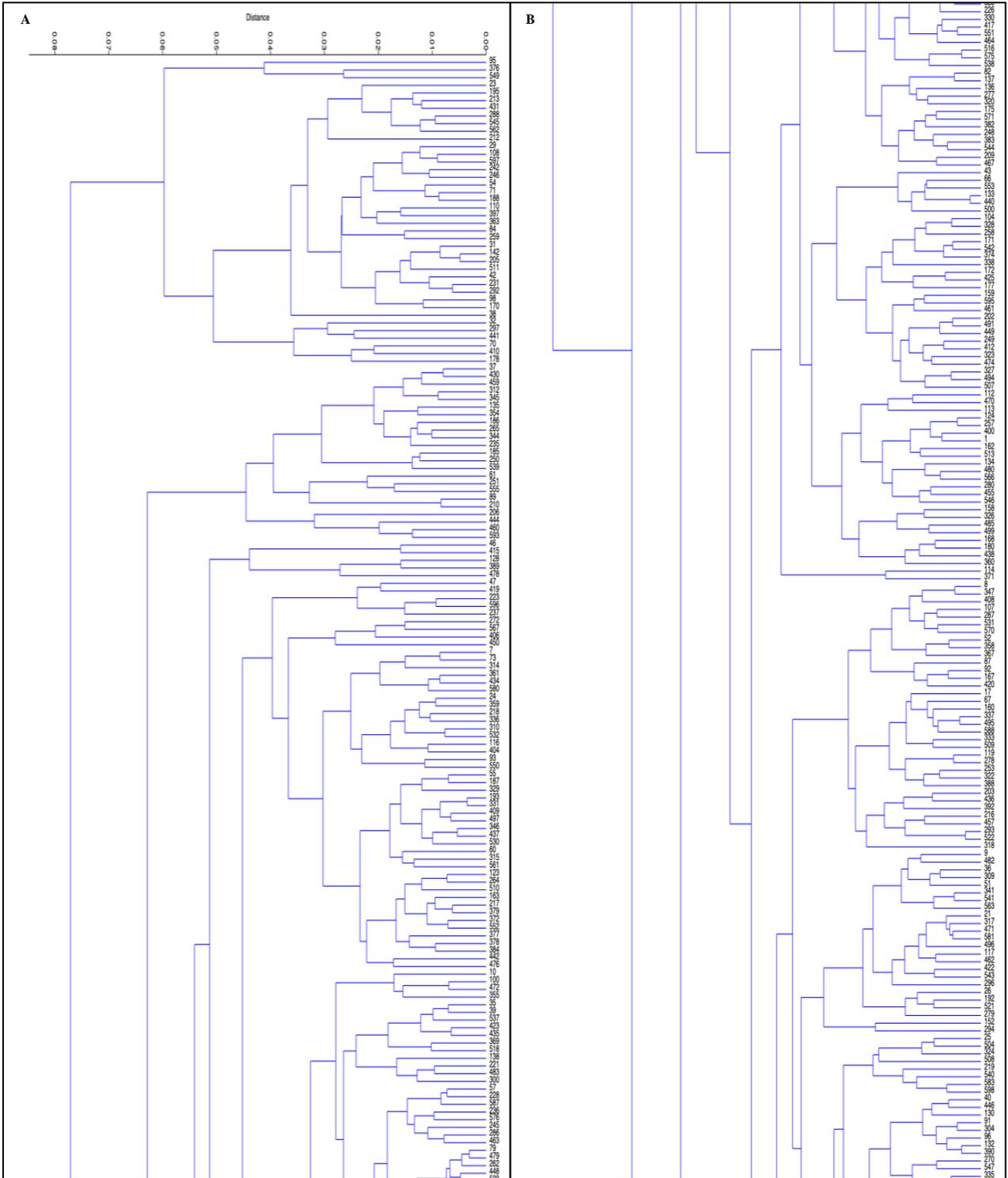


Figura 44.1. Gráfico *cluster* de la forma de la hendidura de la boca dividido en secciones (A-D).

Figura 44.2. Gráfico *cluster* de la forma de la hendidura de la boca.



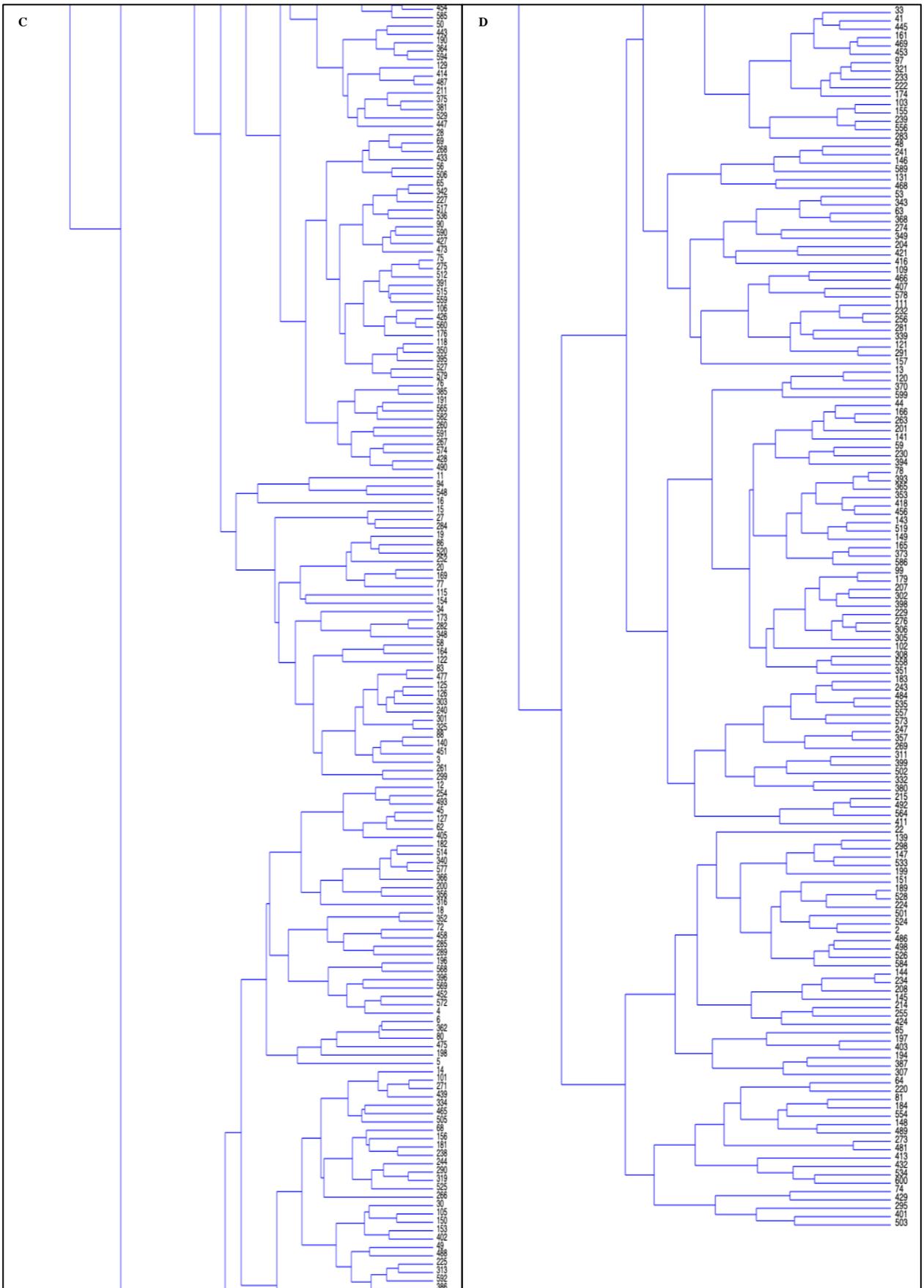
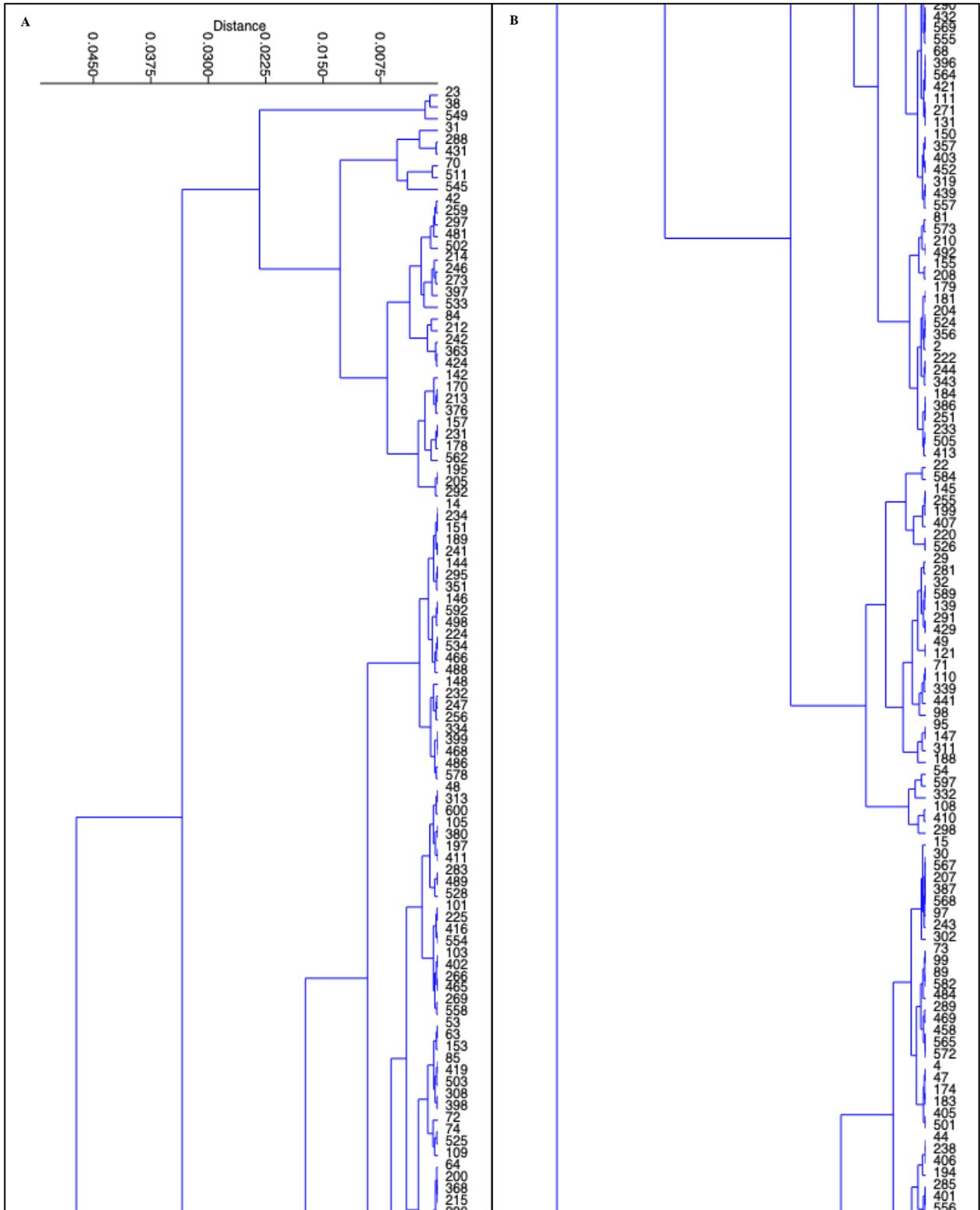




Figura 45.1. Gráfico *cluster* de la forma de la amplitud labial dividido en secciones (A-F).

Figura 45.2. Gráfico *cluster* de la forma de la amplitud labial.



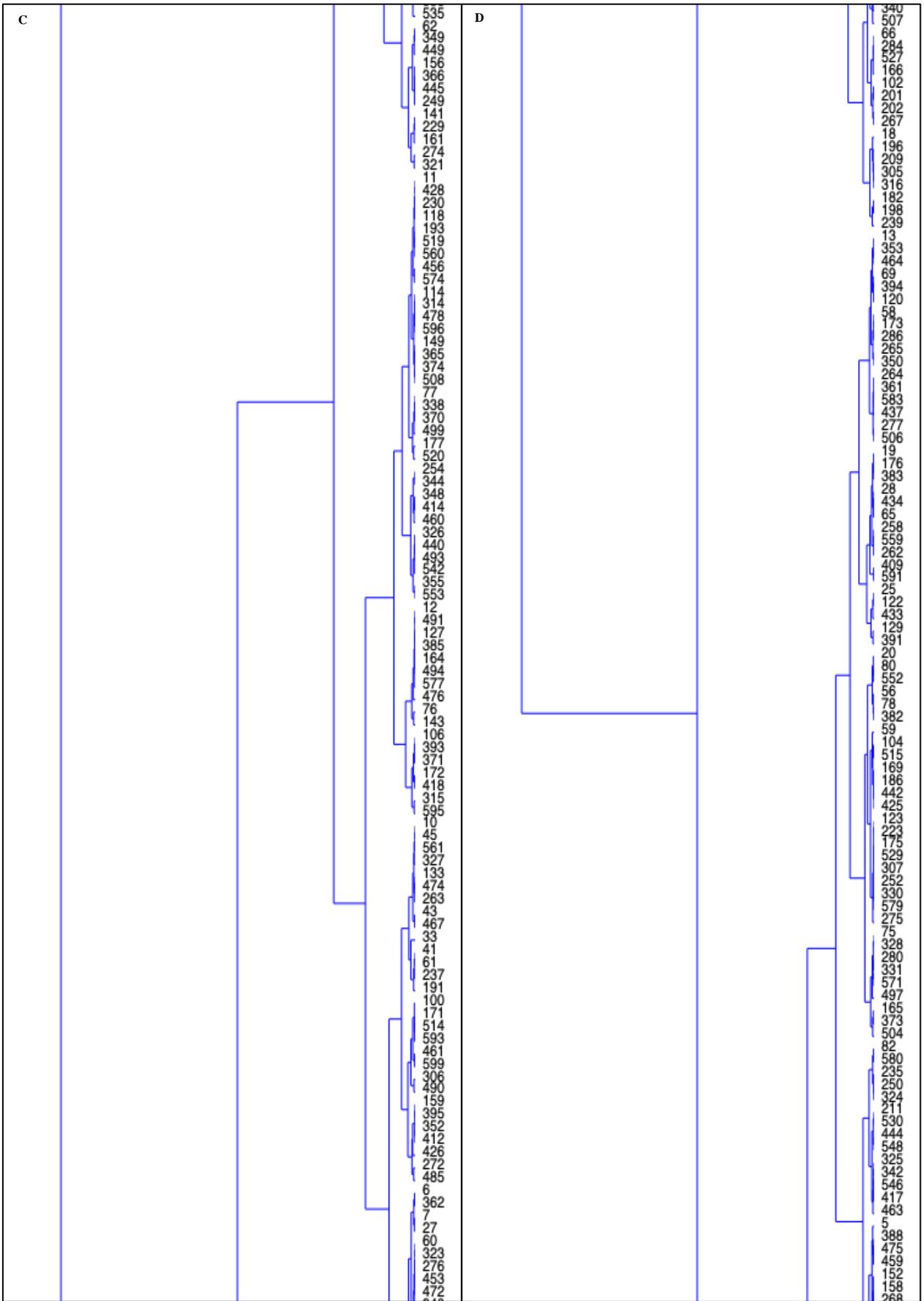
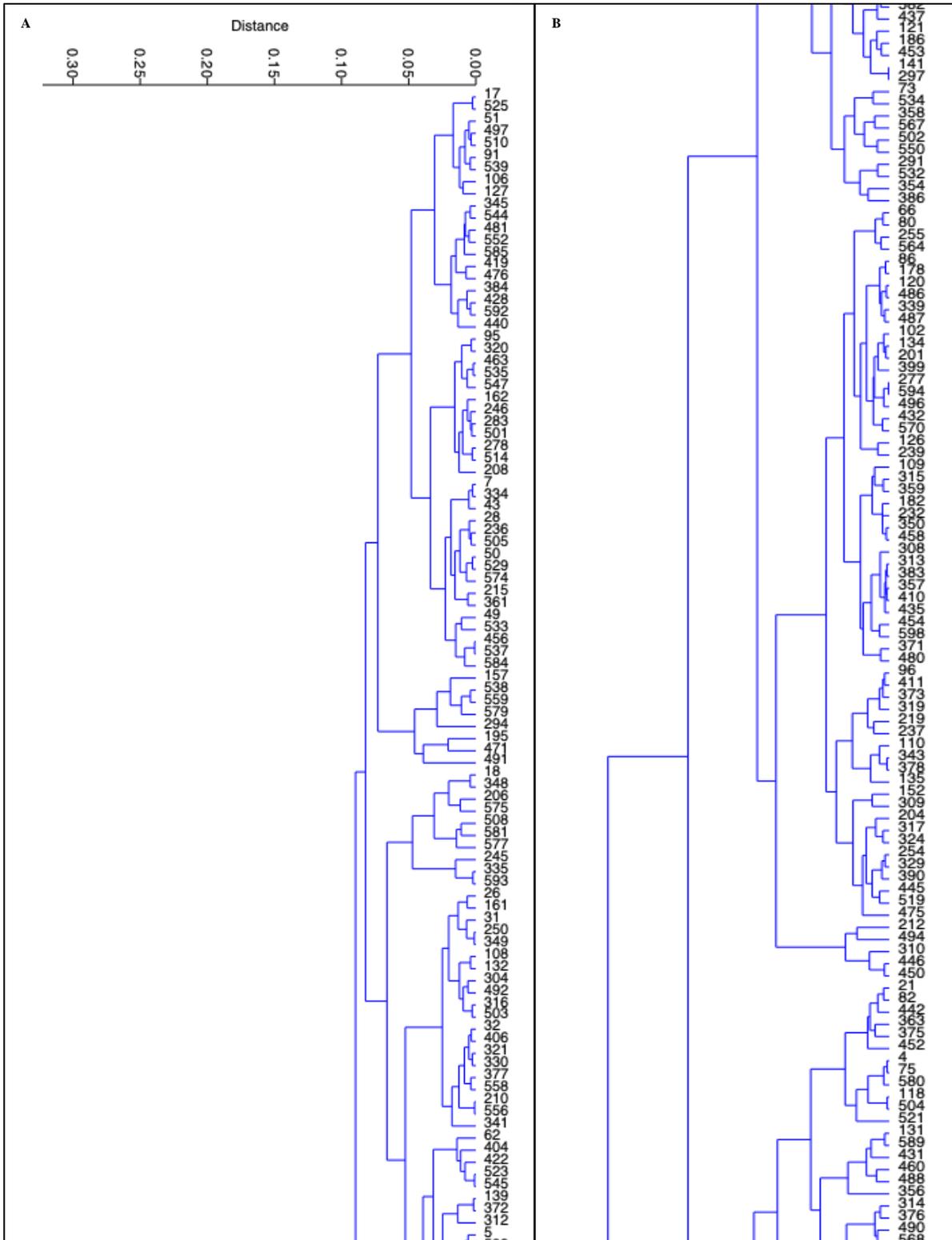
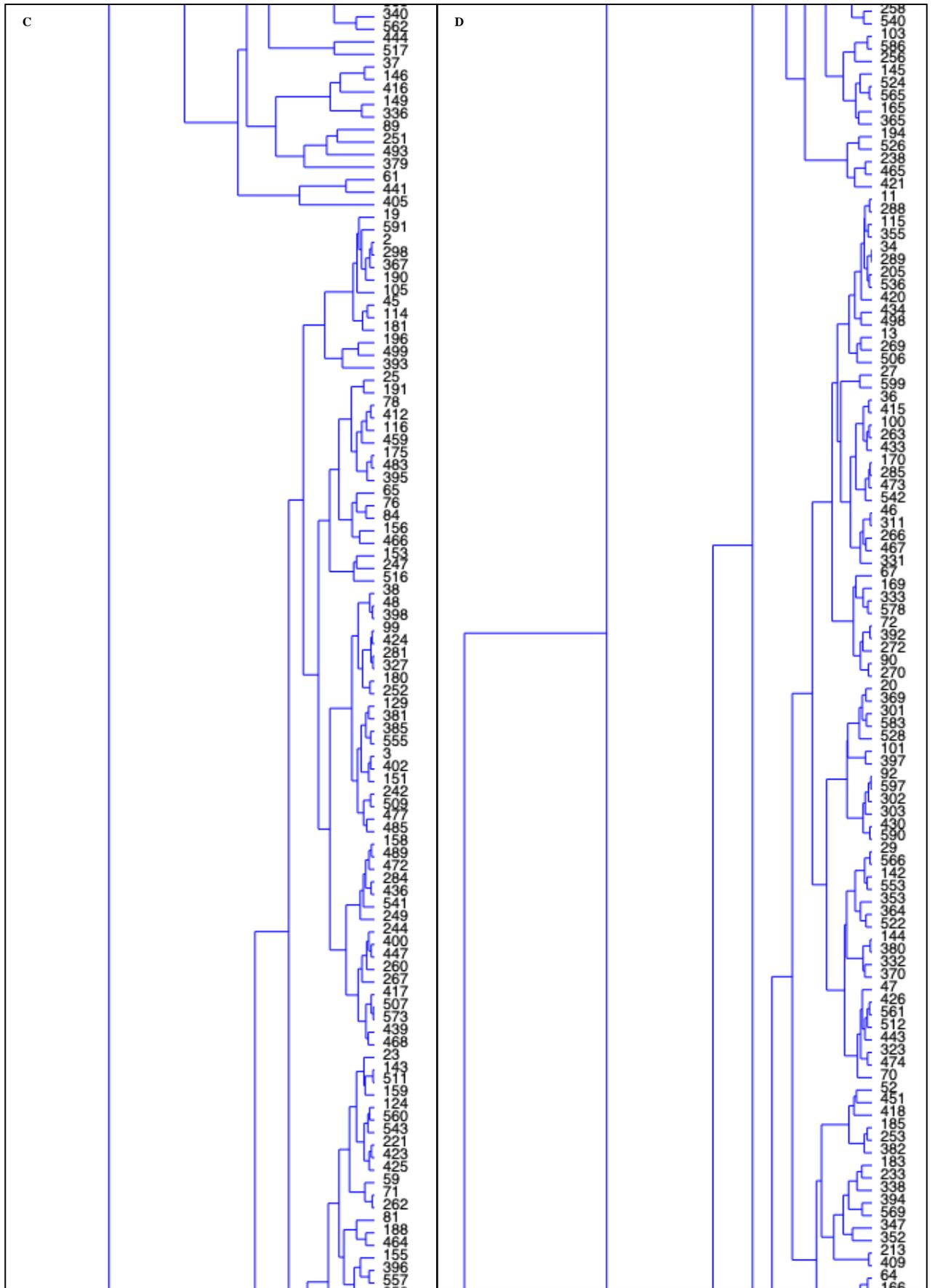




Figura 46.1. Gráfico *cluster* de la forma del bermellón superior dividido en secciones (A-F).

Figura 46.2. Gráfico *cluster* de la forma del bermellón superior.





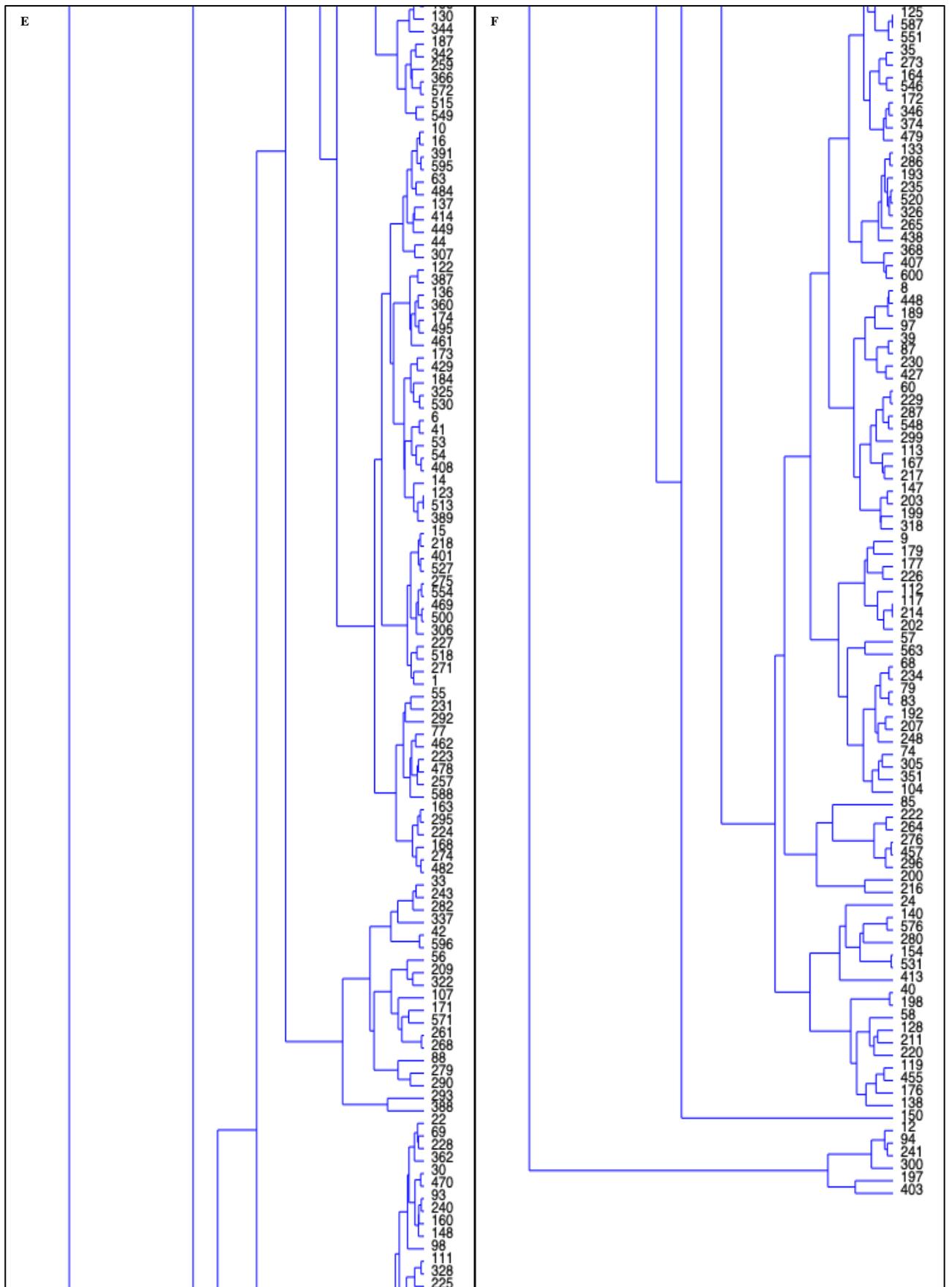
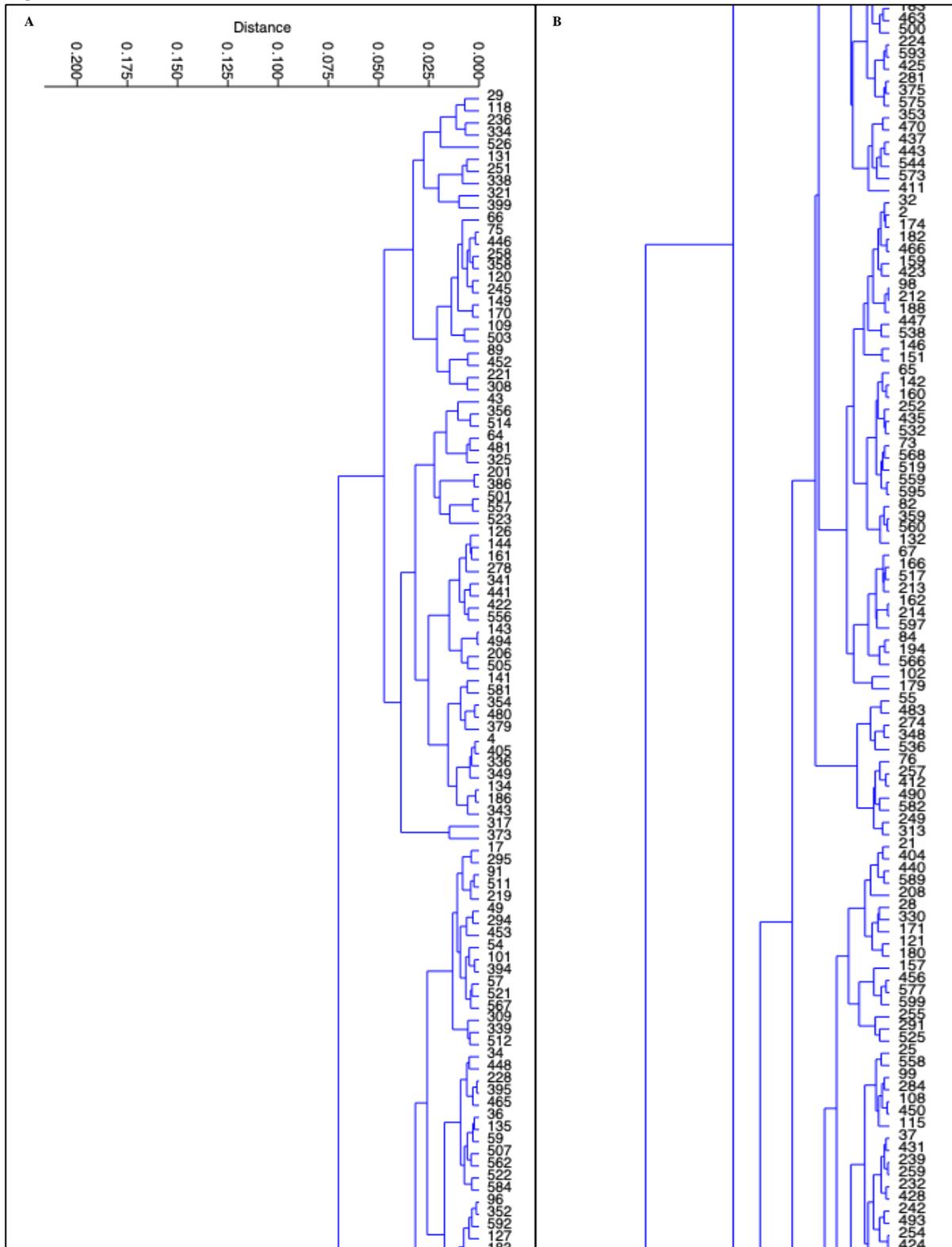
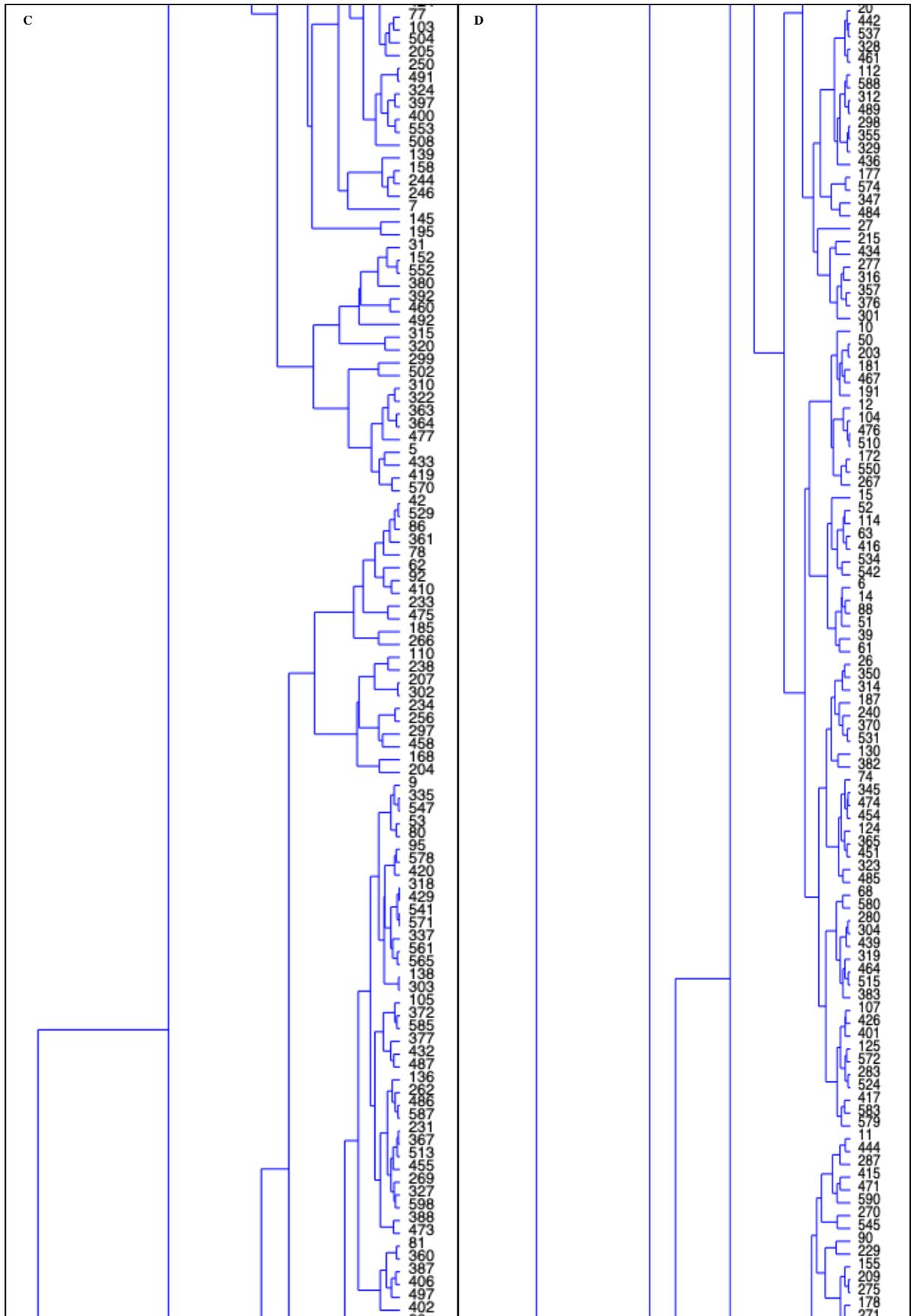


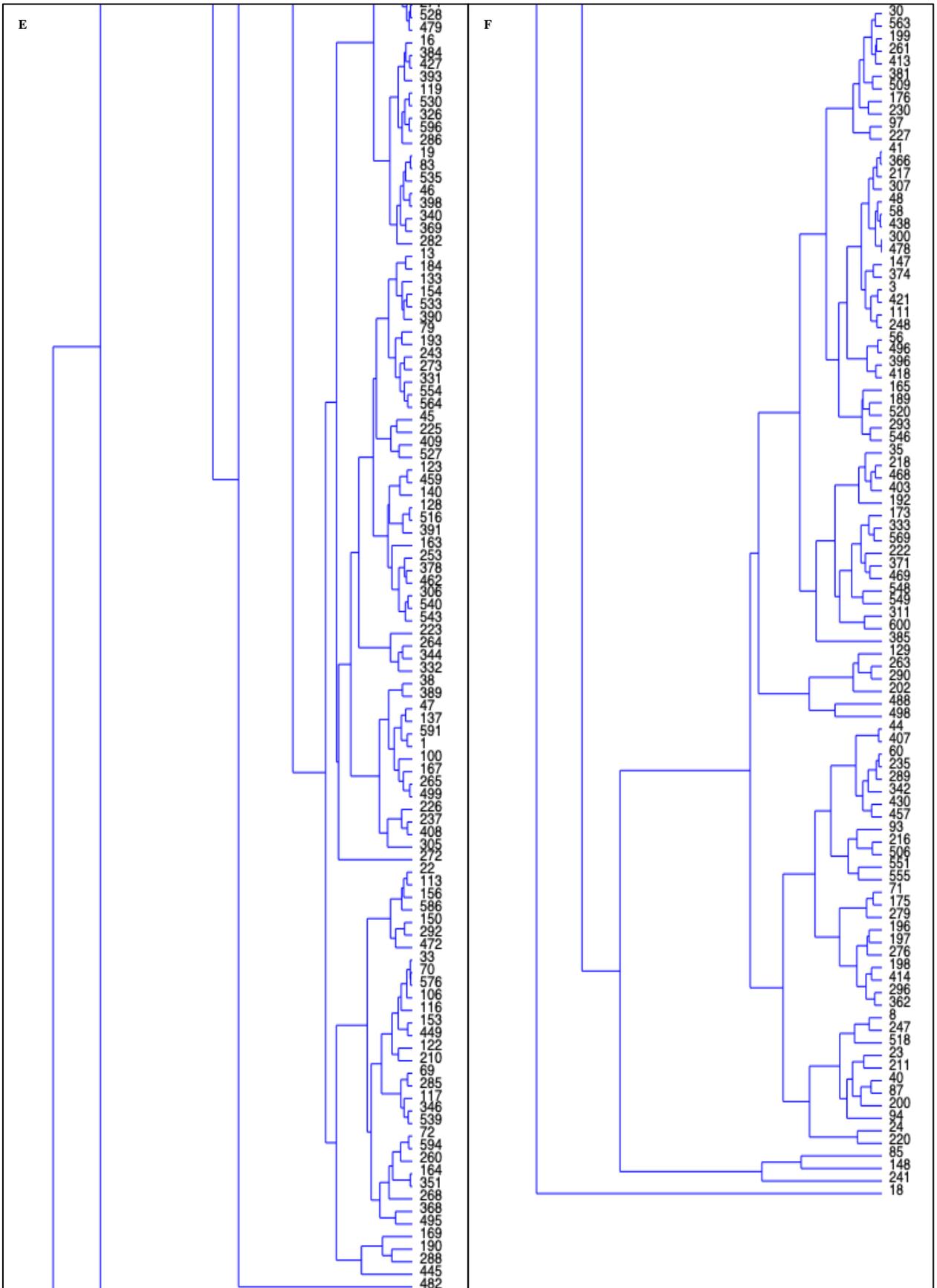


Figura 47.1. Gráfico *cluster* de la forma del bermellón inferior dividido en secciones (A-F).

Figura 47.2. Gráfico *cluster* de la forma del bermellón inferior.







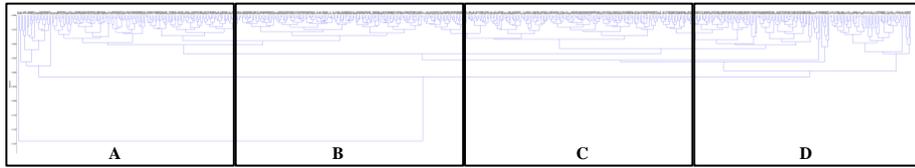


Figura 48.1. Gráfico *cluster* de la forma del mentón dividido en secciones (A-D).

Figura 48.2. Gráfico *cluster* de la forma del mentón.



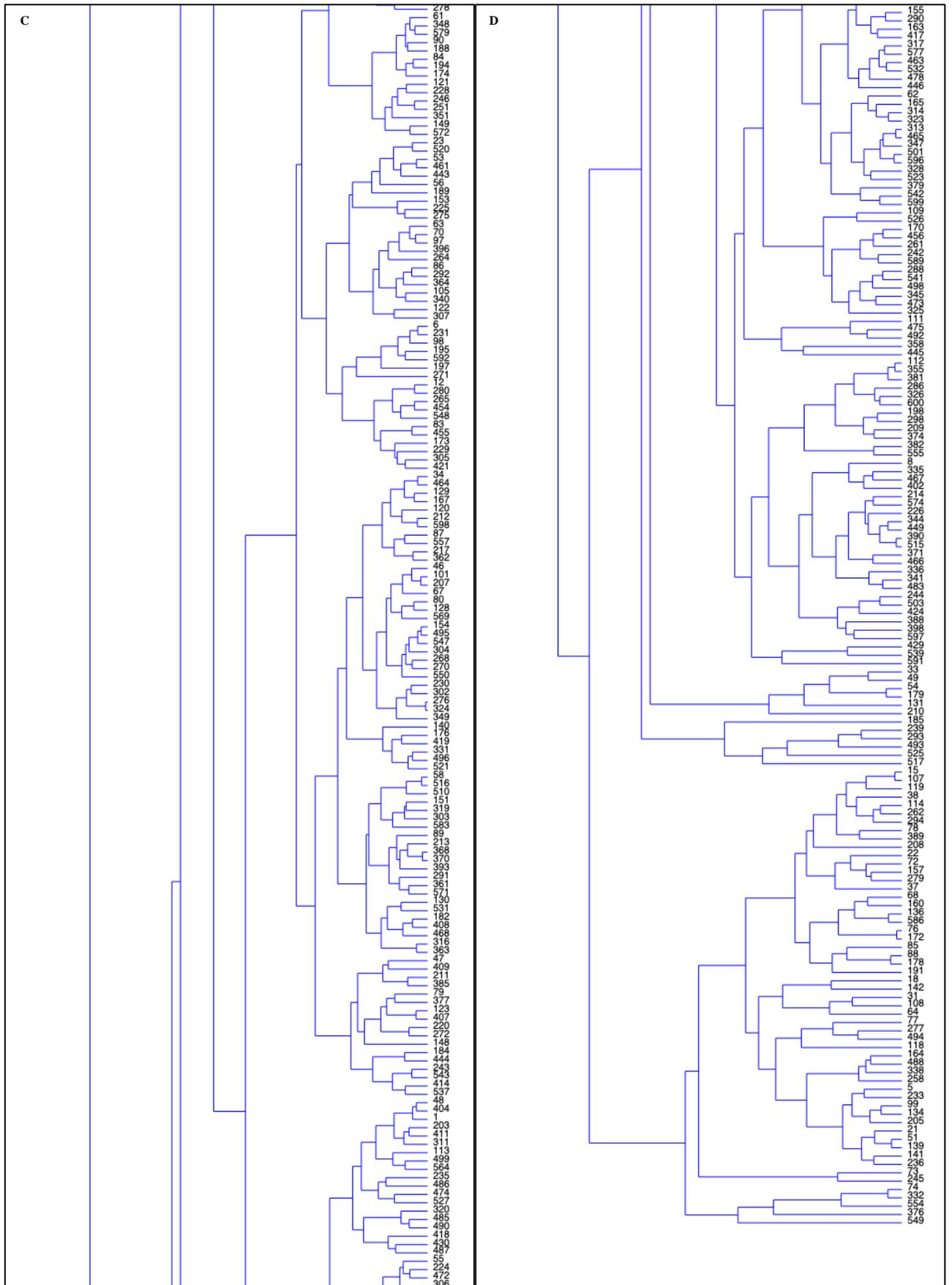
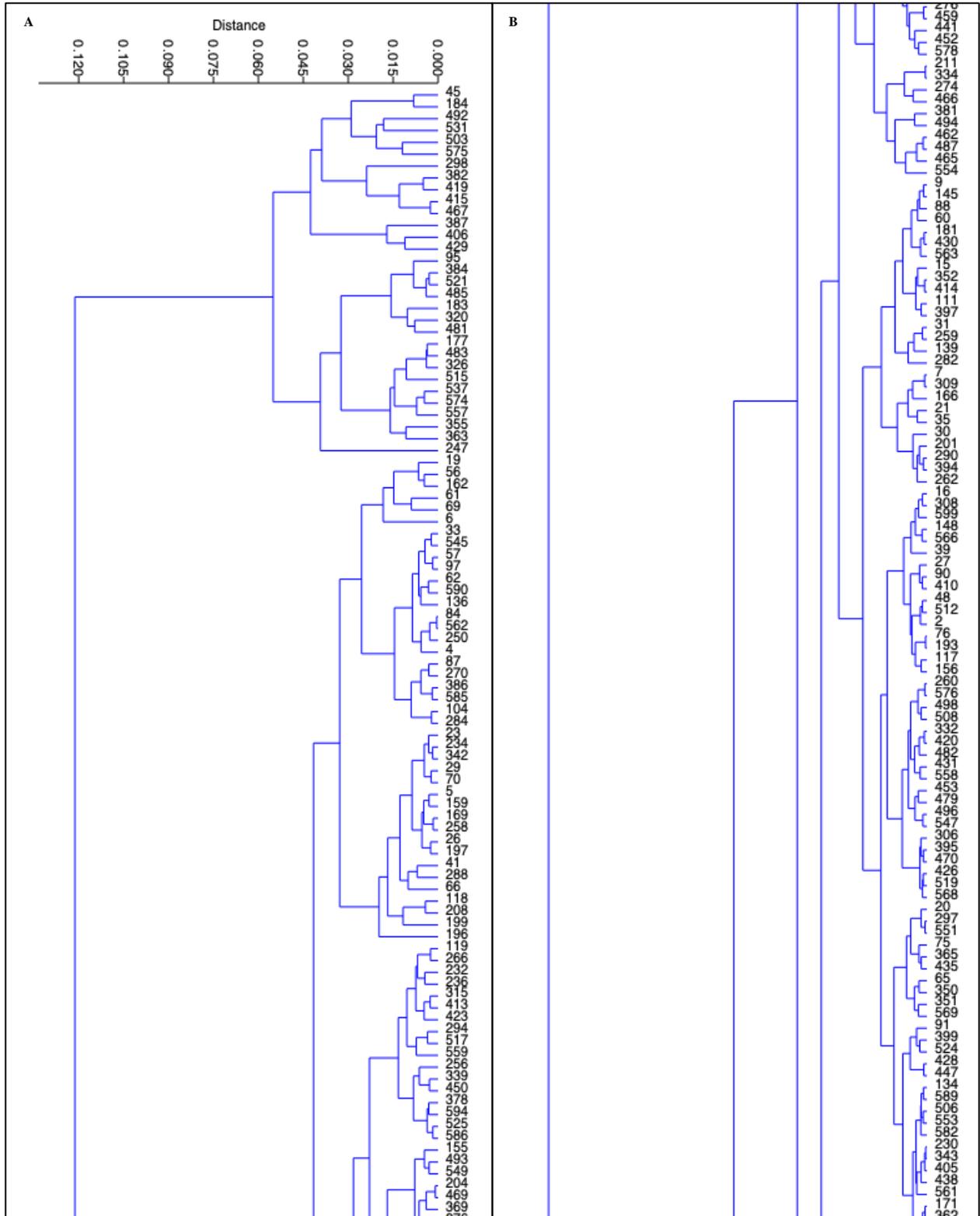
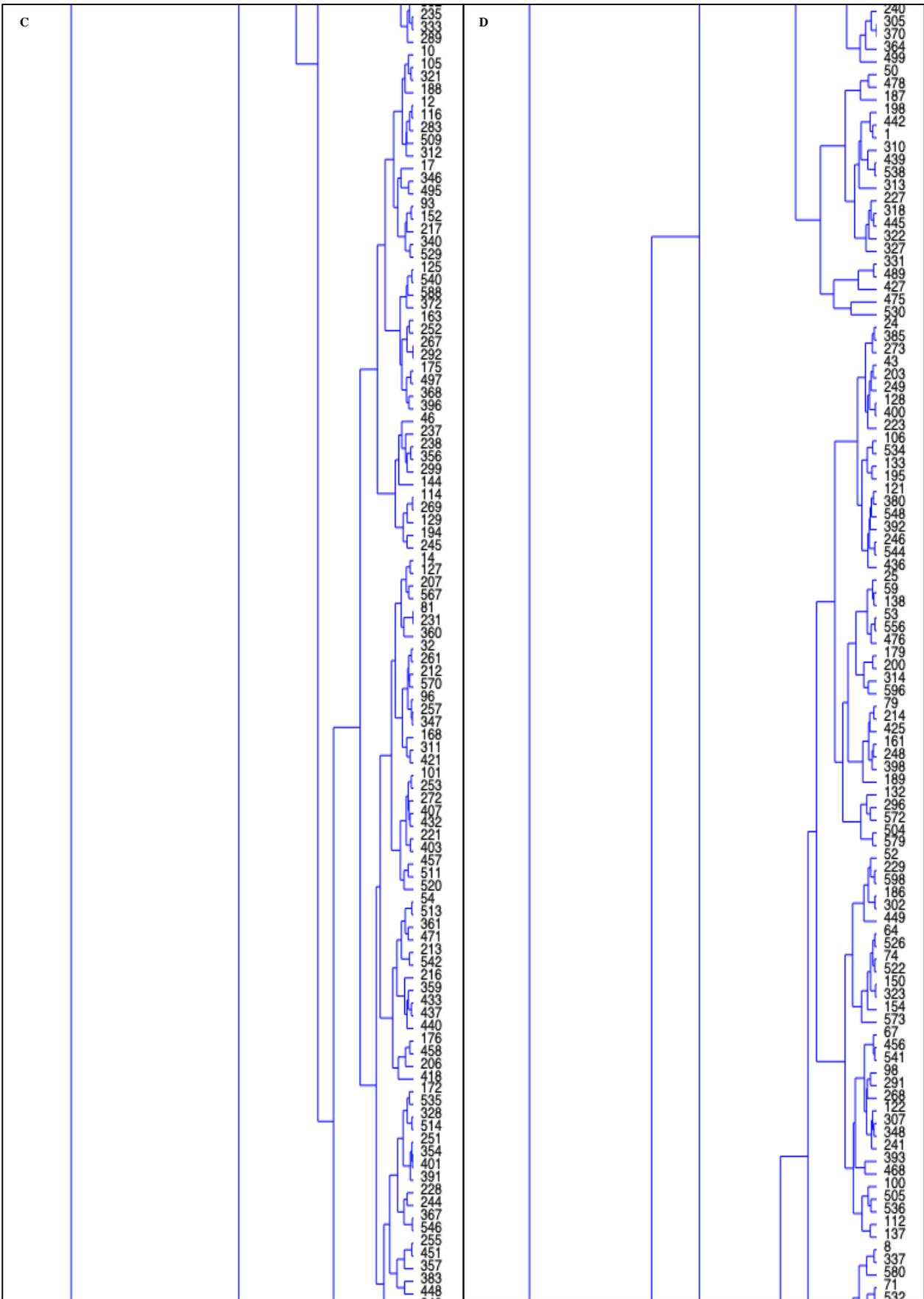


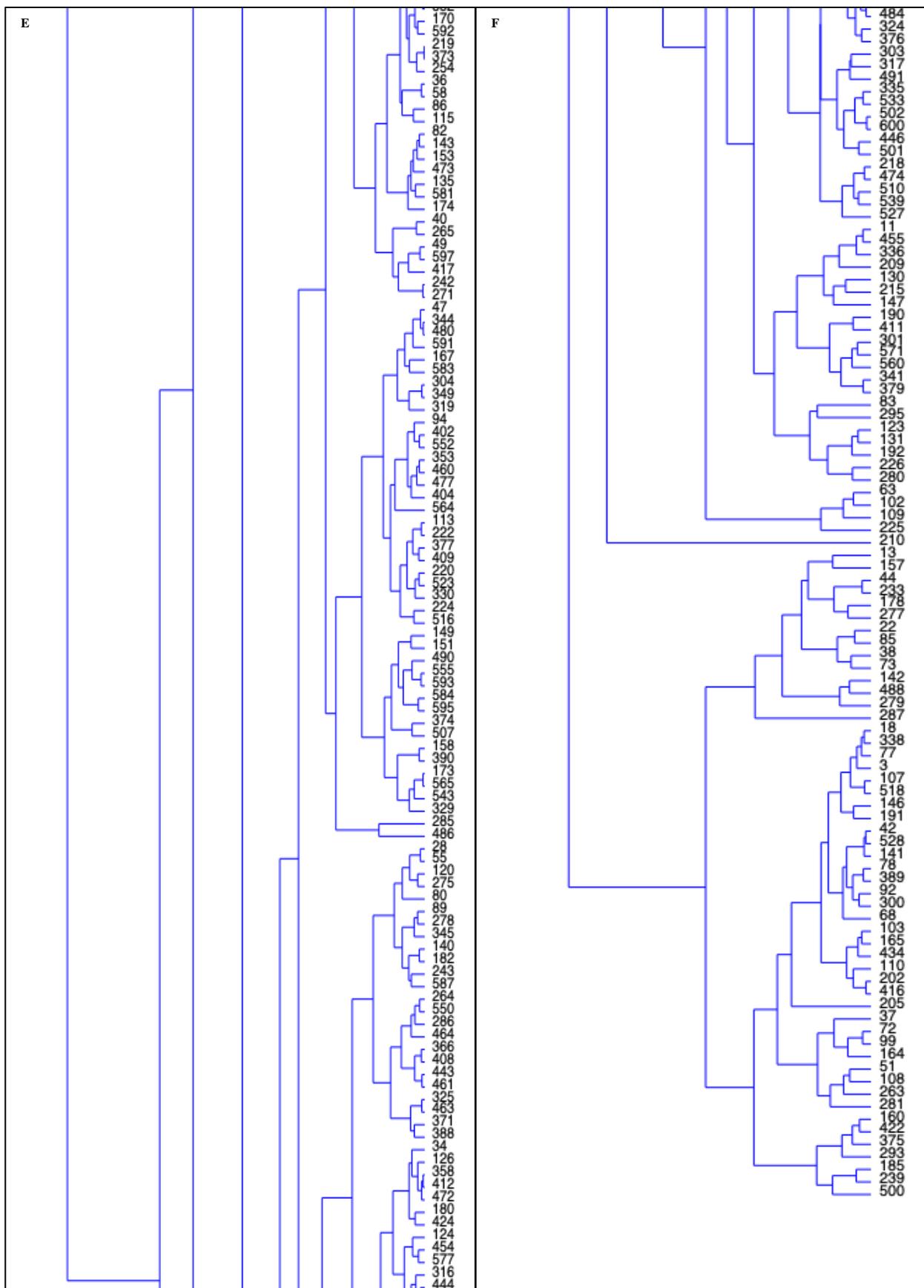


Figura 49.1. Gráfico *cluster* de la altura del mentón dividido en secciones (A-F).

Figura 49.2. Gráfico *cluster* de la altura del mentón.







Con la finalidad de visualizar sin interrupciones los *clusters* a continuación, se presenta el código QR (figura 50) que permitirá la descarga de los mismos. El documento al que direcciona este código presenta los gráficos en el mismo orden que fueron colocados en el presente anexo, por lo que el archivo presentará la siguiente distribución (tabla 34):

Tabla 34. Distribución del documento “Anexo 2: *Clusters*. Tesis de Licenciatura: Identificación Facial Forense Martínez. Garrido Ana Paola 2022. Ciencia Forense. Facultad de Medicina. UNAM”.

| <i>Número de página</i> | <i>Gráfico cluster</i> |
|-------------------------|--|
| 1 | Gráfico de la forma de la cara |
| 2 | Gráfico de la altura del <i>filtrum</i> |
| 3 | Gráfico de la muesca del labio superior |
| 4 | Gráfico de la orientación de la esquina de la boca |
| 5 | Gráfico de la forma de la hendidura de la boca |
| 6 | Gráfico de la amplitud labial |
| 7 | Gráfico del bermellón superior |
| 8 | Gráfico del bermellón inferior |
| 9 | Gráfico de la forma del mentón |
| 10 | Gráfico de la altura del mentón |



Figura 50. Código QR para la descarga del archivo Anexo 2: *Clusters*. Tesis de Licenciatura: Identificación Facial Forense Martínez. Garrido Ana Paola 2022. Ciencia Forense. Facultad de Medicina. UNAM.