



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

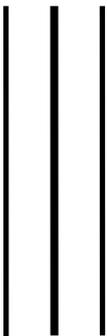


**FACULTAD DE MEDICINA
LICENCIATURA EN CIENCIA FORENSE**



Estimación del sexo y determinación de la unicidad por medio de la variación de la forma mandibular para identificación de personas: Aplicación de morfometría geométrica en ortopantomografías de población mexicana.

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:

Dulce Isabel Antonio García



**CIENCIA
FORENSE**
UNAM

DIRECTORA DE TESIS:

**Dra. Margarita Ivet Gil Chavarría
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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

*“El dolor es tan grande que la reacción de uno es mejor me quito de esto,
no lo soporto, el dolor tiene una característica de avasallamiento,
el dolor te doblaga y la muerte se te hace envidiable.”*

- Madre de persona desaparecida

Papá y Mamá, hicieron todo lo posible para que me pudiera enfocar durante este proyecto, me escucharon cotidianamente hablándoles de morfometría geométrica e identificación humana, me abrazaron y me impulsaron a seguir cuando sentí que no podía más, les agradezco infinitamente por absolutamente todo, pero sobre cualquier cosa por ser los ejemplos más grandes que tengo en la vida porque me enseñaron a no darme por vencida y así es que seguimos en el mismo barco. Les amo con toda mi alma.

Gibran, el “mejores amigxs” se nos queda corto a todo lo que somos, me acompañaste en todo este camino, te emocionaste conmigo desde la entrega del resumen de tesis, retroalimentaste este trabajo, me levantaste en los peores momentos, sonreíste conmigo en los mejores y creíste mucho en mí. Muchísimas gracias por todo, te amo con toda la sinceridad de este mundo.

Dra. Sofía Huerta, le estoy eternamente agradecida por el trabajo que realizamos juntas, por el tiempo, el espacio, por todo el conocimiento compartido y también por las palabras de aliento que fueron fundamentales para continuar cada día. La quiero muchísimo.

Dra. Ivet Gil, muchas gracias por haber aceptado acompañarme en este proceso y muchas gracias por la guía que me permitió llegar hasta aquí. La quiero mucho.

Por último, las palabras no son suficientes para expresar mi gratitud a todas y cada una de las personas que formaron parte de este proceso, pero especialmente a Luis, Montse, Marlene y Alejandra, de verdad muchas gracias por haber estado conmigo, les amo mucho.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

DGAPA-PAPIIT IA205823 “Análisis científico-forense de estructuras estomatognáticas en registros 2D y 3D para identificación humana”.

Facultad de Odontología UNAM y la División de Estudios de Posgrado e Investigación, por colaborar para la conformación de la Colección Odontológica.

Posgrado de Ortodoncia de la Unidad Académica de Odontología-Universidad Autónoma de Nayarit, por apoyar la conformación de la muestra de ortopantomografías para la investigación.

RESUMEN

La mandíbula ha sido una estructura utilizada para la determinación del sexo mediante métodos morfoscópicos (Kemkes-Grottenthaler y Löbig, 2002), métricos (Álvarez et al., 2017) y basados en morfometría geométrica (Nuzzolese et al., 2019). Sin embargo, la mandíbula no ha sido reportada como única a diferencia de los senos frontales (Ortiz, 2020) y arcadas dentales (Jasso, 2019), por lo que su estudio contribuiría a establecer la identidad de una persona mediante la comparación de datos *antemortem* y *postmortem*. En ese sentido es que se analizó la variación de la forma de las mandíbulas proyectadas en radiografías para evaluar el dimorfismo sexual y desarrollar una función de probabilidad para determinar el sexo, asimismo, para el estudio de la unicidad mandibular por medio de la aplicación de morfometría geométrica en población mexicana.

La muestra de estudio para la determinación de unicidad se conformó por 224 ortopantomografías y la muestra para la determinación del sexo se conformó de 123 ortopantomografías.

Respecto a la determinación del sexo, se concluyó que la variación morfológica de las mandíbulas presentaron diferencias entre personas del sexo femenino y masculino en el morfoespacio de forma, asimismo, se realizó una función mediante una regresión logística para determinar la probabilidad de que una ortopantomografía perteneciera a una persona del sexo femenino o masculino obteniendo porcentajes de clasificación del 85.7142% y 71.9298%, respectivamente y un total de clasificaciones correctas del 79.1666%. Finalmente, se determinó el sexo de 46 mandíbulas pertenecientes a la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense de la Escuela Nacional de Ciencias Forenses de la UNAM.

Respecto a la determinación de la unicidad, se concluyó que la variación morfológica de las mandíbulas anterior y posterior a un tratamiento de ortodoncia no permitieron la agrupación de las radiografías de una misma persona debido a los cambios producidos asociados al tratamiento y a las características de las radiografías, sin embargo, existe mayor variación morfológica en las ortopantomografías previas al tratamiento ya que presentan una forma más heterogénea, siendo ideales para futuras investigaciones con fines de identificación.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	11
I. INTRODUCCIÓN	12
Antecedentes	12
Planteamiento del problema.....	20
Objetivos	21
Objetivo general	21
Objetivos particulares	21
Hipótesis.....	21
Justificación.....	22
II. MARCO TEÓRICO	23
Identificación humana	23
Odontología Forense	25
Anatomía mandibular.....	26
Influencias en la forma mandibular.....	28
Radiología	32
Ortodoncia.....	36
Morfometría geométrica.....	38
<i>Sliding semilandmark</i>	39
Análisis Generalizado de Procrustes	40
Análisis de Componentes Principales	41
Regresión Logística.....	42
Análisis de conglomerados	42
Morfometría geométrica en Antropología y Odontología Forense.....	44
Error de medición.....	45
III. METODOLOGÍA	49
Muestra de estudio	49
Fenotipado.....	51

Protocolo para la determinación del sexo.....	51
Protocolo para unicidad.....	56
Métodos de análisis de la investigación.....	62
Error intraobservador para la determinación del sexo.....	62
Error intraobservador para la determinación de unicidad.....	64
Ortopantomografías fuera del rango de variación normal.....	65
Análisis de Componentes Principales.....	65
Regresión Logística.....	66
Determinación del sexo de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense ...	66
Análisis de conglomerados.....	67
IV. RESULTADOS.....	68
Determinación de sexo.....	68
Error intraobservador.....	68
Ortopantomografías fuera del rango de variación normal.....	69
Análisis de Componentes Principales.....	71
Regresión logística.....	75
Determinación de la unicidad de la mandíbula.....	80
Error intraobservador.....	80
Ortopantomografías fuera del rango de variación normal.....	81
Análisis de Componentes Principales.....	82
Análisis de conglomerados.....	84
V. DISCUSIÓN.....	86
Error intraobservador.....	86
Determinación del sexo.....	88
Unicidad de la mandíbula.....	92
VII. REFERENCIAS.....	100
VIII. ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructuras anatómicas de la mandíbula relevantes para la presente investigación. Adaptada de Velayos et al., 2007.....	28
Figura 2. Clasificación de la morfología de los cóndilos mandibulares. A. Planos; B. Puntiguados; C. Angulosos; D. Redondeados. Adaptado de Singh et al., 2020.....	29
Figura 3. Clasificación de la morfología de los procesos coronoides. A. Triangulares; B. Redondeados; C. Fracturados; D. Planos. Adaptado de Sahithi et al., 2015.....	29
Figura 4. Clasificación de la morfología de las escotaduras mandibulares. A. Redondeadas; B. Inclinas; C. Amplias. Adaptado de Sahithi et al., 2015.....	29
Figura 5. Hiperplasia hemimandibular. Se muestra una ligera convexidad en la base de la mandíbula. Adaptado de Sun et al. 2019.....	30
Figura 6. Condiciones patológicas de la mandíbula. A. Osteosarcoma; B. Condrosarcomas. Adaptado de Sciubba, 2000.....	31
Figura 7. Tipos de radiografías intraorales y extraorales. A. Radiografía periapical; B. Radiografía aleta de mordida; C. Radiografía oclusal; D. Radiografía lateral oblicua; E. Radiografía de cráneo. Adaptado de Whaites, E. & Drage, N., 2021.....	33
Figura 8. Estructuras observadas en ortopantomografía. 1. Proceso coronoides; 2. Escotadura mandibular; 3. Cóndilo; 4. Rama mandibular; 5. Gonion o ángulo mandibular; 6. Cuerpo mandibular; 7. Foramen mentoniano; 8. Gnation; 9. Gnation lateral; 10. Infradental; 11. Infradental lateral.....	34
Figura 9. A) Línea de oclusión. B) Oclusión normal y clases de maloclusión de acuerdo con la clasificación de Angle. Tomado de Proffit et al. (2013).....	37

Figura 10. Proceso de slinging <i>semilandmark</i> . a. <i>Semilandmarks</i> en posición original; b. <i>Semilandmarks</i> después del sliding; c. <i>Semilandmarks</i> después proyectados nuevamente a la curva. Tomado de García, 2017.....	40
Figura 11. Criterios de inclusión y exclusión de la muestra para unicidad y sexo.....	49
Figura 12. Protocolo de <i>landmarks</i> (modificación al de Nuzzolese et al., 2019) para la determinación del sexo digitalizado en una ortopantomografía. Se presentan <i>landmarks</i> de tipo I y tipo II, la rama mandibular con siete <i>semilandmarks</i> y el borde inferior del cuerpo con 12 <i>semilandmarks</i>	53
Figura 13. Protocolo de <i>landmarks</i> para la determinación del sexo digitalizado en una ortopantomografía. Se presentan <i>landmarks</i> de tipo I y tipo II, la rama mandibular con siete <i>semilandmarks</i> y el borde inferior del cuerpo con seis <i>semilandmarks</i>	55
Figura 14. Dificultades relacionadas con la ubicación de los <i>landmarks</i> 5 y 6. En la imagen A la escotadura antegonial no es evidente donde se ubican los <i>landmarks</i> 5 y 6 mientras que en la imagen B sí.....	55
Figura 15. Dificultades relacionadas con la ubicación de los <i>landmarks</i> 10 y 11. La flecha amarilla señala el apiñamiento dental mientras que las flechas azules señalan la giroversión que presentan los caninos.....	56
Figura 16. Protocolo de <i>landmarks</i> para unicidad digitalizado en una ortopantomografía. Se presentan <i>landmarks</i> de tipo I y tipo II, la rama mandibular con siete <i>semilandmarks</i> y el borde inferior del cuerpo con 12 <i>semilandmarks</i>	58
Figura 17. Ajuste de claridad y contraste de la imagen. En la imagen A no se realiza ninguna modificación mientras que en la imagen B se ajusta la claridad de la imagen hasta que el foramen mentoniano es visible.....	60
Figura 18. Ubicación del foramen mentoniano izquierdo tomando como referencia el foramen mentoniano derecho.R: Right o derecho; L: Left o izquierdo.....	61

Figura 19. Ubicación del foramen mentoniano cuando no son visibles, tomando como referencia anatómica los premolares. La letra A presenta la ubicación del foramen mentoniano.....61

Figura 20. Inspección del conjunto de datos con la herramienta Find Outliers en el software *MorphoJ* (Klingenberg, 2011). La distribución de las distancias de las formas mandibulares de los registros a la forma mandibular promedio se presenta en distancias de Procrustes al cuadrado, las cuales son una medida de la magnitud absoluta de la desviación de la forma del conjunto de datos analizado.....70

Figura 21. Gráfica del PC1 y PC2 con toda la muestra, en donde se señalan las ortopantomografías fuera del rango de variación normal.....71

Figura 22. Gráfica del PC1, PC2 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA en donde se muestra el PC1 y PC2; los puntos en color verde representan las ortopantomografías del sexo femenino mientras que el color azul las ortopantomografías del sexo masculinos. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC1 y PC2; la línea gris representa la forma media de la mandíbula en la muestra mientras que la azul representa los cambios producidos en la forma mandibular.....73

Figura 23. Gráfica del PC1, PC3 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA donde se muestra PC1 y PC3; los puntos en color verde representan las ortopantomografías del sexo femenino mientras que los de color azul las ortopantomografías del sexo masculino. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC1 y PC3; la línea gris representa la forma media de la mandíbula en la muestra mientras que la azul representa los cambios en la forma mandibular.....74

Figura 24. Gráfica del PC2, PC3 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA donde se muestra PC2 y PC3; los puntos en color verde representan las ortopantomografías del sexo femenino mientras que los de color azul las ortopantomografías del sexo masculino. Las figuras de B) a D)

representan los cambios a lo largo de los PC2 y PC3; la línea gris muestra la forma media de la mandíbula mientras que la azul representa los cambios en la forma mandibular.....75

Figura 25. Coeficientes generados para el modelo de LR.....76

Figura 26. Inspección del conjunto de datos con la herramienta *Find Outliers* en el software *MorphoJ* (Klingenberg, 2011). La distribución de las distancias de las formas mandibulares de los registros a la forma mandibular promedio se presenta en distancias de Mahalanobis, las cuales proveen un indicador de qué tan inusual es un individuo en relación con otros en una muestra.....82

Figura 27. Gráfica del PC1, PC2 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA en donde se muestra el PC1 y PC2; los puntos en color rojo representan las radiografías pretratamiento mientras que los verdes las radiografías postratamiento. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC1 y PC2; la línea gris muestra la forma media de la mandíbula mientras que la azul representa los cambios producidos en la forma mandibular.....84

Figura 28. Digitalización de ortopantomografías pretratamiento (A) y postratamiento (B) del registro 39 de la muestra.....93

Figura 29. Ortopantomografía pretratamiento en la que se observan artefactos. La línea amarilla representa la ubicación del proceso coronoides, mientras que la línea roja representa el dorso de la lengua.....94

Figura 30. Contraste deficiente en la radiografía postratamiento. A) Radiografía pretratamiento y B) Radiografía postratamiento.....95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Interpretación de los valores de ICC.....	46
Tabla 2. Distribución de la muestra para la determinación de unicidad.....	50
Tabla 3. Distribución de la muestra para la determinación del sexo.....	51
Tabla 4. Protocolo para la determinación del sexo.....	52
Tabla 5. Protocolo con los <i>landmarks</i> 5, 6, 10 y 11 añadidos para la determinación del sexo.....	54
Tabla 6. Protocolo para la unicidad.....	57
Tabla 7. Escenarios observados y solución respecto de la ubicación de los forámenes mentonianos.....	59
Tabla 8. Valores de ICC y <i>p-values</i> de las ortopantomografías 10 y 32.....	69
Tabla 9. Absorción de variabilidad de los Componentes Principales.....	72
Tabla 10. Matriz de confusión generada para la función de probabilidad por medio de una RL.....	77
Tabla 11. Sexo determinado para las mandíbulas de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense.....	77
Tabla 12. Valores de ICC y <i>p-values</i> de las ortopantomografías 10 y 11.....	81
Tabla 13. Absorción de variabilidad de los Componentes Principales.....	82

I. INTRODUCCIÓN

“En la ciencia el progreso no es una línea recta que lleva a una verdad, sino una forma de alejarse del mundo menos adecuado”.

- Thomas Kuhn

Antecedentes

La antropología y la odontología son áreas prioritarias en la identificación humana en dos perspectivas, la primera por medio de diversos métodos y/o técnicas permite reconstruir el perfil biológico de una persona conformado por la edad, estatura, ancestría y el sexo, el cual ha sido estudiado mediante elementos craneales y postcraneales como la mandíbula. La segunda se refiere a la identificación comparativa, la cual resulta importante ya que a partir de datos *antemortem* y datos *postmortem* se puede establecer la identidad de una persona. En ese sentido, la mandíbula no ha sido reportada como una estructura con patrón único, pero sí para estructuras como los senos frontales y arcadas dentales, por lo que, en el presente capítulo se expondrá la revisión de la literatura con la finalidad de conocer los antecedentes respecto de la mandíbula en la identificación humana.

Determinación del sexo en mandíbula

De forma clásica, la determinación del sexo ha sido llevada a cabo mediante métodos morfoscópicos (Walker, 2008) que involucran la evaluación de presencia/ausencia o grado de expresión de características del esqueleto que varían entre individuos masculinos y femeninos.

El recurso morfoscópico ha dado lugar al desarrollo de métodos como el de Walker (2008) en el que se asignan valores del 1 (menor expresión) al 5 (mayor expresión) a la cresta nugal, al proceso mastoideo, al margen supraorbitario, a la glabella y a la eminencia mentoniana, para elaborar diferentes modelos basados en el análisis discriminante a fin de clasificar a los individuos como masculino o femenino, obteniendo hasta un 87.5% de clasificaciones correctas con el uso de todos los rasgos evaluados.

También algunos años atrás Kemkes-Grottenthaler et al. (2002) realizaron un estudio en el que se evaluó la expresión de la flexión de la rama mandibular y la eversión gonial, a

fin de establecer si estos podrían ser utilizados como indicadores del sexo de forma aislada, obteniendo para la flexión de la rama mandibular un 59% y para la eversión gonial un 69% de clasificaciones correctas, concluyendo que pudieron ser utilizados para tales fines.

Otro estudio es el de Hu et al. (2006) en población coreana que evaluó los rasgos no métricos de la mandíbula que permitieran distinguir entre individuos masculinos y femeninos, mediante la evaluación de 13 rasgos. De lo anterior, se concluyó que el borde inferior mandibular y la forma del mentón fueron los más dimórficos y se estableció que el uso simultáneo de ambos produjo valores predictivos positivos de individuos masculinos y femeninos con el 92.5% y 73.7% respectivamente.

Si bien el análisis morfoscópico tiene ventajas como la facilidad de aplicación sin el uso de equipo sofisticado, también tiene limitaciones, tales como ser considerado más subjetivo, menos estandarizado y más propenso al sesgo que el análisis métrico (Hefner, 2009), generando diversos problemas, dentro de ellos, las altas tasas de error interobservador e intraobservador, cuando son evaluados (Konigsberg & Hens, 1998; Williams & Rogers, 2006; Kemkes-Grottenthaler et al., 2002), ya que en varios estudios inclusive no se evalúan (Nagaraj et al., 2016; Giles, 1964).

Otro problema para destacar es el sesgo respecto del sexo, inherente a las metodologías como se ha reportado por Kemkes-Grottenthaler et al. (2002) tras la implementación del sistema desarrollado por Loth y Henneberg (1996; 2000) y, finalmente, se reconoce que, por su naturaleza, las interpretaciones morfoscópicas suelen ser menos susceptibles al análisis de errores y a veces dependen en gran medida de la experiencia del observador (Christensen et al. 2019).

Por otra parte, hay autores que refieren que los enfoques morfoscópicos pueden ser muy confiables y válidos, y en algunos casos pueden ser el único medio de análisis posible. Más recientemente, se han utilizado nuevos marcos estadísticos desarrollados para datos de rasgos morfoscópicos y no métricos para ponderar diferentes características esqueléticas, proporcionando enfoques objetivos y sólidos para determinar el sexo, la ascendencia y la edad (Christensen et al. 2019).

Además de los métodos morfoscópicos, también han sido desarrollados métodos morfométricos para la determinación de sexo, mediante la implementación de análisis univariados y multivariantes a medidas tomadas de la mandíbula. Algunas de las primeras

metodologías fue la de Giles (1964), quien reportó un método para la determinación del sexo mediante la aplicación de análisis de funciones discriminantes a 8 medidas mandibulares de una muestra de descendencia indio-americana y otra muestra de descendencia europea, donde se obtuvieron 9 funciones discriminantes, 3 para la primera muestra, 3 para segunda muestra y 3 para ambas muestras. De lo anterior, se estableció que las funciones proporcionaron hasta un 85% de clasificaciones correctas.

Cuarenta y cuatro años después Franklin et al. (2008) llevó a cabo un estudio para la determinación del sexo en una muestra de origen sudafricano mediante análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de funciones discriminantes de 9 medidas mandibulares; del ANOVA se obtuvo que las medidas que expresan mejor el dimorfismo sexual fueron la altura del proceso coronoides, altura de la rama, longitud máxima y amplitud bigonial con clasificaciones correctas de 77.3%, 73.8%, 73.3% y 70.7%, respectivamente. Además del análisis de funciones discriminantes se obtuvo que la ecuación que incluye todas las medidas alcanzó hasta un 84% y un 82.7% de clasificaciones correctas con el uso de las cuatro medidas más dimórficas, pudiendo establecer que estas ecuaciones pueden ser aplicadas para determinar el sexo.

Es crucial referir que, en el contexto mexicano, Álvarez et al. (2017) desarrollaron funciones discriminantes para la determinación del sexo basadas en la toma de 14 medidas mandibulares propuestas por Buikstra & Ubelaker (1994) y Vodanovic et al. (2006), obteniendo porcentajes de clasificaciones correctas de 76.4% y 84%, estableciendo que el uso de estas funciones puede ser aplicada exitosamente en población mexicana contemporánea.

Estos métodos morfométricos señalados anteriormente, están basados en la comúnmente denominada Morfometría Clásica (MC) que tras la aplicación de estos y el creciente desarrollo de otros métodos se tuvo conocimiento de que el uso de MC presentaba ciertas desventajas; la primera se refiere a que el tamaño está altamente correlacionado con las medidas, por lo que, se han desarrollado métodos para corregir esto (el tamaño), sin embargo, no están homologados. La segunda tiene que ver con la ausencia de homología en las distancias porque estas no están definidas por puntos homólogos y, finalmente, con la dificultad para generar representaciones gráficas a partir de las distancias pues no se preserva la relación geométrica entre las variables (Adams et al., 2004; Quinto et al.,

2017); por lo anterior, es que el uso de métodos para la determinación del sexo en mandíbulas basados en Morfometría Geométrica (MG) comenzaron a desarrollarse.

De estos se puede destacar que tanto la muestra utilizada, el origen, la estructura a la que fue aplicada, el número de *landmarks*, así como los análisis de la forma son diferentes. Respecto de la muestra, el uso de imágenes 2D es más frecuente que en fuentes de información 3D, sin embargo, dentro las 2D, las fotografías son ampliamente utilizadas, mientras que el desarrollo de estudios en ortopantomografías es menor. Por ejemplo, los estudios en fotografías fueron realizados por Oettlé (2005; 2009) y Pretorius et al. (2006), mientras que donde se trabajó con ortopantomografías se llevaron a cabo por Nuzzolese et al. (2019; 2012). Mientras que, los estudios en muestras 3D por medio de los escaneos de superficie fueron realizados por Franklin et al. (2007; 2007).

Para precisar algunos aspectos de ambas investigaciones, cabe subrayar que los estudios llevados a cabo por Nuzzolese et al. (2019; 2012) fueron desarrollados en ortopantomografías de individuos italianos, mediante el análisis de 50 *landmarks* aplicados al borde inferior del cuerpo y rama posterior mandibular, lo anterior, tuvo como resultado que existen diferencias entre sexos en estas estructuras con un porcentaje de clasificaciones correctas del 92.2%. Mientras que los estudios llevados a cabo por Oettlé, A. (2005; 2009) y Pretorius, E. et al. (2006) fueron realizados en fotografías de individuos sudafricanos, mediante el análisis de 11 *landmarks* aplicados a la rama mandibular y 8 *landmarks* aplicados a gonion, para determinar la presencia o ausencia de la flexión de la rama y eversión gonial, respectivamente, de tal forma que pudiesen ser utilizados como indicadores del sexo. Lo anterior, tuvo como resultado que: I) no existen diferencias entre sexos y, II) el porcentaje de clasificaciones correctas fue bajo, 68.9% y 72.7%, respectivamente.

Autores como Franklin han desarrollado tanto estudios con un enfoque de MG (2007) como con MC (Franklin, 2008), en los que tanto la estadística univariada como multivariante fueron utilizadas, estos estudios han resultado sumamente ilustrativos para contrastar el uso de estos enfoques en una misma población de origen sudafricano. En primera instancia, como se señaló anteriormente, se aplicó un ANOVA mostrando que la altura del proceso coronoides, altura de la rama, longitud máxima mandibular y la amplitud bigonial son las medidas que presentaron mayor dimorfismo sexual, clasificando correctamente entre un 70.7% a un 77.3% de la muestra. Por otro lado,

cuando se aplicó un análisis discriminante, el porcentaje de clasificaciones correctas aumentó teniendo como resultado un 82.7% solo utilizando las cuatro variables que mejor expresaron el dimorfismo sexual; sin embargo, en un tercer estudio llevado a cabo con la aplicación de MG a escaneos de superficie y mediante el análisis de la forma general de la mandíbula con el uso de 38 *landmarks* se estableció la existencia de dimorfismo sexual que clasificó correctamente a un 87.5% de los individuos de la muestra.

De lo anterior, se pueden vislumbrar varios aspectos relevantes. El primero recae en que la aplicación de métodos basados en MG (Franklin, et al. 2007) proporcionan mayor porcentaje de clasificaciones correctas a diferencia de sus estudios basados en MC (Franklin, 2008). Ahora, respecto de los estudios basados en MG se puede señalar que, el uso de escaneos de superficie produjo menor número de clasificaciones correctas en comparación a las ortopantomografías, lo anterior es importante porque indica que este tipo de muestras son muy útiles aun cuando son proyecciones en 2D, las cuales, proporcionan menos información respecto de la forma mandibular a comparación de las muestras 3D.

Otro punto para señalar es el número de *landmarks* y las estructuras de la mandíbula a las que fueron aplicados, ya que se pudo observar que el análisis de 50 *landmarks* aplicados al borde inferior del cuerpo y rama posterior mandibular produjeron el porcentaje de clasificaciones correctas más altas.

También se muestra que el uso de los métodos basados en MC y MG son útiles al momento de ser aplicados a la mandíbula para evaluar el dimorfismo sexual y, por supuesto, para la determinación del sexo; sin embargo, las diversas desventajas que tienen los primeros invitan a transicionar a los métodos basados en MG. No obstante, aun contemplando las evidencias, también es pertinente señalar que el uso de MG tiene sus limitaciones y la o el analista que se encargue de la aplicación de las metodologías debe considerarlas ya que, como se ha planteado en los estudios anteriormente, los intentos para establecer a la flexión de la rama mandibular y la eversión gonial como indicadores del sexo, fueron poco fructíferos, ya que su uso de forma aislada no propició diferencias entre los sexos, los que concuerda con diversos estudios en los que, como ya se ha visto anteriormente, estas estructuras han exhibido un gran dimorfismo sexual cuando son estudiadas de forma integral.

Unicidad de la mandíbula

Diversos autores han referido estructuras anatómicas como únicas en cada individuo, las cuales se han sugerido como elementos de utilidad en procesos de identificación, por ejemplo, las huellas labiales (Cantero, 2014; Fonseca et al., 2014), orejas (Krishan et al. 2019; Verma et al. 2016), rugas palatinas (Bing et al., 2014; Dawasaz & Dinkar, 2013), arcadas dentales (Kieser et al., 2007, Jasso, 2019), senos frontales (Culbert & Law, 2007; Lamas et al., 2008; Ortiz, 2020), y las suturas craneales (Rogers & Allard, 2004; Ortiz, 2020). Estas estructuras han sido reconocidas como tal debido a los factores genéticos, ambientales y epigenéticos que influyen en su forma y por el gran número de estudios que se han desarrollado con fines de identificación.

La cualidad de las estructuras de ser únicas, como se ha planteado anteriormente, se le denomina unicidad (Page et al., 2011) y como se señaló previamente, ha sido ampliamente utilizada en el ámbito forense con fines de identificación. Lo anterior, ha dado paso a dos posturas, una en contra de este concepto y otra a favor.

Sobre la postura en contra, diferentes autores se han preguntado respecto de las evidencias que existen para establecer que una estructura, patrón y/o característica es única, así como su relevancia en el ámbito forense, lo anterior, ha dado a conocer los tres tipos de evidencias que han contribuido a la implementación de este concepto en las ciencias forenses, las cuales son: 1) las basadas en la experiencia, 2) el conocimiento sobre el proceso de formación de las estructuras, patrones y características, así como de 3) las investigaciones que se han hecho a lo largo del tiempo (Page et al., 2011).

Las evidencias basadas en la experiencia refieren que la o el profesional en la materia no ha observado que los objetos, estructuras, patrones y/o características tengan un duplicado y esto justifica la individualización como en el caso de dactiloscopía, sin embargo, surgen cuestionamientos, el primero de ellos es que si bien se determina que no se observan dos patrones iguales en una muestra, lo anterior, no indica que no se pueda presentar este patrón o conjunto de los mismos en otro lugar del mundo pues no hay un mecanismo de control de patrones para determinar que uno u otro de ellos ya se manifestó (Page et al., 2011) . En adición, se ha pensado que la probabilidad de observar una estructura, patrón y/o característica duplicada, cuando ya se ha observado por primera vez, es menor, cuando de hecho es todo lo contrario.

Si se habla sobre el conocimiento respecto del proceso de formación embriológico se hace referencia a las causantes de la unicidad de estructuras, patrones y/o características, algunos ejemplos de lo anterior, son los argumentos bajo los que se ha sostenido la unicidad de las huellas dactilares que consideran que las tensiones y deformaciones experimentadas por el feto en el útero son aleatorias e infinitas propiciando la formación de patrones infinitos (Ashbaugh., 1999), sin embargo, el gran problema de establecer lo anterior, es que no hay un estudio en el que se haya establecido que estas tensiones y deformaciones sean infinitas. Otro ejemplo surge en odontología forense respecto de la dentición, pues si bien factores como la fuerza ejercida por los músculos, hábitos orales, la fuerza que ejerce la lengua etc., influyen de forma infinita en la disposición de los dientes, sin embargo, nuevamente se destaca la falta de estudios que cuantifiquen que estos factores influyen de forma infinita. (Proffit, 2000),

Respecto, a las investigaciones que han sido cruciales para la introducción del concepto de unicidad, tales como la individualidad de los senos frontales (Culbert & Law, 2007) y de las arcadas dentales (Kieser et al., 2007), han sido cuestionadas y a la par el desarrollo de herramientas como los modelos estadísticos de combinaciones de rasgos que existen en la población, por ejemplo, el análisis de frecuencias del ADN, los cuales han tratado de aplicarse a la odontología y dactiloscopia, sin embargo, los intentos han presentado tres tipos de problemas; el primero es que los modelos que representan la probabilidad de que ciertas características o rasgos aparezcan, pero no la probabilidad de que alguna de ellas se presente en la población como sucedió con el modelo de Galton (Langenburg, 2012) para la individualidad de las huellas dactilares que genera probabilidades de hacer coincidir una configuración específica de minucias de 1 en cada 68 mil millones, el segundo es respecto del modelo de distribución utilizado para evaluar los datos de la población, ya sea utilizando funciones binomiales y aleatorias que exageran significativamente los resultados a diferencia de los modelos de distribución de frecuencias de rasgos (como en el caso del ADN) que permite el cálculo de una probabilidad real, sin embargo, esto no logra establecer que una característica es única, y el tercer problema es que los modelos de probabilidad asumen la independencia de los rasgos aunque se haya establecido que los rasgos están correlacionados (Page et al., 2011).

En adición, Page et al. (2011) ha establecido que el concepto de unicidad e individualización no son relevantes para la teoría y la práctica forense, ya que el rol de

las y los forenses pretende adicionar información que pueda fortalecer o debilitar la probabilidad de que una persona sea culpable o no, por lo que, a quien le competen los términos discutidos es realmente a juezas y jueces.

Lo anterior, hace concluir al autor Cole (2009) que la unicidad no está probada porque no se tienen los estudios pertinentes para establecerlo, lo anterior abona a determinar que entonces lo importante no es la unicidad que presumiblemente existe para todos los objetos en relación con todos los demás objetos, sino es si se tienen las herramientas analíticas necesarias para distinguir las huellas hechas por cada objeto de las huellas hechas por cualquier otro objeto, en este caso, distinguir la forma mandibular de una persona de la forma mandibular de cualquier otra persona.

Otra conclusión a la que llega Cole (2009) es que la unicidad (cualidad de las estructuras de ser únicas de acuerdo con Page et al, 2011) no puede justificar la individualización (proceso mediante el cual se señalan las características únicas de una persona que permiten excluirla de todas las demás para una posterior identificación de acuerdo con Gil-Chavarría y García Velasco, 2022) porque las investigadoras e investigadores no han visto un duplicado de cualquier objeto, también porque por sí sola una característica de una estructura, por ejemplo, una cresta, no es insuficiente y porque aunque la unicidad es necesaria no es suficiente para respaldar la individualización. Tampoco puede contribuir a evaluar el valor probatorio de asociación entre dos objetos a diferencia del ADN, que ha demostrado que la evidencia no individualizada puede transmitir un valor probatorio significativo y transmitir de manera transparente información sobre la magnitud del grupo de donantes potenciales.

Sobre la postura a favor, se ha visto frecuentemente que el uso de ciertos análisis como conglomerados o *cluster* y su interpretación favorecen el argumento de unicidad e individualización, los cuales han sido bien documentados por Ortiz (2020) para el caso de senos frontales y suturas craneales, por Jasso (2019) para el caso de arcadas dentales. Este análisis a grandes rasgos permite la formación de grupos mediante la búsqueda de la menor distancia entre todos los individuos de una muestra permitiendo la agrupación de cada individuo con su par.

Respecto a esta controversia, este trabajo plantea el uso de diversos análisis para evaluar la unicidad de la mandíbula, dentro de los que destacan el análisis de conglomerados o *cluster* como ha sido utilizado por Ortiz (2020) y Jasso (2019).

Planteamiento del problema

Dos de las áreas principales en identificación humana son la odontología y antropología forense, las cuales han implementado métodos analíticos enfocados en los fenotipos, es decir, en las características, variaciones osteológicas y de los órganos dentales (Quinto et al., 2017), donde la mandíbula ha sido un recurso comúnmente utilizado en apoyo a la construcción del perfil biológico y en especial para la determinación del sexo, esto mediante métodos morfoscópicos aplicados a estructuras como la eminencia mentoniana, el cuerpo mandibular y el ángulo mandibular, entre otras (Kemkes-Grottenthaler y Löbig, 2002; Nagaraj et al., 2016; Walker, 2008). Sin embargo, también hay protocolos basados en métodos métricos aplicados al ángulo mandibular, amplitud bigonial, altura de la rama, así como la forma general de la mandíbula (Vinay et al., 2013; Datta et al., 2016; Sairam et al., 2016; Álvarez et al., 2017; Schmittbuhl et al., 2002). Estas metodologías son parte de la denominada morfometría clásica, los cuales se limitan al análisis de distancias, ángulos, radios, curvas o índices que implica la pérdida de información de la forma biológica de esta estructura y, por ende, solo permite conocer una representación abstracta de la misma (Quinto et al., 2017).

Ante esta problemática, surge la necesidad de analizar la forma de la mandíbula para evitar la pérdida de información, siendo una opción la aplicación de Morfometría Geométrica (MG), la cual, estudia la covariación de la forma con factores geométricos subyacentes, y se utiliza para determinar la forma pura de un individuo o estructura mediante puntos discretos y definidos llamados *landmarks* (Zelditch et al., 2004) y, que no está afectada por la posición, escala y rotación puesto que la forma se analiza en términos de la relación entre sus partes y no de sus dimensiones (Toro-Ibacache et al., 2010; Zelditch et al., 2004). Algunas investigaciones basadas en MG para el estudio del dimorfismo sexual han sido desarrolladas por Franklin et al. (2007) que son aplicados a la forma general de la mandíbula en escaneos de superficie, o bien lo que Oettlé et al. (2005, 2009) analizan de la flexión de la rama mandibular y a la eversión gonial en fotografías, así como Nuzzolese et al. (2019) que evalúan al cuerpo y rama mandibular en ortopantomografías.

En México, los métodos basados en morfometría geométrica han sido utilizados para el estudio de la variación facial (Farrera et al., 2016), determinación del sexo mediante el uso de la escotadura ciática (Gómez et al., 2012), variación dental (Quinto et al., 2017),

sin embargo, sería de gran relevancia ahondar en la aplicación de MG para la determinación del sexo mediante la mandíbula en ortopantomografías que son más comúnmente adquiridas. Cabe destacar que, la mandíbula no ha sido reportada como estructura con patrón único, a diferencia de estructuras como los senos frontales (Ortiz, 2020) y arcadas dentales (Jasso, 2019), tema relevante puesto que contribuiría a establecer la identidad de una persona mediante la comparación de datos *antemortem* (AM) y datos *postmortem* (PM). Por lo anterior, este trabajo propone el estudio de la mandíbula en tres perspectivas: 1) análisis para la determinación del sexo en población mexicana mediante MG en ortopantomografías de personas de sexo conocido y obtener una modelo de predicción; 2) Aplicar el modelo de predicción a las mandíbulas que conforman la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense; ya que se tiene como antecedente resultados preliminares no concluyentes por métodos morfoscópicos y morfométricos; y 3) Analizar y comparar los patrones mandibulares para identificar si son únicos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el sexo en población mexicana en ortopantomografías mandibulares; así como, determinar la unicidad de la estructura para identificación de personas a través de la aplicación de MG.

Objetivos particulares

- Determinar el sexo en ortopantomografías mediante MG y estadística multivariante.
- Identificar si el patrón mandibular es único.

Hipótesis

La variación morfológica de las mandíbulas proyectadas en ortopantomografías presenta diferencias entre individuos femeninos y masculinos en el morfoespacio de forma.

La variación morfológica de las mandíbulas es diferente entre individuos por lo que no presentan un patrón de agrupación entre ellos.

Justificación

La crisis forense que padece México requiere de la colaboración de diversos sectores como el gubernamental, civil, científico y educativo, ya que se tiene registro de más de 350,000 personas asesinadas y más de 112,261 personas desaparecidas y no localizadas (Pardo y Arredondo, 2021; CNB, 2023). Debido a lo anterior, el número de cadáveres desconocidos que llegan a los Servicios Médicos Forenses ha aumentado, teniendo un registro de casi 52,000 personas fallecidas sin identificar (Movimiento por nuestros desaparecidos en México, 2021), lo anterior permite resaltar que, los métodos para identificación humana comparativa y para la construcción del perfil biológico son cruciales y deben ser aplicados dependiendo de las condiciones del material biológico o indicio con el que se cuente.

Tomando en consideración que en México se han localizado osamentas, restos y/o fragmentos óseos (Guillén et al., 2018), es necesario el desarrollo de métodos especializados en estructuras anatómicas como son las mandíbulas, las cuales se conforman por hueso compacto, resistente y presenta dimorfismo sexual debido a que el tamaño, la forma y las fuerzas masticatorias ejercidas sobre la mandíbula son diferentes en hombres y mujeres (Sairam et al., 2016).

De tal forma que a través de ellas y por medio de la aplicación de métodos basados en MG y estadística multivariante permitirán brindar una determinación del sexo, así como identificar si el patrón mandibular es único, lo que aportaría no solo con nuevas metodologías a las existentes, sino que brindaría métodos para la identificación humana contextualizados a la población mexicana, así como también una opción más cuando los métodos basados en MC no puedan ser aplicados.

II. MARCO TEÓRICO

Identificación humana

Los conceptos de identidad e identificación son muchas veces confundidos debido a la estrecha relación entre ellos, por lo que es conveniente señalar que la identidad es el conjunto de caracteres que sirven para distinguir a una persona de los demás, e individualizarla, mientras que la identificación es el procedimiento mediante el cual se recogen y agrupan sistemáticamente estos caracteres distintivos de la persona (Quiroz, 2015, pp.1064).

De acuerdo con Gisbert & Villanueva (2004), existen tres principales casos en los que se requiere realizar el procedimiento de identificación:

1. Personas vivas: Procedimiento en el que se confrontan datos previos de la persona con un examen directo de la misma, por ejemplo, de personas desaparecidas, personas con discapacidad, personas que no tengan familiares y/o documentos para identificarse.
2. Personas fallecidas (Cadáveres recientes): En este se confrontan datos de historia de vida (*antemortem*) con los datos *postmortem* y tentativamente, el uso de la metodología aplicada en sujetos vivos puede ser útil en este tipo de identificación, debido a que los cadáveres cuentan con tejido blando disponible, por ejemplo, personas que han sufrido accidentes, inundaciones, etc.
3. Restos esqueletizados: Procedimiento en el que se confrontan datos *antemortem* con datos *postmortem*, sin embargo, la metodología aplicada es totalmente diferente, debido a que la presencia de tejidos blandos es escasa o nula, esto derivado de la descomposición cadavérica, algunos ejemplos son las personas que son localizadas en fosas clandestinas.

Cada uno de estos casos representa una metodología diferente y áreas especializadas para determinar la identidad de la persona, sin embargo, una de las áreas que permanece en todos los casos son los exámenes radiológicos que no únicamente son útiles para

identificación de personas vivas, sino también de cadáveres recientes y de personas en reducción esquelética (Gisbert & Villanueva, 2004), por lo que es importante el desarrollo de métodos de identificación basados en radiografías.

Los procedimientos de identificación mencionados anteriormente constituyen la denominada identificación comparativa, sin embargo, sobre todo en los casos de restos esqueletizados la información que se tiene de estos es limitada y dado que es complejo determinar con exámenes visuales las características de cada persona, se necesita de la construcción del perfil biológico que esté compuesto por la edad, estatura, sexo y ancestría, los cuales permitirán estrechar los parámetros de búsqueda o realizar la exclusión de hipótesis de identidad de un cuerpo no identificado, lo anterior, es conocido como identificación reconstructiva (Ortega, 2021).

La estimación de la edad, estatura, la determinación del sexo y ancestría son los resultados esperados para la identificación reconstructiva, sin embargo, para la identificación comparativa, el resultado de la confronta de los datos puede propiciar diferentes conclusiones como lo es la identificación positiva, la identificación probable o presuntiva y la exclusión de identidad. La identificación positiva ocurre cuando hay coincidencias suficientes entre la información previa o *antemortem* y la información recuperada del examen de la persona o *postmortem* para concluir que la información proviene de la misma fuente (Thompson & Black, 2007); la identificación probable o presuntiva ocurre cuando hay coincidencias entre la información pero no son suficientes o presentan algunas discrepancias que pueden explicarse (Thompson & Black, 2007; Gisbert & Villanueva, 2004) y; finalmente la exclusión, ocurre cuando no existen coincidencias entre la información o existen discrepancias que no pueden explicarse (Thompson & Black, 2007; Gisbert & Villanueva, 2004).

Diferentes ciencias forenses han desarrollado métodos para la identificación humana, sin embargo, la odontología y antropología forenses son áreas prioritarias en este ámbito, puesto que han implementado métodos analíticos enfocados en los fenotipos, es decir, en las características, variaciones osteológicas y de los órganos dentales (Quinto et al., 2017).

Antropología Forense

Es una rama de la antropología biológica que aplica métodos y técnicas para la identificación y clarificación de las circunstancias de la muerte de una persona (Latham, Bartelink & Finnegan, 2018). La antropología forense se ha preocupado por la generación de modelos predictivos para determinar elementos del perfil biológico como lo es el sexo, ancestría, edad y estatura de personas fallecidas no identificadas que luego son comparadas con bases de datos de personas desaparecidas u otras bases de datos, con la finalidad de identificar a la persona a quien pertenecen los elementos óseos que se analizan (Christensesn, Passalacqua & Bartelink, 2019), sin embargo, como se mencionó anteriormente, la reconstrucción del perfil biológico estrecha los parámetros de búsqueda o permite la exclusión de hipótesis de identidad de una persona fallecida no identificada (Ortega, 2021). Asimismo, otra área de la que se encarga la antropología forense es la determinación del perfil tafonómico compuesto por el tiempo desde la muerte, el tiempo y la fuente de fracturas que presentan elementos óseos (Latham, Bartelink & Finnegan, 2018). Finalmente, la antropología forense se ha encargado de la recuperación y el estudio de los traumas que presentan los elementos óseos, así como de las alteraciones de los mismos, puesto que permite la identificación personal o comparativa, ya que estas características se pueden asociar a un individuo en particular (Christensesn, Passalacqua & Bartelink, 2019).

Odontología Forense

Es definida como la rama de la odontología que se encarga del manejo adecuado y estudio de la evidencia dental, asimismo de la evaluación apropiada y la presentación de hallazgos dentales (Thompson & Black, 2007). Por lo que, tradicionalmente se definen tres principales áreas en donde la odontología forense se desarrolla: 1) La examinación y evaluación de lesiones en los dientes, mandíbula y tejidos orales ocasionadas por diferentes causas; 2) examinación de marcas de mordedura para la exclusión o identificación positiva de una persona y, finalmente, 3) la examinación de fragmentos de dientes o dientes completos y los tipos de restauraciones para su posterior identificación (Thompson & Black, 2007), sin embargo, la odontología forense actual no se ha limitado a estas áreas, puesto que de acuerdo con Gil-Chavarría y García Velasco (2022) se ha encargado del análisis de los indicios odontológicos en tres vertientes: 1) perfil biológico

en donde se tienen las características anatómicas para las estimaciones de edad y, en su caso, la determinación de sexo y ancestría (que en colaboración con las áreas antropológica y médica pueden realizarse los análisis orientativos para acotar el universo de búsqueda), 2) perfil individualizante en el que se cuenta con características únicas y/o registros dentales generados en vida y 3) patrones bucodentales, es decir, los elementos morfoscópicos o morfométricos; y en caso de rugoscopía y queiloscopía de perennidad e inmutabilidad para confronta 1:1, asimismo, se ha enfocado en el estudio de biomarcadores moleculares, abuso y negligencia, entre otras áreas (Balwant & Jasdeep, 2013), por lo que su aportación en casos legales es de suma importancia para su resolución.

Hablando específicamente de los órganos dentales, es pertinente mencionar que son tejidos fundamentales para identificación humana, ya sea reconstructiva o comparativa, ya que además de que sus características permiten llevar a cabo estos procedimientos, son tejidos altamente mineralizados y, por ende, resistentes ante los fenómenos cadavéricos como la putrefacción, así como a los agentes externos a los que son sometidos como traumatismos, calor y agentes químicos (Gisbert & Villanueva, 2004).

No obstante, cabe precisar que la odontología implica el análisis de todas estructuras estomatognáticas; por lo tanto, como se ha reportado, el análisis en mandíbulas es muy relevante con fines de identificación comparativa (Kieser et al., 2007, Jasso, 2019) y reconstructiva (Nuzzolese et al., 2019; Franklin et al., 2007) con base en su forma, por lo que es necesario reconocer aspectos importantes de la anatomía mandibular.

Anatomía mandibular

La mandíbula es un hueso de la cara, impar, medial y se articula por una doble diartrosis con los huesos temporales. Se compone principalmente por el cuerpo y dos ramas mandibulares (Drake et al., 2020). Este hueso presenta distintas características, sin embargo, para esta investigación se profundizará en la variabilidad en cuanto al sexo y forma mandibular. Por lo anterior, a continuación, se mencionan datos de relevancia relacionados a estos dos aspectos.

El cuerpo mandibular es una lámina ósea cóncava en la parte posterior y convexa en la parte anterior, delimitada caudalmente por la base de la mandíbula y cranealmente tanto por el arco alveolar como por los alvéolos de los dientes (Velayos et al., 2007).

La cara externa del cuerpo mandibular se caracteriza por la presencia del punto craneométrico infradental, infradentales laterales, forámenes mentonianos, protuberancia mentoniana, tubérculos mentonianos, punto craneométrico gnation y gnation laterales. El punto craneométrico infradental se ubica entre los incisivos centrales a la altura del arco alveolar; los infradentales laterales se ubican entre los incisivos laterales y los caninos a la altura del arco alveolar; los forámenes mentonianos se ubican cranealmente a la línea oblicua y a nivel del primer o segundo premolar; la protuberancia mentoniana es una prominencia anterior y medial del cuerpo mandibular y que a sus extremos se ubican prominencias óseas denominadas tubérculos mentonianos; gnation es el punto más caudal del borde inferior de la mandíbula en el plano medio y a sus extremos se ubican los puntos gnation laterales (Velayos et al., 2007).

Las ramas mandibulares son dos láminas óseas, las cuales se unen en su borde anterior con el arco alveolar del cuerpo mandibular por un ángulo de 90° aproximadamente, asimismo, se unen en su borde posterior con la base del cuerpo mandibular por un ángulo aproximado de 120° , el cual es denominado ángulo mandibular y corresponde al punto craneométrico gonion (Velayos et al., 2007).

La parte superior de la rama mandibular se caracteriza por la presencia del proceso coronoides, el cóndilo y la escotadura mandibular. El proceso coronoides es una estructura ubicada anteriormente y su desarrollo depende del tamaño del músculo temporal, ya que se inserta en él. Por su parte, el cóndilo es una estructura ósea convexa, ubicada posteriormente, el cual se articula con el hueso temporal. Finalmente, entre el proceso coronoides y el cóndilo se ubica la escotadura mandibular (Velayos et al., 2007; Drake et al., 2020).

La cara externa de la rama mandibular se caracteriza por la presencia de la tuberosidad masetérica, ubicada en la parte inferior de la mandíbula en la cual se inserta el músculo masetero (Velayos et al., 2007).

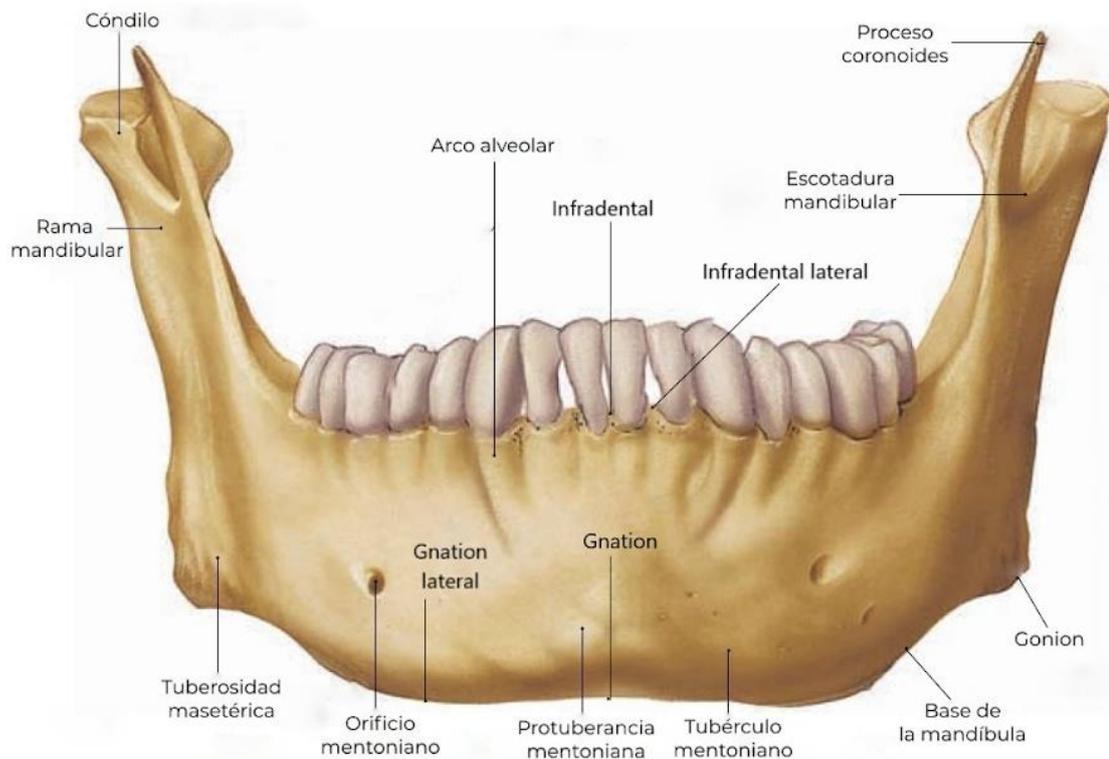


Figura 1. Estructuras anatómicas de la mandíbula relevantes para la presente investigación. Adaptada de Velayos et al., 2007.

Influencias en la forma mandibular

La variación del esqueleto está dada por las diferencias entre sexos, grupos de personas e inclusive entre ellas, también por la variación normal, las anomalías, condiciones patológicas y marcas de actividad, lo anterior, como resultado de influencias genéticas y ambientales (Christensen et al., 2019).

La variación normal se refiere a las diferentes variaciones morfológicas que se encuentran comúnmente en partes de la mandíbula y están presentes en todas las personas (Christensen et al., 2019). La variación en general del esqueleto y, por ende, la variación normal se encuentra influenciadas por condiciones ambientales, por lo que las diferentes estructuras pueden llegar a ser altamente variables dando lugar a patrones infinitos. La variación normal de diferentes componentes de la mandíbula ha sido estudiada y muchas de las investigaciones se han desarrollado en ortopantomografías como lo es el estudio llevado a cabo por Singh et al. (2020) en el que evaluaron la morfología de los cóndilos mandibulares determinando que estos pueden ser clasificados como planos, puntiagudos, angulosos y redondeados y, que pueden ser asimétricos o simétricos.

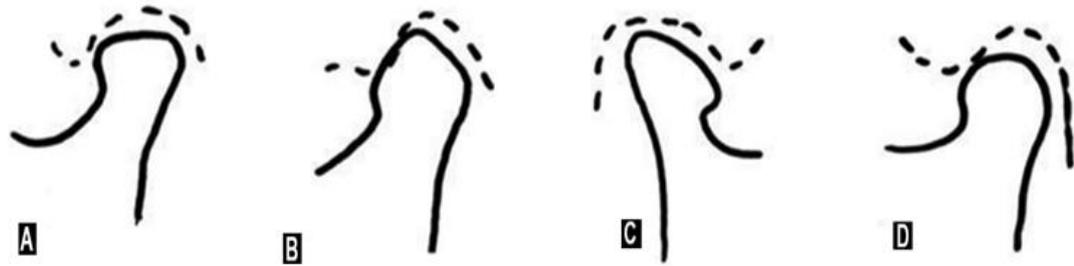


Figura 2. Clasificación de la morfología de los cóndilos mandibulares. A. Planos; B. Puntiguados; C. Angulosos; D. Redondeados. Adaptado de Singh et al., 2020.

Otro estudio determina la variación normal que presentan los procesos coronoides y las escotaduras mandibulares, en el primer caso, estos pueden ser clasificados como triangulares, redondeados, fracturados y planos, mientras que en el segundo caso pueden ser clasificadas como redondeadas, inclinadas y amplias (Sahithi et al. 2015).

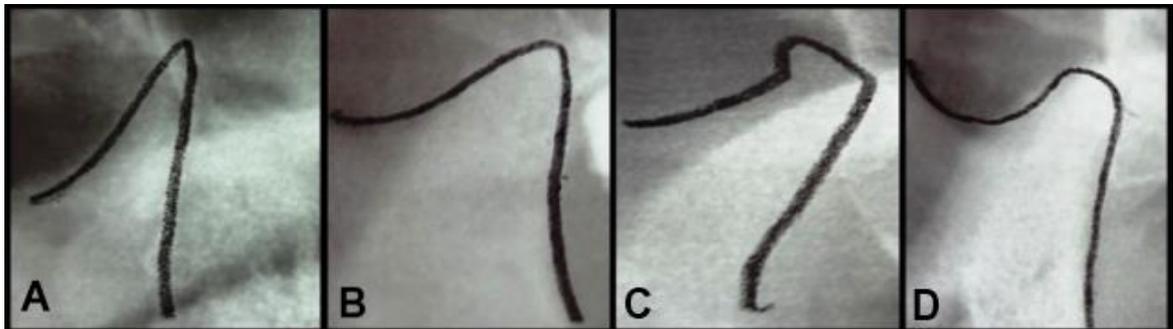


Figura 3. Clasificación de la morfología de los procesos coronoides. A. Triangulares; B. Redondeados; C. Fracturados; D. Planos. Adaptado de Sahithi et al., 2015.

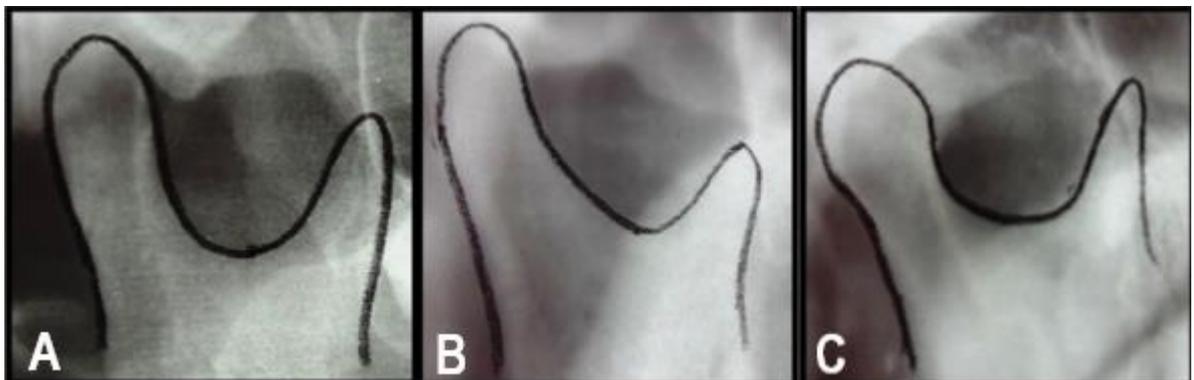


Figura 4. Clasificación de la morfología de las escotaduras mandibulares. A. Redondeadas; B. Inclinadas; C. Amplias. Adaptado de Sahithi et al., 2015.

Las anomalías del esqueleto se definen como perturbaciones de la anatomía normal derivado de alteraciones en el desarrollo, por ejemplo, durante la morfogénesis, por mutaciones genéticas, condiciones ambientales perjudiciales, exposición química,

medicamentos teratogénicos, radiación, desórdenes alimenticios durante el desarrollo (Barnes, 2012, Tsegga & Christensen, 2020); tales como huesos accesorios en particular los huesos wormianos, forámenes accesorios, hiperplasia (incremento en la cantidad de tejido) del desarrollo de los centros de osificación en mandíbula o maxila que resultan en *torus* unilaterales, *torus* bilaterales y exostosis, asimismo, se pueden encontrar hendiduras orofaciales que son malformaciones del desarrollo estructural que ocurren de forma aislada o derivados de síndromes, también la hiperplasia hemimandibular es una anomalía que se define como el crecimiento asimétrico de la mandíbula en estructuras como el cóndilo, cuello, rama y cuerpo mandibular derivado de influencias hormonales, traumas, infecciones, genética, entre otros factores (Tsegga & Christensen, 2020).



Figura 5. Hiperplasia hemimandibular. Se muestra una ligera convexidad en la base de la mandíbula.

Adaptado de Sun et al. 2019.

Las condiciones patológicas son alteraciones de la anatomía derivado de un proceso de enfermedad como infecciones, lesiones o trastornos, algunos ejemplos de patologías son los osteosarcomas los cuales son originados por enfermedad de Paget, osteocondroma múltiple, osteonecrosis, osteomielitis crónica y osteogénesis imperfecta. Los osteosarcomas tienen consecuencias como la pérdida o desplazamiento de los órganos dentarios, además se presenta como una malformación caracterizada por el ensanchamiento del ligamento periodontal de uno o dos dientes debido al tumor y la resorción del hueso dando lugar al cambio de la forma mandibular (Sciubba, 2000). Otro ejemplo son los condrosarcomas los cuales se caracterizan como tumefacción indolora y

expansión del tejido óseo que, al igual que los osteosarcomas, provocan pérdida de los dientes (Sciubba, 2000).

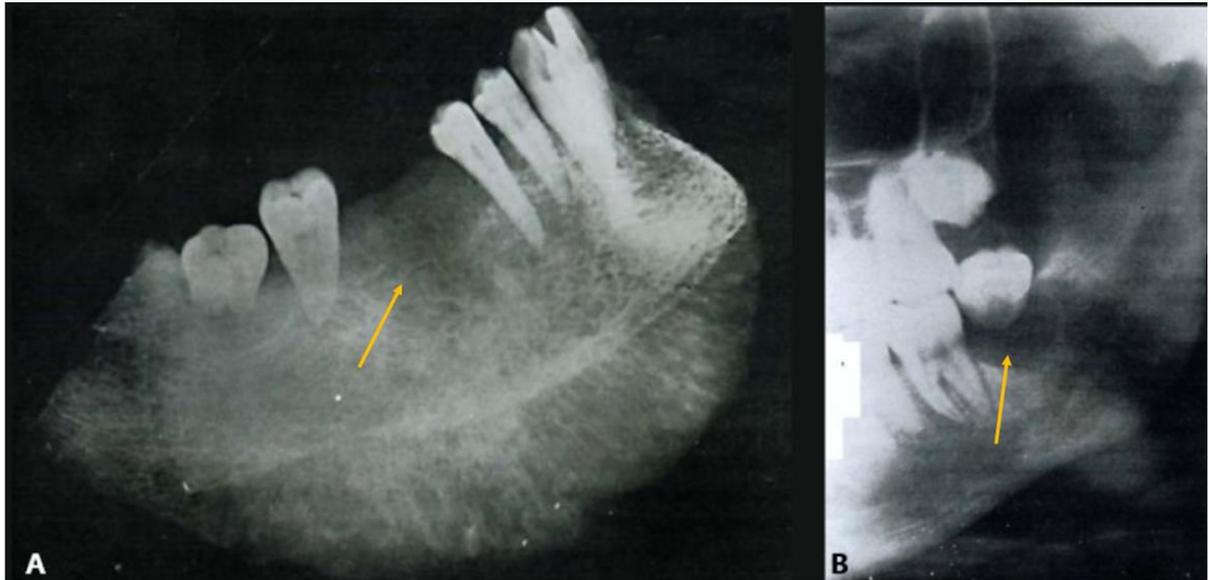


Figura 6. Condiciones patológicas de la mandíbula. A. Osteosarcoma; B. Condrosarcomas. Adaptado de Sciubba, 2000.

Las marcas de actividad derivado de actividades físicas, culturales, de trabajo y en general de cualquier actividad repetitiva causa que los huesos adapten su morfología, un ejemplo claro es el hiperdesarrollo o el incremento de tamaño de los músculos de la masticación que deriva en la necesidad de un área de hueso más grande para poder insertarse, por ejemplo, Sella et al. (2018) tras el análisis de la asociación, bajo un enfoque de MG, entre la fuerza de los músculos de la masticación a través de áreas de sección transversales del temporal, el masetero y la forma mandibular, se determinó que las áreas de sección transversales más grandes están asociadas con la existencia de una rama más amplia, un proceso coronoides masivo, un cuerpo mandibular rectangular y un arco basal más curvo. Aunado a lo anterior, otro factor determinante para la variación de la forma mandibular es la dieta, la cual puede ser suave requiriendo menor fuerza de masticación y, por ende, asociarse con mandíbulas más cortas y amplias, una rama y procesos coronoides altos y angulosos, mientras que una dieta dura requiere mayor fuerza de masticación y, por ende, se asocia con mandíbulas largas y estrechas, una rama y procesos coronoides cortos y rectos (von Cramon-Taubadel, 2011). Al factor anterior, se le puede añadir el bruxismo, la fuerza de la mordida, entre otros (Sella et al., 2018).

Todas estas variaciones pueden ser útiles para llevar a cabo una identificación comparativa o reducir el número de individuos de coincidencias potenciales.

Radiología

Una de las técnicas más recurridas de la odontología es la radiología, la cual se define como una rama de la medicina que utiliza imágenes para diagnóstico e investigación como estudios enfocados en mandíbula (Lo Re et al., 2020). Existen diferentes tipos de radiografías como son las de tipo intraoral y extraoral.

Intraorales: dentro de estas se encuentran las proyecciones periapicales, aleta de mordida y oclusales (ver Figura 7). Algunas de las diferencias por subrayar es que, la proyección periapical muestra el diente completo de borde incisal o desde la superficie oclusal hasta el ápex de la raíz, por lo que en esta proyección se puede diagnosticar las condiciones normales y patológicas de la corona, raíz, hueso, etc. La proyección en aleta de mordida muestra únicamente la corona de los dientes superiores e inferiores en oclusión y las crestas alveolares del hueso adyacente. La proyección oclusal es utilizada para localizar objetos y condiciones patológicas en la dimensión bucolingual y que no pueden ser visualizados en una proyección periapical y aleta de mordida (Stabulas-Savage, 2019).

Extraorales: están representadas por las radiografías laterales oblicuas, de cráneo y ortopantomografías o comúnmente llamadas “panorámicas” (Stabulas-Savage, 2019; Whaites & Drage, 2021).

Las radiografías laterales oblicuas se constituyen para el análisis de las ramas mandibulares y de los órganos dentales, por ejemplo, para la evaluación de la presencia y posición de dientes no erupcionados, evaluación de fracturas mandibulares, quistes, tumores, lesiones o alteraciones óseas y alteraciones de la articulación temporomandibular, asimismo, son útiles para la evaluación de tejidos blandos como las glándulas salivales (Whaites & Drage, 2021).

Las radiografías de cráneo han sido útiles para diversos fines, sin embargo, debido a la complejidad del esqueleto maxilofacial, se han propuesto proyecciones diferentes que si bien no las han reemplazado, sí son complementarias a éstas y de mayor utilidad debido al detalle que ofrecen, sin embargo, las radiografías de cráneo son valiosas para evaluar fracturas del esqueleto maxilofacial y del cráneo, evaluación de los senos paranasales y frontales, asimismo para la valoración de alteraciones que afectan la base y bóveda craneal (Whaites & Drage, 2021).



Figura 7. Tipos de radiografías intraorales y extraorales. A. Radiografía periapical; B. Radiografía aleta de mordida; C. Radiografía oclusal; D. Radiografía lateral oblicua; E. Radiografía de cráneo. Adaptado de Whaites, E. & Drage, N., 2021.

La radiografía panorámica u ortopantomografía muestra la mandíbula de cóndilo a cóndilo y maxila. Su historia se remonta a los años 1959 en el que fue introducida por la S.S. White Corporation (Stabulas-Savage, 2019; Whaites & Drage, 2021). Este tipo de radiografía presenta diversas ventajas que son importantes para el desarrollo de la presente investigación, por ejemplo, permite visualizar la mandíbula de forma completa así como los tejidos blandos, los cuales, serán importantes tomar en consideración para evitar una mala interpretación de la variación de las estructuras anatómicas mandibulares, igualmente, captura la variación normal, anomalías, patologías y la variación derivada de las diferentes actividades que realizan las personas. Asimismo, es una radiografía de bajo costo y accesible por la disponibilidad de laboratorios a los que se puede asistir para tomarla (Stabulas-Savage, 2019; Whaites & Drage, 2021). Sin embargo, este tipo de muestras presentan igualmente desventajas, por ejemplo, los tejidos blandos en diversas

ocasiones pueden superponerse a las estructuras que se están analizando, de igual forma se presentan las imágenes fantasma o artefactos como las vértebras cervicales, cuerpo, ángulo y rama del lado contralateral de la mandíbula, el movimiento del equipo produce distorsión vertical y horizontal de una parte de la imagen a otra parte provocando magnificación de la misma y baja calidad de la imagen final en comparación con otros tipos de radiografías como lo son las intraorales (Stabulas-Savage, 2019; Whaites & Drage, 2021).

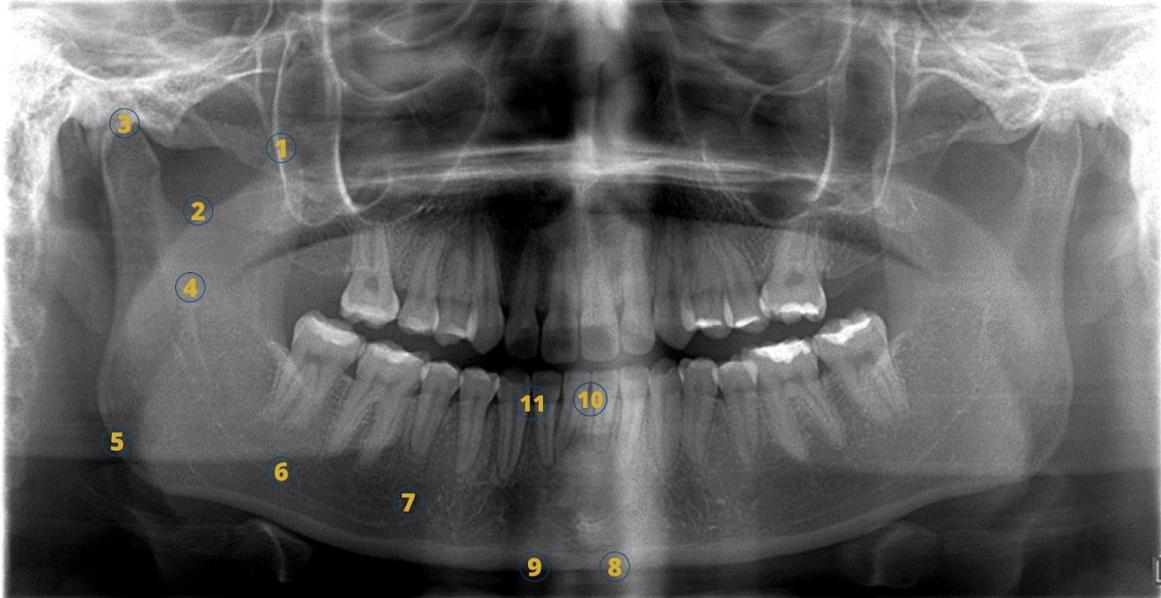


Figura 8. Estructuras observadas en ortopantomografía. 1. Proceso coronoides; 2. Escotadura mandibular; 3. Cóndilo; 4. Rama mandibular; 5. Gonion o ángulo mandibular; 6. Cuerpo mandibular; 7. Foramen mentoniano; 8. Gnación; 9. Gnación lateral; 10. Infradental; 11. Infradental lateral.

Los equipos de radiografía presentan diversos componentes como son la cabeza del tubo de rayos X, el brazo de posicionamiento, el panel de control, circuitos y los receptores de imagen (Whaites & Drage, 2021).

Todos los componentes son importantes, sin embargo, el tubo de rayos X y los receptores son fundamentales para la presente investigación. El tubo de rayos X está compuesto principalmente por un cátodo que es un filamento caliente de tungsteno que produce los electrones, un ánodo que es un bloque de cobre que facilita la eliminación de calor, un elemento de alta tensión o kilovoltaje (kV) ubicado entre el cátodo y ánodo que permite acelerar los electrones, una corriente o miliamperaje (mA) que constituye una medida de la cantidad de electrones que están siendo acelerados, una cubierta de plomo que absorbe los rayos X no deseados ya que son emitidos en todas las direcciones y un aceite que facilita la eliminación de calor (Whaites & Drage, 2021).

Al momento de la interacción con los tejidos se producen dos tipos principales de efectos que son el fotoeléctrico y el Compton. El efecto fotoeléctrico es una interacción de absorción pura que predomina con fotones de baja energía, por lo que los equipos de rayos X con bajo kV producen mayor absorción en los tejidos y una radiografía con buen contraste. El efecto Compton es una interacción de absorción y dispersión en el que predominan fotones de alta energía, por lo que los equipos de rayos X con alto kV producen menor absorción en los tejidos y una radiografía de contraste deficiente.

Respecto de los receptores de imagen se encuentran tanto la película radiográfica como los receptores digitales, los cuales, están representados por los sensores de estado sólido tales como los dispositivos de carga acoplada o *charge-coupled device* (CCD) y los semiconductores de óxido metálico complementarios o *complementary metal oxide semiconductors* (CMOS) y, finalmente, los sensores de placas de almacenamiento fosforescentes fotoestimulables. Cada uno de estos receptores de imagen han sido utilizados de forma complementaria, sin embargo, con la implementación de los sensores, las películas radiográficas han sido reemplazadas derivado de las diferentes desventajas que presentan, muchas veces debido al procesamiento de la imagen radiográfica (Whaites & Drage, 2021).

El procesamiento de la imagen se define como una secuencia de pasos para pasar de una imagen latente invisible a película radiográfica visible en escalas de grises que va del blanco y negro o a una imagen digital, es decir, un procesamiento químico o un procesamiento digital (Whaites & Drage, 2021).

El procesamiento análogo o químico consiste en una fase de revelado y una de fijado, las cuales, se caracterizan por el uso de una solución reveladora y una solución fijadora. Cada una de estas fases se lleva a cabo en mayor o menor medida con la intervención directa de la operadora u operador, dependiendo del método de procesamiento químico que se utilice pues se puede recurrir a un procesamiento manual, un procesamiento automático o el uso de películas de autorrevelado (Whaites & Drage, 2021). Este procedimiento presenta diversas desventajas como es el uso de un cuarto oscuro, la disminución de la eficacia de las soluciones reveladora y fijadora derivada del contacto con el oxígeno, de igual forma, los tiempos a los que son sometidas las películas radiográficas a las soluciones dependen totalmente de la temperatura, por lo que es indispensable su constante medición.

El procesamiento digital consiste en obtener una imagen digital a partir de la transmisión de una señal analógica a través de un convertidor analógico-digital. Las ventajas que presenta este tipo de procesamiento son principalmente que permite evitar las desventajas de un procesamiento químico, además, las imágenes digitales pueden ser almacenadas y transferidas de forma sencilla y su manipulación es de suma importancia para mejorar la imagen mediante la modificación del contraste, brillo, entre otros (Whaites & Drage, 2021). Sin embargo, este tipo de procesamiento también presenta desventajas como la resolución deficiente cuando se presentan píxeles grandes en una imagen digital, puede presentarse el efecto *blooming* o empañamiento en la imagen cuando son usados los sensores CCD debido a la sobreexposición y sobrecarga de éstos, de igual forma, la manipulación puede ser tanto una ventaja como una desventaja debido a que la operadora o el operador puede interpretar de forma errónea las imágenes digitales, aunado a lo anterior, los equipos de cómputo convencionales para la evaluación de la radiografía suelen limitar la calidad de las imágenes (Whaites & Drage, 2021).

Ortodoncia

La definición de ortodoncia se puede plantear en dos paradigmas 1) conseguir la oclusión normal y 2) el tratamiento ortodóntico está determinado por los tejidos blandos de la cara y no por los dientes ni los huesos (Proffit et al., 2013), sin embargo, para fines de la presente tesis se profundizará en el primer paradigma.

El primer paradigma pretende conseguir una oclusión normal, establecida por Edward H. Angle en la década de 1890, la cual se puede definir en términos de los primeros molares, de tal modo que los superiores e inferiores deberían relacionarse de forma que la cúspide mesiobucal del molar superior ocluyera con el surco bucal del molar inferior (ver Figura), por lo que si los dientes estuviesen dispuestos en una línea de oclusión uniformemente curvada y existiese esta relación entre los molares, se produciría una oclusión normal, en ese sentido, y tomándola como referencia es que también estableció los conceptos de maloclusión de la siguiente forma (ver Figura 9):

- Clase I. Relación normal entre los molares, sin embargo, la línea de oclusión no es correcta debido a la posición de los dientes.
- Clase II. El molar inferior se ubica distalmente en relación con el superior.

- Clase II. El molar inferior se ubica mesialmente (hacia el plano medio) en relación con el superior.

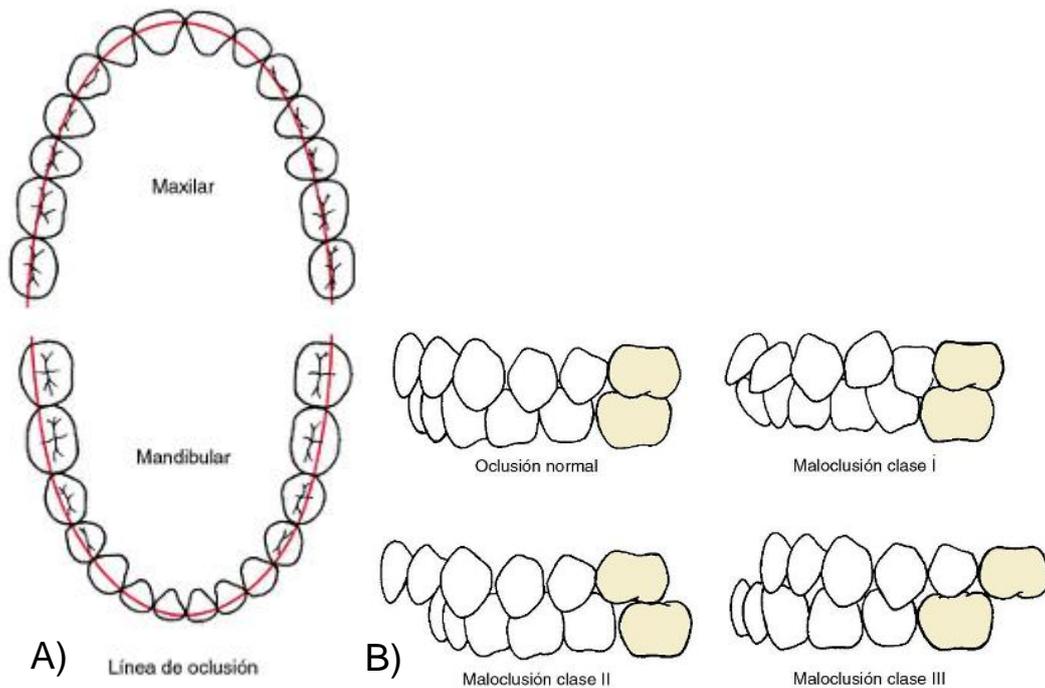


Figura 9. A) Línea de oclusión. B) Oclusión normal y clases de maloclusión de acuerdo con la clasificación de Angle. Tomado de Proffit et al. (2013).

Posterior a la Segunda Guerra Mundial es que mediante la cefalometría radiológica (técnica que permite realizar mediciones del cráneo mediante radiografía) se permitió vislumbrar que, en parte, las maloclusiones clase II y III se debían a alteraciones en la maxila y mandíbula y no únicamente de la mala posición de los órganos dentales. También, la cefalometría permitió establecer el tamaño de la mandíbula y la maxila se puede alterar.

El tratamiento ortodóntico se basa en el principio de que, si se aplica una presión prolongada sobre un diente, se producirá una movilización de este al remodelarse el hueso que lo rodea debido a la migración del alveolo dental, asimismo, estas fuerzas pueden influir en el patrón de aposición y reabsorción óseas en puntos alejados a la dentición como en las suturas del maxilar y las superficies óseas de ambos lados de la articulación temporomandibular.

Morfometría geométrica

La MG puede definirse como la aplicación de la estadística multivariante al estudio de la variación de la forma y su covariación con otras variables (Bookstein, 1998), es decir, que la variación de la forma se describe en términos de la relación espacial entre sus partes y no de sus dimensiones (Toro-Ibacache et al., 2010).

El uso de MG propicia el análisis del tamaño del objeto y de la forma independiente ya que la morfología se descompone en estos elementos, por lo anterior, es importante considerar dos aspectos: I) el tamaño del centroide o escala geométrica que es definido como la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de todos los *landmarks* de un objeto desde su centroide, es decir, desde el centro del objeto donde las distancias a este desde cada *landmark* son iguales y se define como la media de las coordenadas de todos los *landmarks* (Zelditch et al., 2004) y, II) la forma es toda la información geométrica que resulta de retirar los efectos de posición, escala y rotación del objeto que se analiza (Kendal 1977; 1981), en este caso, de la mandíbula.

Es importante considerar que el tamaño del centroide es la única variable que no se correlaciona con la forma en ausencia de alometría, pues es independiente de ella.

El análisis de los datos mediante MG está definido por tres etapas que son la colecta de datos o fenotipado, obtención de la información que describe la forma y, finalmente, los análisis exploratorios y confirmatorios de la variación de la forma y su covariación con otras variables (Toro-Ibacache et al., 2010).

La obtención de los datos está dada por la obtención del conjunto de *landmarks* que representa la forma (Toro-Ibacache et al., 2010).

Los *landmarks* son definidos como *loci* anatómicos discretos que se reconocen como el mismo *loci* en todos los especímenes en el estudio (Zelditch et al., 2004). Estos *landmarks* son un punto en el espacio que tienen nombre y tienen coordenadas (Toro-Ibacache et al., 2010) debido a que son colocados en un sistema de referencia cartesiano, las cuales pueden obtenerse mediante digitalizadores o *software* sobre imágenes digitales ya sea 2D o 3D (Quinto et al., 2017).

De acuerdo con Zelditch et al. (2004) los *landmarks* son elegidos de acuerdo con diferentes criterios, dentro de ellos, que sean homólogos y discretos, que proporcionen

una cobertura adecuada de la forma, que puedan ser colocados varias veces sin error y, finalmente, que se encuentren en un mismo plano.

Tomando en consideración lo anterior, ahora se puede establecer que existen diferentes tipos de *landmarks*, basados en la clasificación propuesta por Bookstein (1991; 1997):

- Tipo I: Puntos de relevancia biológica o anatómica en todos los individuos, los cuales, son yuxtaposiciones discretas de tejidos, por ejemplo, la intersección de tres suturas o los puntos craneométricos.
- Tipo II: Puntos de máxima curvatura y es elaborado por un constructo matemático, por ejemplo, las cúspides de molares, la parte más distal de un proceso óseo.
- *Semilandmarks*: Puntos de curvatura menor entre tipo I o II, los cuales son utilizados para representar curvas 2D, 3D o superficies homólogas con base en un conjunto de ellos (Gunz & Mitteroecker, 2013), por ejemplo, la base del cuerpo mandibular. Se ha reconocido que los *semilandmarks* tienen problemas en cuanto a la homología pues es complejo que estos puedan corresponder en todos los especímenes, sin embargo, el método del *sliding semilandmark* contrarresta este problema (Gunz & Mitteroecker, 2013).

Sliding semilandmark

Este método corrige el problema de homología de los *semilandmarks* ya que minimiza la variación de la forma de cada espécimen con una forma promedio (Bookstein, 1991; 1997; Gunz & Mitteroecker, 2013; García, 2017).

Este método consiste en tres pasos:

1. Colocar el mismo número de *semilandmarks* en la curva o superficie en cada espécimen en aproximadamente la misma ubicación.
2. La posición de los *semilandmarks* es optimizada y para ello los *semilandmarks* se deslizan a lo largo de líneas tangentes a la curva.
3. Los *semilandmarks* son proyectados nuevamente en la curva.

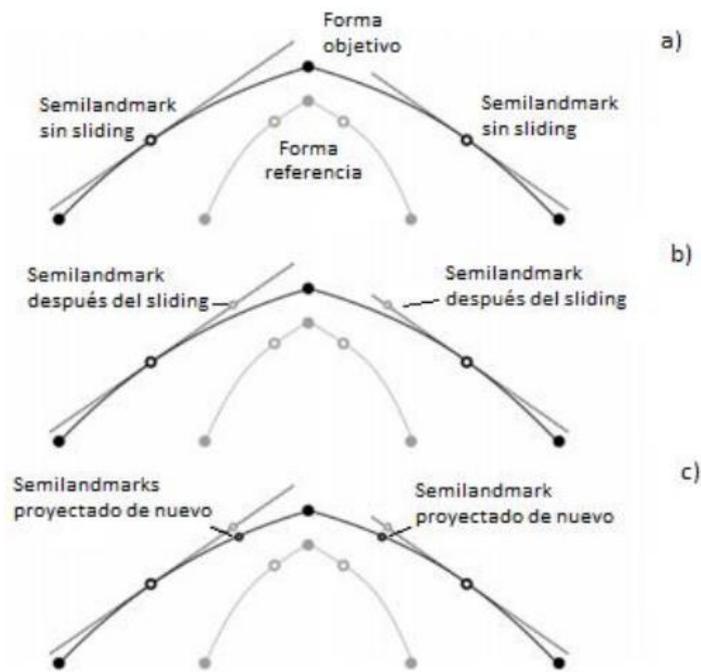


Figura 10. Proceso de *sliding semilandmark*. a. *Semilandmarks* en posición original; b. *Semilandmarks* después del *sliding*; c. *Semilandmarks* después proyectados nuevamente a la curva. Tomado de García, 2017.

Para realizar este método se pueden aplicar dos enfoques, los cuales son el deslizado para minimizar la energía de deformación (*Bending energy*) o deslizado para minimizar las distancias de Procrustes de todas las unidades de análisis respecto a una referencia. Sus diferencias radican en que, para el primer enfoque, la energía de deformación se calcula tomando en cuenta a todos los *landmarks* y *semilandmarks*, es decir, todos los *semilandmarks* se deslizan juntos y se ven influenciados por los *landmarks*, mientras que para el segundo enfoque cada *semilandmark* se desliza por separado y no es influenciado por los *landmarks*, por lo que, puede darse el caso de que uno de ellos sobrepase a otro (Bookstein, 1991; 1997; Gunz & Mitteroecker, 2013; García, 2017).

Cabe destacar que la variación morfológica que se encuentra en poblaciones modernas, como lo es la muestra de la presente investigación, es pequeña por lo que el enfoque a utilizar será el deslizado para minimizar las distancias de Procrustes (Pérez et al., 2006)

Análisis Generalizado de Procrustes

GPA (por sus siglas en inglés) es un método que permite eliminar las diferencias de la forma de las unidades de análisis de la muestra debidas a los efectos de tamaño, traslación

y rotación, lo anterior, se realiza sobre la configuración de *landmarks*, en la que la eliminación de rotación, traslación y escalamiento se da en distintos espacios morfométricos (espacio de las configuraciones, espacio pre-Kendalliano y espacio de la forma o Kendall), los cuales son multidimensionales; estos espacios morfométricos provocan la reducción de dimensionalidad que ya en el espacio de Kendall está dado por 2D: $2k-4$ dimensiones y 3D: $2k-7$ dimensiones y en el que se presentan distancias parciales de Procrustes. Sin embargo, hasta este punto se hace imposible la implementación del tercer paso del análisis mediante MG, en que mediante estadística multivariante se realizan distintos análisis como son el de componentes principales para observar la variación de la forma de las unidades de análisis debido a que son espacios multidimensionales y, por lo tanto, no euclidianos, de tal forma que la proyección de las configuraciones de *landmarks* a un espacio tangente permite la transformación de las distancias antes mencionadas en distancias euclidianas (Toro-Ibacache et al., 2010 y Jasso, 2019).

Análisis de Componentes Principales

PCA (por sus siglas en inglés) es un método de reducción de la dimensionalidad de datos multidimensionales (Hammer et al., 2001) ya que de un conjunto de variables se producen nuevas variables, denominados componentes principales que son combinaciones lineales de las originales, las cuales explican la mayor variación entre las unidades de análisis debido a que elimina información que está repetida por la existencia de regiones del individuo que están influenciadas bajo el mismo proceso que produce la variación (Zelditch et al., 2004).

Este análisis es llevado a cabo mediante la generación de una matriz de varianza-covarianza de la que el PCA encontrará los componentes principales (*eigenvectors*) y la varianza explicada (*eigenvalues*) para cada componente principal (Hammer et al., 2001). Además de caracterizar la variabilidad de una muestra también se puede estimar la distancia euclidiana sobre las coordenadas obtenidas del PCA entre cada unidad de análisis de la muestra (biodistancia fenotípica), permitiendo efectuar un análisis de conglomerados.

En ese sentido, *MorphoJ* (Klingenberg, 2011) es un *software* que permite llevar a cabo diferentes análisis como son el GPA, PCA, regresión multivariante, entre otros, por lo que será utilizado en la presente investigación.

Regresión Logística

LR (por sus siglas en inglés) es un modelo que permite predecir la probabilidad de una variable dependiente (y) dado un conjunto de variables predictoras (x), las cuales pueden ser cuantitativas, categóricas o ambas (Amat, 2016; Advanced Research Computing, 2021). La LR puede ser de tres tipos dependiendo de las categorías que presente la variable dependiente (IBM, s/a):

- Binaria: Presenta dos categorías, por ejemplo, el sexo.
- Multinomial: Presenta tres o más categorías que no tienen un orden, por ejemplo, el color.
- Ordinal: Presenta tres o más categorías que sí tienen un orden, por ejemplo, la condición médica que puede ser estable, grave o crítica.

En adición a su función, también se pueden observar las variables predictoras que no son significativas para llevar a cabo la clasificación en alguna categoría (IBM, s/a).

Para llevar a cabo una LR, los datos pueden o no presentar una distribución normal multivariante y no tienen que presentar multicolinealidad, es decir, que exista correlación entre las variables predictoras (Amat, 2016).

Análisis de conglomerados

De acuerdo con Núñez-Colín C. y Escobedo-López D. (2011) es un método utilizado para la formación de grupos con características similares a partir de las similitudes o disimilitudes que se presentan entre pares en n características evaluadas, por lo que los grupos formados presentarán homogeneidad interna y heterogeneidad externa (Pedroza H. & Dicoovsky, L., 2006).

Se compone de dos métodos, el primero es el cálculo de los índices de similitud o disimilitud entre pares, el segundo es la aplicación del método de aglomeración adecuado, el cual, a partir de los índices se pueden generar dendrogramas que representarán el parecido de los grupos (Núñez-Colín C. & Escobedo-López D., 2011).

Los índices de disimilitud son las distancias y son distintas dependiendo de la naturaleza de los datos que, para fines de este estudio, serán distancias euclidianas.

Los métodos de aglomeración se pueden explicar en tres pasos, el primero consiste en unir a las unidades de análisis en grupos con el máximo parecido en la matriz de distancias, el segundo consiste en rehacer la matriz de distancias para que ese grupo tenga un solo valor con respecto a las demás unidades de análisis, pudiendo destacar que este paso depende del método de aglomeración, en el caso de la presente investigación se utilizará el algoritmo *Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Averaging* (UPGMA), el cual busca la menor distancia entre toda la muestra sin ponderar alguna, por lo que recalcula la matriz de distancias a partir de promediar los valores de las distancias de las unidades de análisis del grupo con el de las otras unidades y el tercer paso consiste en formar sucesivamente más grupos con unidades diferentes o una unidad con un grupo ya formado hasta llegar a la raíz del dendrograma (Núñez-Colín C. & Escobedo-López, 2011).

En ese sentido, *Past-Palaentological Statics* (PAST) es un paquete de *software* estadístico que permite ejecutar análisis univariados, multivariantes, geométricos, filogenéticos, etc. (Hammer, Ø. et al., 2001), por lo que, en sus funciones, es capaz de realizar análisis de conglomerados a partir de matrices de distancias euclidianas por medio del algoritmo UPGMA.

Este análisis de agrupamiento se realiza sobre los PC con valor propio igual o mayor a 1, sin embargo, puede que los PC sean menores a 1, por lo que se establece un criterio de los PC que concentran el 95% de varianza, bajo un análisis de 10,000 permutaciones que permite establecer que los grupos se mantienen constantes a través de las iteraciones, sin embargo, la capacidad de los procesadores de algunas computadoras no permiten realizar un número tan elevado de permutaciones por lo que se recomienda utilizar 1,000, esperando que estos grupos presenten coincidencias mayores a 80% y que se presenten la mínima distancia posible para poder establecer clasificaciones correctas (Jasso, 2019; Ortiz, 2019), que en este caso, ocurre cuando la primera digitalización de una unidad de análisis aparece apareada con la segunda, sin embargo, se pueden presentar otro tipo de clasificaciones como son los grupos externos y los grupos miméticos, los primeros son entendidos como unidades de análisis que crean un grupo con un par que ya está clasificado correctamente y los segundos son entendidos como dos unidades de análisis

diferentes cuya forma son parecidas, por lo que se da una coincidencia (Jasso, 2019 y Ortiz, 2020).

Morfometría geométrica en Antropología y Odontología Forense

La Antropología y Odontología Forense aportan información relevante en procesos de identificación humana, tanto reconstructiva como comparativa, por lo que métodos de identificación a partir de los huesos y órganos dentales mediante un análisis detallado de sus fenotipos basados en MG son relevantes (Quinto et al., 2017).

En cuanto a la reconstrucción del perfil biológico, se tiene registro de que Gómez-Váldez et al. (2012) realizaron un estudio que tuvo por objetivo comparar un método visual, métrico y basado en MG utilizados para la determinación del sexo en coxales de población mexicana. La comparación fue realizada mediante el análisis de curvas ROC (Receiver Operating Characteristic) para predecir el mejor enfoque para la determinación del sexo, concluyendo que el enfoque morfométrico geométrico fue el mejor. Por otro lado, se tiene el estudio llevado a cabo por López et al. (2018) en el que se evaluó el dimorfismo sexual de la superficie oclusal del primer molar deciduo de maxila y mandíbula de población española, concluyendo que únicamente el primer molar deciduo del maxilar mostró dimorfismo sexual obteniendo clasificaciones correctas de más del 90%.

En cuanto a la identificación comparativa, se tiene el estudio desarrollado por Ortiz (2020) que tuvo por objetivo definir la viabilidad de la individualización con motivo de identificación humana en población mexicana, por medio de senos frontales y suturas craneales, concluyendo que sus patrones permiten individualizar a las personas. Otro estudio que ha contribuido a este ámbito es el de Jasso (2019) en el que aplicó el método propuesto por Kieser et al. (2007) para determinar si las arcadas dentales anteriores permiten individualizar personas de población mexicana, concluyendo que es un método efectivo para tal fin.

El uso de MG no se ha restringido únicamente al análisis de estas estructuras puesto que, como ya se ha mencionado anteriormente, la determinación del sexo también ha sido establecida mediante el análisis de la flexión de la rama mandibular y eversión gonial

(Oettlé, 2005; 2009 y Pretorius et al. 2006), borde inferior del cuerpo y rama posterior mandibular (Nuzzolese et al., 2019; 2012), así como de la forma general de la mandíbula (Franklin et al., 2007).

Error de medición

Fruciano (2017) lo define como cualquier variación aleatoria en una muestra que no tiene un origen biológico. Tener esta variación implica numerosas consecuencias, la principal es que puede darse un incremento en la cantidad de varianza entre las personas que puede interpretarse como una variación de origen biológico cuando no lo es. Por lo anterior, evaluar el error de medición asegura que la variación observada en la muestra sea parte de la información biológica y no provocada por las distintas fuentes de error (Quinto et al., 2017).

Existen tres fuentes de error principales (Fruciano, 2017). La primera fuente de error tiene que ver en la forma de adquisición de los datos, es decir, cómo se colocan las muestras en un instrumento como el de rayos X, ya que puede variar con frecuencia la posición de estas. La segunda fuente de error está dada por la adquisición de datos 2D de estructuras 3D, sin embargo, estudios han sugerido que es un error relativamente pequeño y que en general, es mayor el error en estructuras esféricas como el cráneo a diferencia de estructuras planas como la mandíbula (Cardini, 2014). La tercera fuente de error se refiere al error de digitalización, es decir, estas diferencias que se pueden encontrar cuando los *landmarks* son digitalizados por una investigadora o investigador con experiencia a una investigadora o investigador sin experiencia, puesto que se espera que estos último presente un error de medición más alto.

Para evaluar el error de medición se utilizan las mediciones repetidas, es decir, se generan datos múltiples veces por la misma investigadora o investigador para determinar cuánto difieren entre estas, lo anterior, puede ser desarrollado en dos enfoques: El nivel de concordancia entre las mediciones o el uso de gráficos de las puntuaciones (*scores*) a lo largo de los primeros PC (Franklin et al. 2007; O'Higgins & Jones, 1998) para observar si estas se agrupan, en caso de que lo anterior ocurra, se puede determinar que existe un mínimo de error de medición, en adición, se puede observar la varianza entre cada medición de la misma persona y graficando dicha varianza y/o llevando a cabo un análisis

de variación canónica para conocer las diferencias significativas tomando en consideración la matriz de distancias y valores p entre cada repetición (Jasso, 2019 y Ortiz, 2020).

Asimismo, Procrustes ANOVA es un enfoque que puede ser usado para evaluar el error de medición de medidas repetidas, el cual se basa en el análisis de GPA, es decir, superpone configuraciones de *landmarks* al minimizar la suma de las distancias al cuadrado de todos las personas y la configuración media, por lo que, la suma de las desviaciones al cuadrado de la configuración media de cada coordenada (*landmark*) se puede dividir en términos diferentes de una ANOVA de dos factores (Fruciano, 2017). Esta suma de cuadrados para diferentes efectos se puede sumar en todas las coordenadas, posteriormente, se pueden calcular los cuadrados medios dividiendo el total de la suma de los cuadrados para cada efecto entre los grados de libertad, por lo que se puede estimar la contribución relativa de cada factor al total de la variación, estableciendo que, si los cuadrados medios del error son menores a los cuadrados medios de los individuos, no hay error de medición.

También, el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC por sus siglas en inglés) es un enfoque utilizado para la medición de la fuerza del acuerdo entre investigadoras o investigadores, así como entre las mediciones. El ICC adquiere valores del 0 a 1, que de acuerdo con Koo y Li (2016) se puede interpretar el acuerdo de la siguiente forma:

Tabla 1. Interpretación de los valores de ICC.

ICC	Interpretación
<0.5	Bajo
0.5-0.75	Moderado
0.75-0.9	Bueno
>0.9	Excelente

Dependiendo del tipo de resultado que se quiere obtener, la selección del ICC será importante ya que presenta diferentes formas determinadas por su modelo, unidad y tipo de relación.

Este ICC se basa en el modelo de análisis de varianza, por lo que se clasifican dependiendo de a qué se le atribuyen los efectos aleatorios:

- Modelo de un factor de efectos aleatorios (One-way random effects): Supone que ya sea la investigadora, investigador o la unidad de análisis se eligen de forma aleatoria (Koo & Li, 2016). Por ejemplo, se dispone de n pacientes que al ingreso se someten a dos tomas de presión arterial realizadas por enfermeras diferentes que, según el momento de ingreso, cambian de un paciente a otro (s/n, 2014).
- Modelo de dos factores de efectos aleatorios (Two-way random effects): Las investigadoras, investigadores y las unidades de análisis son elegidas de forma aleatoria de sus respectivas poblaciones, es decir, que los resultados pueden ser generalizados a la población de evaluadores porque comparten características similares (Koo & Li, 2016; s/n, 2014).
- Modelo de dos factores de efectos mixtos (Two-way mixed effects): Las investigadoras o investigadores son fijos, mientras que las unidades de análisis son una muestra aleatoria de la población, por lo que los resultados no son generalizados. Este tipo de modelo es útil para la evaluación del error de medición intraobservador (Koo & Li, 2016).

Dado que el ICC se basa en el análisis de varianza, se tienen dos tipos de unidades para realizarlo que es por una medición o por el promedio de k mediciones (Koo & Li, 2016; s/n, 2014):

- Una medición: El ICC es obtenido de una sola medición o repetición.
- Promedio de k mediciones: El ICC es obtenido de la combinación de las mediciones o repeticiones, teniendo como resultado mayor concordancia y acuerdo.

Finalmente, se tiene que determinar qué tipo de relación o resultado será importante, ya sea acuerdo o consistencia (Koo & Li, 2016; s/n, 2014):

- **Consistencia:** Establecer si se correlacionan las puntuaciones que las investigadoras o investigadores asignaron a las unidades de análisis.
- **Acuerdo:** Establecer hasta qué punto las investigadoras o investigadores asignan la misma puntuación a la misma unidad de análisis en diversas repeticiones.

III. METODOLOGÍA

Muestra de estudio

Las unidades de estudio fueron ortopantomografías de la Colección Odontológica de interés forense conformada en el Laboratorio de Antropología y Odontología Forense (LAOF) de la Escuela Nacional de Ciencias Forenses y en colaboración con la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología UNAM y la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), las cuales fueron donaciones anónimas, recabando únicamente datos de sexo, edad y lugar de origen aunque todas son provenientes de población mexicana contemporánea, de tal forma que los datos son tratados con confidencialidad.

Se integra por 327 registros (cada uno conformado por una ortopantomografía previa, durante y/o posterior al tratamiento de ortodoncia) divididos en 284 de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología UNAM y 34 registros (también conformados por una ortopantomografía previa, durante y/o posterior al tratamiento de ortodoncia) de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN). Dados los objetivos de la presente investigación y de que la elección de las unidades de análisis pertenecen a una muestra no probabilística por voluntarios, se tomaron en consideración los siguientes criterios de inclusión y exclusión de la muestra como se describe en la Figura 11.

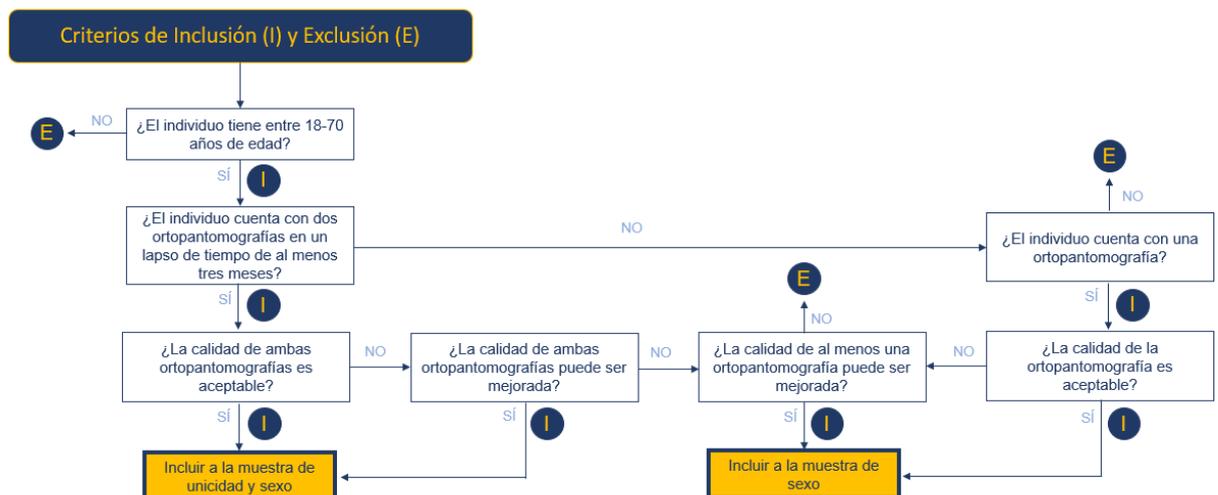


Figura 11. Criterios de inclusión y exclusión de la muestra para unicidad y sexo.

En la Figura 11, uno de los criterios de inclusión es que cada registro contara con dos ortopantomografías en dos momentos diferentes de su vida (pudiendo ser previa, durante o posterior al tratamiento de ortodoncia), las cuales presentaran un lapso de tiempo de al menos tres meses entre cada una de ellas, debido a que es el tiempo en el que se puede observar radiológicamente una regeneración osteológica (Cheng & Shoback, 2019; Ghiasi et al., 2017).

También se consideró como criterio de inclusión que la calidad de las ortopantomografías fuera aceptable, es decir, que las estructuras fueran visibles, por lo que se ajustaron los valores originales de brillo y contraste de la imagen entre un 5% a un 20% para ambos.

Como resultado de la selección de las ortopantomografías, la muestra de estudio para la determinación de unicidad se comprende de un total de 224 ortopantomografías (unidades de análisis) pertenecientes a 112 registros de los cuales 56 son de sexo femenino (50%) y 56 masculino (50%) como se presenta en la Tabla 2, a los que se les asignó un código que permitiera 1) identificar si se trataba de la ortopantomografía más antigua o más reciente del registro que, para fines de este estudio, se nombró pretratamiento a la más antigua y postratamiento a la más reciente, 2) distinguir el sexo y 3) observar el número del registro.

Tabla 2. Distribución de la muestra para la determinación de unicidad.

Fuente	Número de ortopantomografías			Porcentaje del total por fuente (%)
	Femeninos	Masculinos	Total por fuente	
DEPeI UNAM	112	56	168	75
UAN	0	56	56	25
Total	112	112	224	100

Respecto a la muestra para la determinación del sexo, se comprende de un total de 123 registros, de las cuales el 51.22% fueron de sexo femenino ($n_f=63$) y 48.78% del

masculino (ver Tabla 3). Cabe señalar que las 112 ortopantomografías postratamiento que forman parte de la muestra para la determinación de unicidad también integran la muestra para la determinación del sexo, a las que se les asignó un código que permitió 1) identificar el sexo y 2) observar el número del registro.

Tabla 3. Distribución de la muestra para la determinación del sexo.

Submuestras	Número de ortopantomografías			Porcentaje (%)
	Femeninos	Masculinos	Total	Total
DEPeI UNAM	63	32	95	77.2358
UAN	0	28	28	22.7642
Total	63	60	123	100

Aunado a esto se trabajó con una muestra de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense (CONA) de la ENACiF, UNAM, que se integra por 81 mandíbulas, a las cuales se les tomó ortopantomografía con el fin de determinar el sexo mediante la aplicación del modelo propuesto en este trabajo.

Fenotipado

Para llevar a cabo el fenotipado de las muestras fue necesaria la elaboración de dos protocolos para la determinación del sexo y de la unicidad, respectivamente, mediante la revisión de protocolos propuestos en la literatura tanto en registros 2D como en 3D.

Protocolo para la determinación del sexo

Se aplicó el protocolo de *landmarks* que se presenta en la Tabla 4 y se señalan en la Figura 12, este protocolo es una modificación del propuesto por Nuzzolese et al. (2019) con el cual se obtuvo el mayor número de clasificaciones correctas de personas cuando fue aplicado en población italiana. Parte de los criterios de exclusión considerados por Nuzzolese et al. (2019) fueron personas edéntulas o parcialmente edéntulas, sin embargo, en la presente investigación se toman en cuenta debido a que la puesta de *landmarks* y *semilandmarks* no es afectada por la ausencia de los órganos dentales.

Este protocolo consiste en el uso de un *landmark* de tipo I, seis *landmarks* de tipo II y treinta y ocho *semilandmarks* como se presenta en la Figura 12, el cual se llevó a cabo por medio del proceso de puesta de *landmarks* o *landmarking* donde primero se creó un archivo tps con las imágenes que componen la muestra de estudio mediante el *software* tpsUtil versión 1.81 (Rohlf, 2015) y se aplicó el protocolo de *landmarks* en el *software* tpsDig2 versión 2.32 (Rohlf, 2015).

Tabla 4. Protocolo para la determinación del sexo.

Protocolo para la detemrinación del sexo		
No.	Tipo de <i>landmark</i>	Descripción
1 y 2	Tipo II	Punto más superior del cóndilo mandibular.
3 y 4	Tipo II	Gonion.
5	Tipo I	Gnation.
6 y 7	Tipo II	Gnation lateral: Punto en el que una línea vertical desde la cara distal del incisivo lateral se cruza con el borde inferior del cuerpo mandibular.
8-14 15-21	<i>Semilandmarks</i>	Serie de puntos equidistantes ubicados a lo largo del borde de la rama mandibular desde el punto más posterosuperior del cóndilo mandibular hasta el punto más posterior del ángulo mandibular.
22-33 34-45	<i>Semilandmarks</i>	Serie de puntos equidistantes ubicados a lo largo del borde inferior del cuerpo mandibular desde el punto más inferior del ángulo mandibular hasta el punto en el que una línea vertical desde la cara distal del canino se cruza con el borde inferior del cuerpo mandibular.

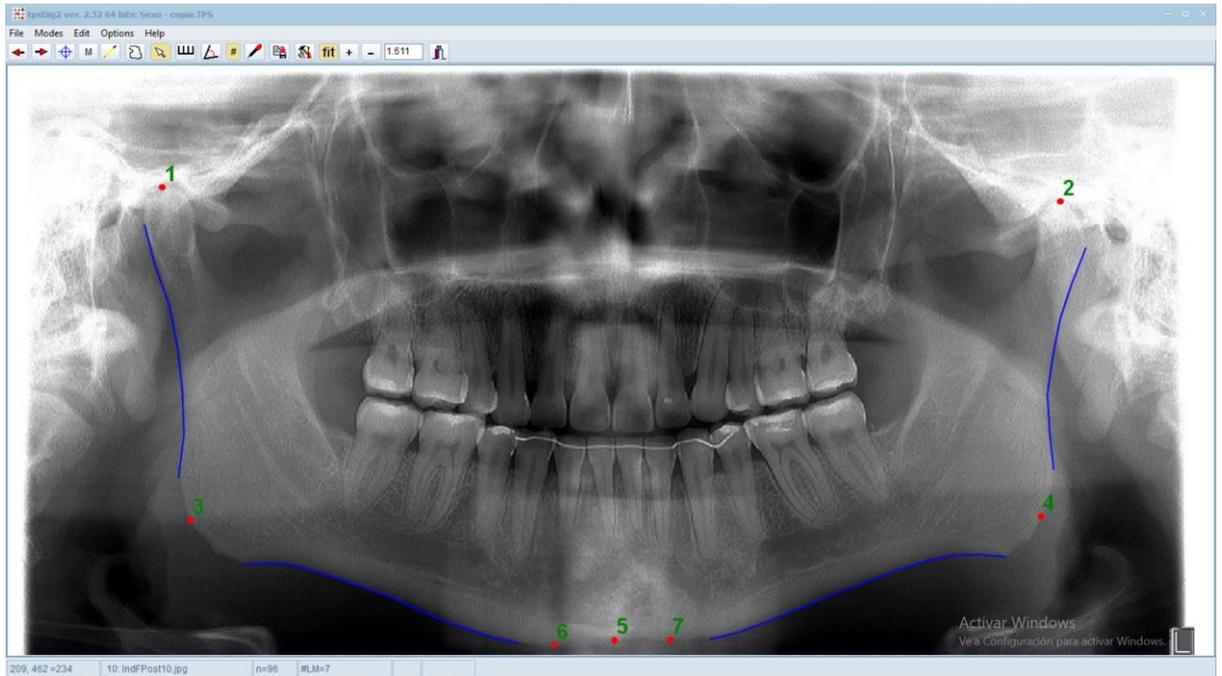


Figura 12. Protocolo de *landmarks* (modificación al de Nuzzolese et al., 2019) para la determinación del sexo digitalizado en una ortopantomografía. Se presentan *landmarks* de tipo I y tipo II, la rama mandibular con siete *semilandmarks* y el borde inferior del cuerpo con 12 *semilandmarks*.

Es pertinente mencionar que durante la modificación del protocolo de Nuzzolese et al. (2019) se añadieron los *landmarks* 5, 6, 10 y 11 que se presentan en la Tabla 5 y en la Figura 13. Este protocolo fue digitalizado en 10 individuos y en tres ocasiones, sin embargo, se presentaron distintas dificultades tras la aplicación, por lo que se decidió descartar los *landmarks* del protocolo. El primer problema fue la ubicación de los *landmarks* 5 y 6 en las ortopantomografías debido a la posición que presentan las mandíbulas, ya que antegonion es un punto ubicado en la parte más profunda de la escotadura antegonial sobre el borde inferior de la mandíbula y en ocasiones no fue evidente como se muestra en la Figura 14. El segundo fue la ubicación de los *landmarks* 10 y 11 debido a la posición de la mandíbula, el apiñamiento y las anomalías dentales como la giroversión de los caninos como se muestra en la Figura 15, por lo que se consideró omitirlos del proceso de *landmarking*.

Tabla 5. Protocolo con los *landmarks* 5, 6, 10 y 11 añadidos para la determinación del sexo.

Protocolo con los <i>landmarks</i> 5, 6, 10 y 11 añadidos.		
No.	Tipo de <i>landmark</i>	Descripción
1 y 2	Tipo II	Punto más superior del cóndilo mandibular.
3 y 4	Tipo II	Gonion.
5 y 6	Tipo II	Antegonion: Punto más profundo de la escotadura antegonial sobre el borde inferior de la mandíbula.
7	Tipo I	Gnation.
8 y 9	Tipo II	Gnation lateral: Punto en el que una línea vertical desde la cara distal del incisivo lateral se cruza con el borde inferior del cuerpo mandibular.
10 y 11	Tipo II	Punto en el que una línea vertical desde la cara distal del canino se cruza con el borde inferior del cuerpo mandibular.
12-18 25-31	<i>Semilandmarks</i>	Serie de puntos equidistantes ubicados a lo largo del borde de la rama mandibular desde el punto más posterosuperior del cóndilo mandibular hasta el punto más posterior del ángulo mandibular.
19-24 32-37	<i>Semilandmarks</i>	Serie de puntos equidistantes ubicados a lo largo del borde inferior del cuerpo mandibular desde el punto más inferior del ángulo mandibular hasta el punto en el que una línea vertical desde la cara distal del primer premolar se cruza con el borde inferior del cuerpo mandibular.

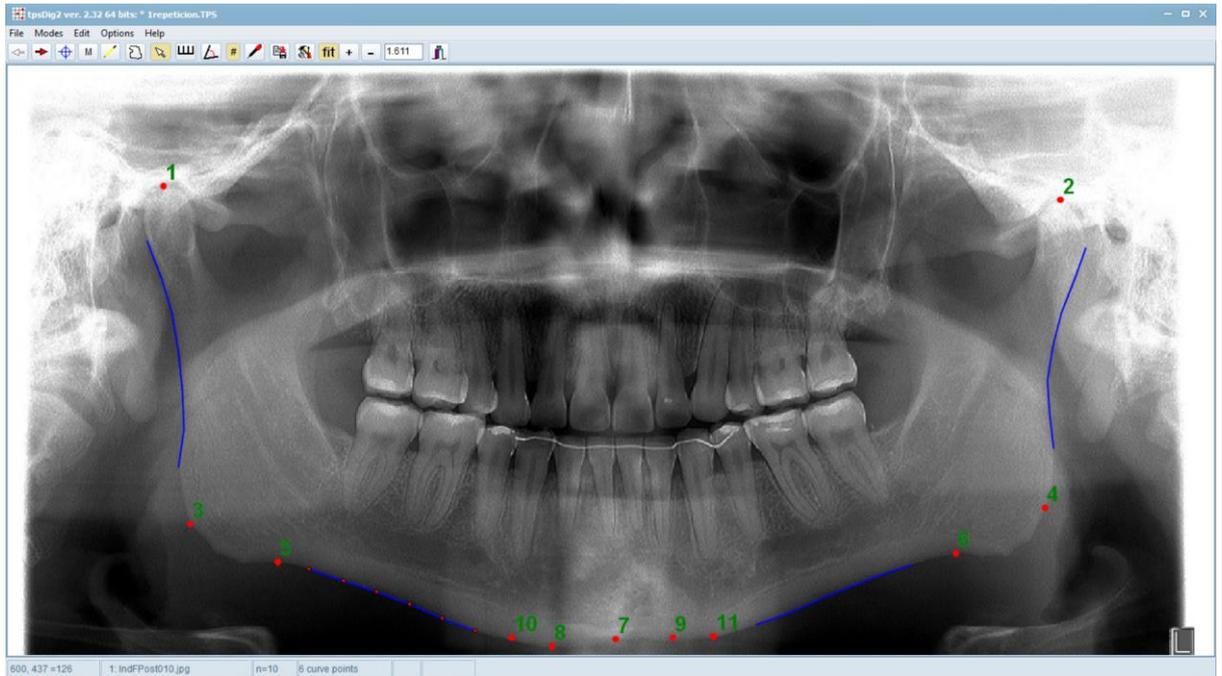


Figura 13. Protocolo de *landmarks* para la determinación del sexo digitalizado en una ortopantomografía. Se presentan *landmarks* de tipo I y tipo II, la rama mandibular con siete *semilandmarks* y el borde inferior del cuerpo con seis *semilandmarks*.

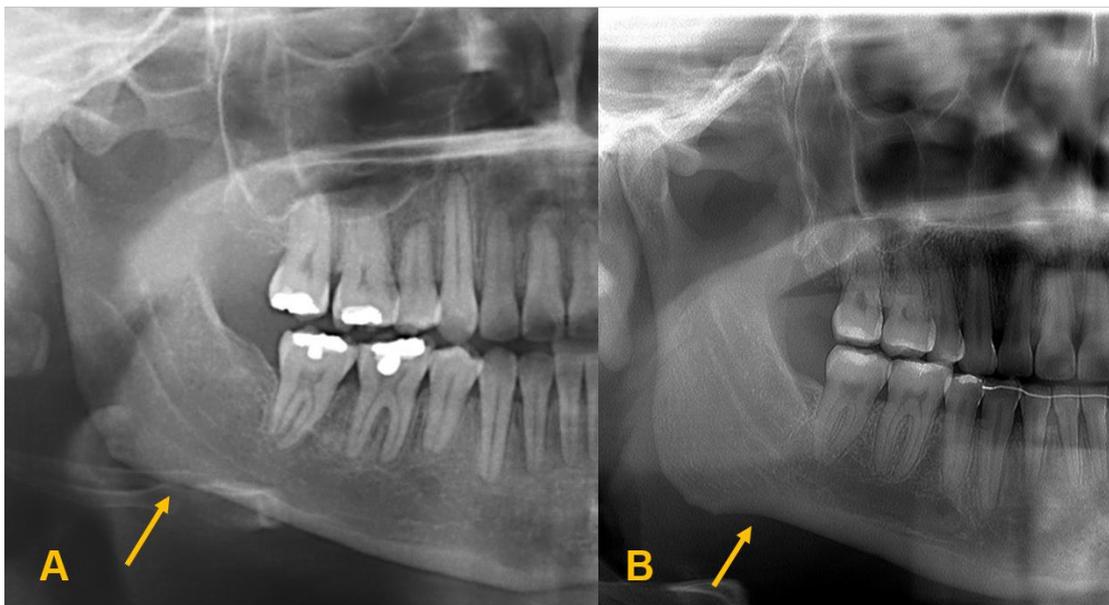


Figura 14. Dificultades relacionadas con la ubicación de los *landmarks* 5 y 6. En la imagen A la escotadura antegonial no es evidente donde se ubican los *landmarks* 5 y 6 mientras que en la imagen B sí.

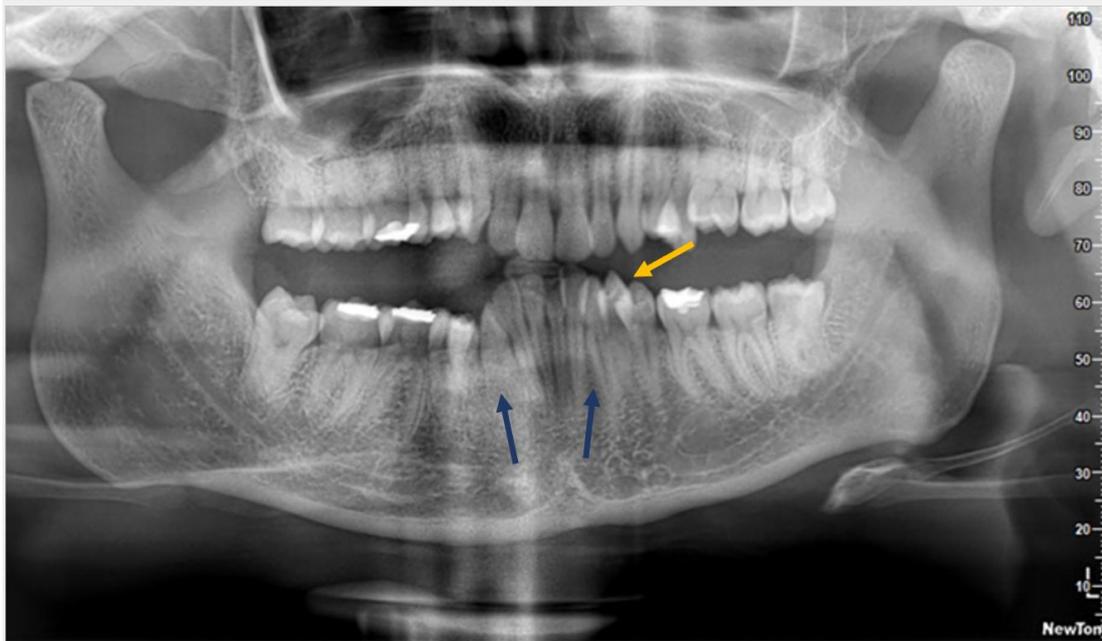


Figura 15. Dificultades relacionadas con la ubicación de los *landmarks* 10 y 11. La flecha amarilla señala el apiñamiento dental mientras que las flechas azules señalan la giroversión que presentan los caninos.

Protocolo para unicidad

Se aplicó el protocolo de *landmarks* que se presenta en la Tabla 6 y se señalan en la Figura 16. Este protocolo es una modificación del propuesto por Franklin et al. (2007) con el que se analizó el dimorfismo sexual y la ancestría, el cual se tomó como referencia para establecer la unicidad de la mandíbula debido a que permite conocer la variación entre poblaciones pero también entre personas, ya que los *landmarks* describen los cuatro elementos de la variación, los cuales son la variación normal, anomalías, condiciones patológicas y marcas de actividad de la mandíbula (Christensen et al., 2019).

Dado el contexto anterior, el protocolo de Franklin et al. (2007) fue modificado debido a dos principales razones: I) La muestra de estudio de la presente investigación es 2D, mientras que la muestra de estudio de Franklin et al. (2007) es 3D, por lo que se recurrió a eliminar aquellos *landmarks* que no pudieron ser ubicados en las ortopantomografías y, II) Franklin et al. (2007) describe tanto la rama posterior como el cuerpo mandibular con tres *landmarks*, que no necesariamente se especifica su ubicación o cómo han sido establecidos por lo que, tomando en consideración los criterios para la elección de los *landmarks* (Zelditch et al., 2004), fue pertinente el uso de *semilandmarks* para definir la forma de la rama posterior y el cuerpo mandibular.

En ese sentido, el protocolo consiste en el uso de dos *landmarks* de tipo I, 16 *landmarks* de tipo II y 38 *semilandmarks*.

Cabe mencionar que parte de los criterios de exclusión de la investigación llevada a cabo por Franklin et al. (2007) fueron personas edéntulas o parcialmente edéntulas, sin embargo, en la presente investigación se toman en consideración debido a que la puesta de *landmarks* y *semilandmarks* no se ve afectada por la ausencia de los órganos dentales, sino que proporcionan una característica individualizante.

Para llevar a cabo el proceso de *landmarking* se creó un archivo tps con las imágenes que componen la muestra de estudio mediante el *software* tpsUtil versión 1.81 (Rohlf, 2015) y se aplicó el protocolo de *landmarks* en el *software* tpsDig2 versión 2.32 (Rohlf, 2015).

Tabla 6. Protocolo para la unicidad.

Protocolo para unicidad		
No.	Tipo de <i>landmark</i>	Descripción
1 y 2	Tipo II	Punto más superior del proceso coronoides.
3 y 4	Tipo II	Punto más inferior de la escotadura mandibular.
5 y 6	Tipo II	Punto más superior del cóndilo mandibular.
7 y 8	Tipo II	Gonion. El punto más posteroinferior donde se une la rama y cuerpo mandibular.
9	Tipo I	Gnation. Punto más inferior de la mandíbula.
10 y 11	Tipo II	Gnation lateral: Punto en el que una línea vertical del <i>landmark</i> 13 y 14 intersecta con el borde inferior del cuerpo mandibular.
12	Tipo I	Infradental: Punto medio de una línea tangente a los márgenes exteriores de las cavidades de los dos dientes incisivos centrales mandibulares.

13 y 14	Tipo II	Infradental lateral: Punto medio de una línea tangente a los márgenes exteriores de las cavidades de los dientes incisivos laterales y caninos.
15 y 16	Tipo II	El punto más inferior del margen del foramen mentoniano.
17 y 18	Tipo II	Punto más posterior del margen anterior de la rama mandibular.
19-25 y 26- 32	<i>Semilandmarks</i>	Serie de puntos equidistantes ubicados a lo largo del borde de la rama mandibular desde el punto más posterosuperior del cóndilo mandibular hasta el punto más posterior del ángulo mandibular.
33-44 45-56	<i>Semilandmarks</i>	Serie de puntos equidistantes ubicados a lo largo del borde inferior del cuerpo mandibular desde el punto más inferior del ángulo mandibular hasta el punto en el que una línea vertical desde la cara distal del canino se cruza con el borde inferior del cuerpo mandibular.

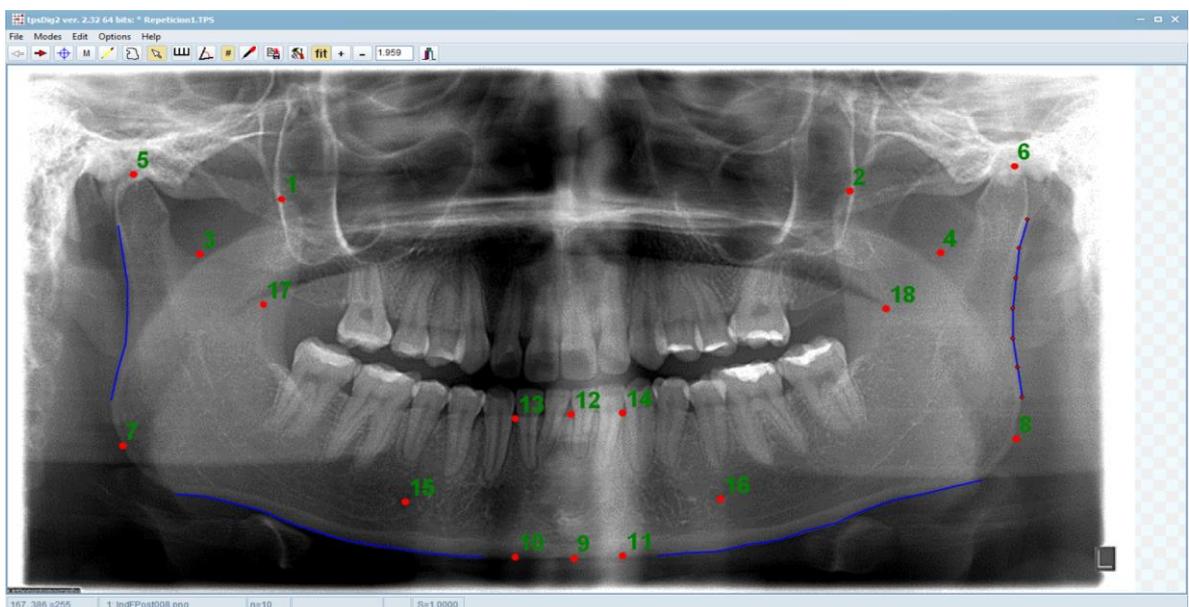


Figura 16. Protocolo de *landmarks* para unicidad digitalizado en una ortopantomografía. Se presentan *landmarks* de tipo I y tipo II, la rama mandibular con siete *semilandmarks* y el borde inferior del cuerpo con 12 *semilandmarks*.

Durante el *landmarking*, uno de los principales inconvenientes fue la ubicación de los *landmarks* 15 y 16 que corresponden al margen inferior de los forámenes mentonianos, para solucionarlo, primero se observaron cada una de las ortopantomografías, se establecieron los tres principales escenarios que se pudieron advertir en ellas y se establecieron los criterios para ubicar los *landmarks* (ver Tabla 7).

Tabla 7. Escenarios observados y solución respecto de la ubicación de los forámenes mentonianos.

Ubicación de los forámenes mentonianos cuando no son visibles	
Escenarios	Solución
Cuando no son visibles.	Se ajusta la claridad y el contraste de la imagen hasta que pueda ser visible (ver Figura 17).
Cuando no es visible a pesar de ajustar la claridad de la imagen, pero se logra observar alguno de los dos forámenes.	Se coloca el foramen mentoniano izquierdo/derecho aproximadamente a la misma altura que el izquierdo/derecho (ver Figura 18).
Cuando no son visibles a pesar de ajustar la claridad y el contraste de la imagen.	Colocar el foramen mentoniano entre los ejes longitudinales de los premolares y por debajo de los ápices como se presenta en la Figura 19 (Fuentes et al., 2017; Fuentes et al., 2014; Thakare et al., 2016).

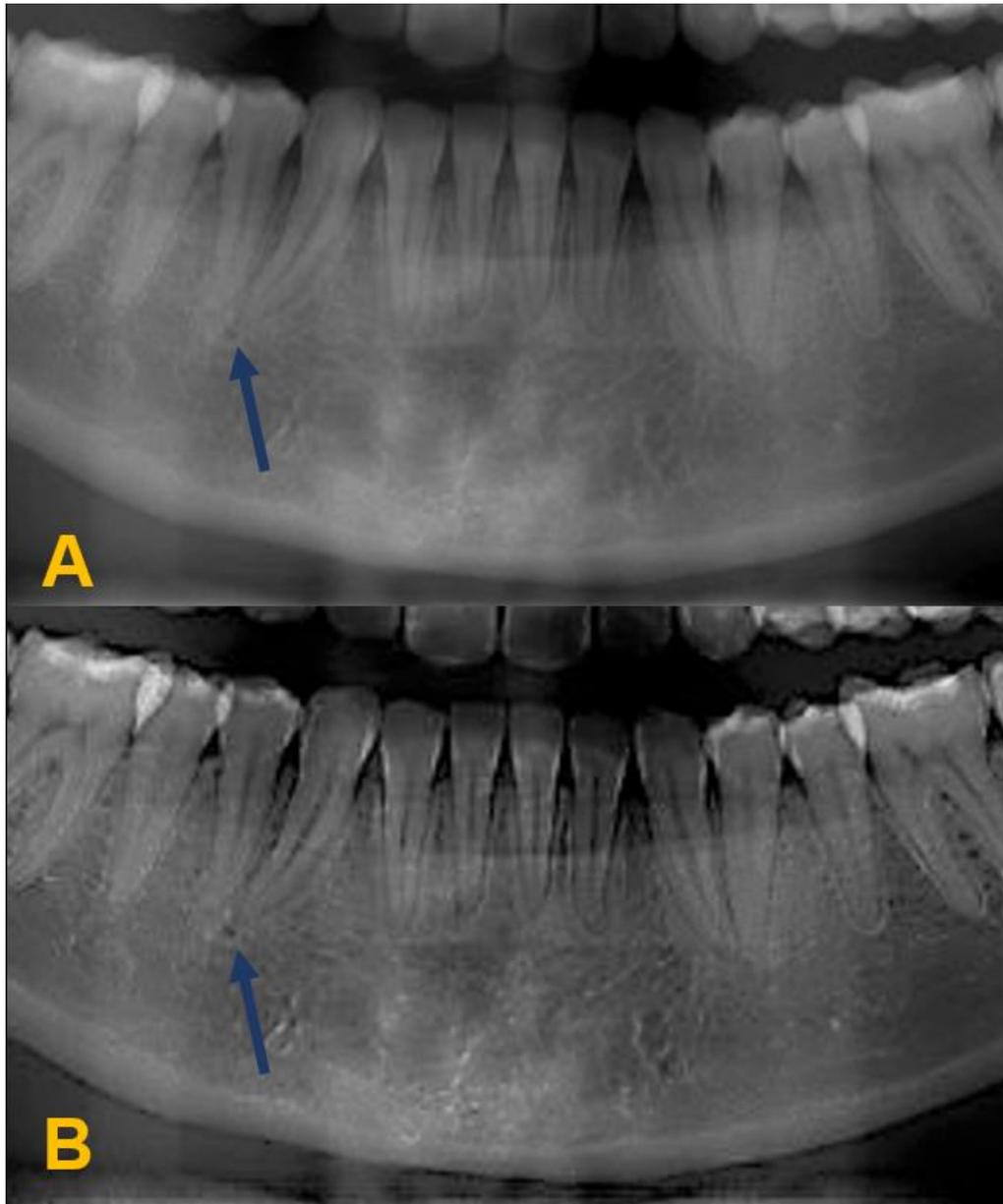


Figura 17. Ajuste de claridad y contraste de la imagen. En la imagen A no se realiza ninguna modificación mientras que en la imagen B se ajusta la claridad de la imagen hasta que el foramen mentoniano es visible.

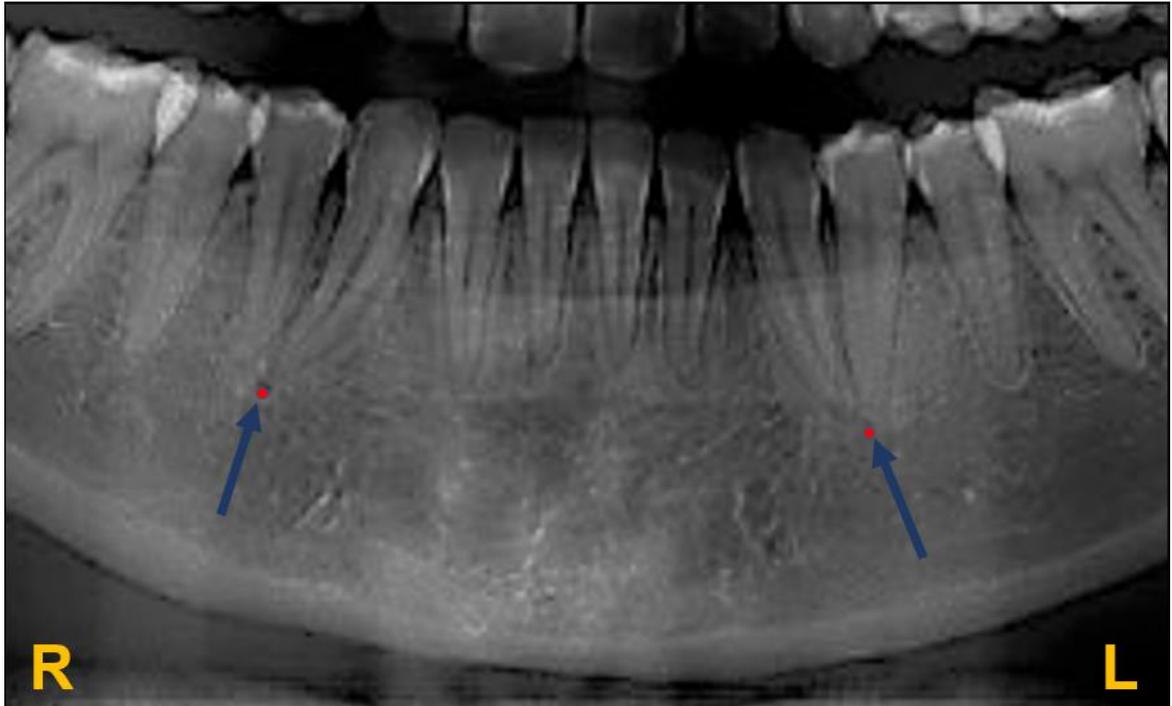


Figura 18. Ubicación del foramen mentoniano izquierdo tomando como referencia el foramen mentoniano derecho. R: *Right* o derecho; L: *Left* o izquierdo.

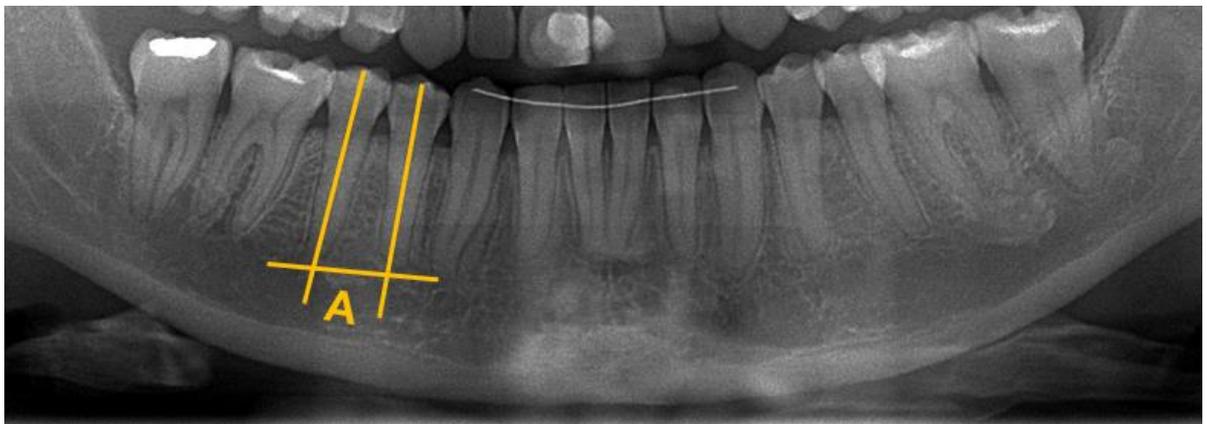


Figura 19. Ubicación del foramen mentoniano cuando no son visibles, tomando como referencia anatómica los premolares. La letra A presenta la ubicación del foramen mentoniano.

Como parte de la obtención de los datos, es necesario corregir el problema de homología que presentan los *semilandmarks* mediante el método de *sliding semilandmarks* por lo que, posterior al *landmarking*, el archivo .tps salvado del *software* tpsDig2 2.32 (Rohlf, 2015) se importó al *software* tpsUtil 1.81 (Rohlf, 2015) para I) aplicar la operación “*Append tps Curve to landmarks*” que permite utilizar la información de las curvas generadas en las ramas y cuerpo mandibular y posteriormente II) la operación “*Make sliders file*” que permitió definir cuáles son los *semilandmarks*, tanto el archivo salvado de la primera operación como en el segundo fueron importados al *software* tpsRelw

versión 1.75 (Rohlf, 2015) para minimizar la variación existente de la forma de cada individuo con una forma promedio mediante el enfoque de distancias de Procrustes.

Métodos de análisis de la investigación

El análisis de la muestra mediante MG está definido por tres etapas: 1) el fenotipado, 2) obtención de la información de la forma y 3) los análisis exploratorios y confirmatorios (Toro-Ibacache et al., 2010), por lo anterior, ya que se han definido los protocolos para el fenotipado de las muestras, la siguiente etapa corresponde a la evaluación del error intraobservador, así como la aplicación de los métodos de análisis multivariantes e inferenciales para la determinación del sexo y de la unicidad.

Error intraobservador para la determinación del sexo

Para evaluar el error intraobservador se aplicó el protocolo de *landmarks* a 10 individuos en 5 ocasiones diferentes, entre las cuales se dejó pasar de 1 a 2 días para evitar memorizar la posición de los *landmarks*.

Como se ha señalado en el Capítulo 1, hay diferentes fuentes de error, en este caso, el error de digitalización fue una fuente que presentó esta investigación puesto que cuando se aplicó el protocolo de *landmarks* (ver Tabla 4) se colocó el No. 4 en el lugar correspondiente al No. 3, por lo que se intercambiaron en el *software* tpsDig2 versión 2.32 (Rohlf, 2015).

Posterior a las digitalizaciones, mediante el *software* RStudio versión 2021.09.0+351 (Allaire, 2021) se evaluó el coeficiente de variación para cada uno de los *landmarks* y *semilandmarks*, el cual corresponde a una medida de dispersión de los datos que se calcula mediante el cociente de la desviación estándar entre la media multiplicado por cien (Shechtman, 2001; Shechtman, 2013), es decir, explica qué tan variable fue la ubicación de un *landmark* o *semilandmark* en las 5 repeticiones que se realizaron con respecto a la media de las 5 repeticiones. Posteriormente, se identificaron aquellos que fueran mayores al 25% (ver Anexo 1) considerando lo mencionado por Shechtman (2001), siendo éstos los *landmarks* 3 (Gonion derecho), 4 (Gonion izquierdo), 5 (Gnasion) y el *semilandmark* 34 (primer *semilandmark* izquierdo del cuerpo mandibular) que forman parte del borde inferior mandibular.

La variación que presentan los *landmarks* y *semilandmark* se deriva de diferentes fuentes de error como la adquisición de las ortopantomografías, la falta de estudios bajo un enfoque de MG y la familiarización de estructuras, *landmarks* y *semilandmarks* (Fruciano, 2017).

Dadas las causas anteriores fue necesario realizar una segunda evaluación de los 10 individuos enfocándose en los *landmarks* y *semilandmark* antes mencionados, la digitalización se realizó en 5 ocasiones, dejando pasar de 1 a 2 días. Estas evaluaciones fueron realizadas ampliando las ortopantomografías para ubicar los *landmarks* 3, 4 y el *semilandmark* 34. Para ello, se estableció que en las imágenes se pudieran observar los incisivos centrales y el borde posterior de la rama mandibular derecho e izquierdo, respectivamente; para ubicar el *landmarks* 5 se indicó que se pudieran observar los segundos premolares inferiores, el arco alveolar y el borde inferior mandibular. Posteriormente, se calculó el coeficiente de variación mediante *RStudio* (Allaire, 2021) y se identificó que los *landmarks* 3 y 4 presentaron un coeficiente de variación superior a 25% (ver Anexo 2), evidenciando que el *landmarks* 3 y 4 son estructuras que por definición son complejas de ubicar, sin embargo, es importante mencionar que este patrón no se presentó en las evaluaciones llevadas a cabo para la determinación de unicidad, ya que estas digitalizaciones fueron realizadas posterior a la realizadas para la determinación del sexo, siendo un factor a considerar debido a la familiarización (Fruciano, 2017) con estos *landmarks*.

Tomando en consideración lo anterior, se puede establecer que el error presentado es de tipo aleatorio, ya que la segunda evaluación propició una disminución de la variación a medida que se fueron realizando las repeticiones, por lo que la prueba óptima de acuerdo con Fruciano (2017) y Menéndez (2017) para evaluar el error de medición fue el ICC, este se calculó mediante el modelo de dos factores de efectos mixtos de una medición para determinar la fuerza del acuerdo entre las cinco repeticiones, así como entre las repeticiones 1:2, 2:3, 3:4 y 4:5 tanto para la primera como para la segunda evaluación (ver Anexo 3).

Error intraobservador para la determinación de unicidad

Para evaluar el error intraobservador se aplicó el protocolo de *landmarks* (ver Tabla 6) a 10 individuos, en 5 ocasiones diferentes, entre las cuales se dejó pasar de 1 a 2 días para evitar memorizar la posición de los *landmarks*. Posterior a las digitalizaciones, mediante el *software RStudio* (Allaire, 2021) se evaluó el coeficiente de variación para cada uno de los *landmarks* y *semilandmarks*, posteriormente, se identificaron aquellos que fueran mayores al 25% (ver Anexo 4) como lo menciona Shechtman (2001), siendo estos los *landmarks* 7 (Gonion derecho), 8 (Gonion izquierdo), 9 (Gnation), 10 (Gnation derecho), 11 (Gnation izquierdo), 12 (Infradental), 13 (Infradental derecho), 14 (Infradental izquierdo), 25 (Último *semilandmark* de la rama mandibular R), 43 (Penúltimo *semilandmark* del cuerpo mandibular R), 44 (Último *semilandmark* del cuerpo mandibular derecho), 55 (Penúltimo *semilandmark* del cuerpo mandibular izquierdo) y 56 (Último *semilandmark* del cuerpo mandibular izquierdo) que forman parte del borde inferior mandibular.

La variación que presentan los *landmarks* y *semilandmarks* se relaciona estrechamente con las diferentes fuentes de error establecidas por la medición para la determinación del sexo y por la naturaleza del protocolo tomado como referencia de Franklin et al. (2007), ya que este protocolo fue aplicado en muestras tridimensionales por lo que su adaptación a muestras bidimensionales representa una fuente de error a considerar (Fruciano, 2017).

Debido a esto se realizó una evaluación de los 10 individuos enfocándose en los *landmarks* y *semilandmarks* antes mencionados, la digitalización se realizó en 5 ocasiones, dejando pasar de 1 a 2 días. Estas evaluaciones fueron realizadas ampliando las ortopantomografías, por lo que para ubicar los *landmarks* 7, 8, *semilandmarks* 25, 43, 44, 55 y 56 se estableció que en las imágenes se pudieran observar los incisivos centrales y el borde posterior de la rama mandibular derecho e izquierdo, respectivamente; para ubicar los *landmarks* 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se estableció que se pudieran observar los segundos premolares inferiores, el arco alveolar y el borde inferior mandibular. Posteriormente, se calculó el coeficiente de variación mediante *RStudio* (Allaire, 2021), teniendo como resultado que ninguno de los *landmarks* y *semilandmarks* antes mencionados presentó un coeficiente de variación mayor a 25%.

Tomando en consideración lo anterior, se puede establecer que el error presentado es de tipo aleatorio, ya que la segunda evaluación propició una disminución de la variación a medida que se fueron realizando las repeticiones, por lo que la prueba óptima de acuerdo con Fruciano (2017) y Menéndez (2017) para evaluar el error de medición fue el ICC, este se calculó mediante el modelo de dos factores de efectos mixtos de una medición para determinar la fuerza del acuerdo entre las cinco repeticiones, así como entre las repeticiones 1:2, 2:3, 3:4 y 4:5 tanto para la primera como para la segunda evaluación (ver Anexo 5).

Ortopantomografías fuera del rango de variación normal

La identificación de individuos fuera del rango de variación normal o *outliers* se llevó a cabo mediante el *software MorphoJ* (Klingenberg, 2011) en la que se realizó una inspección del *dataset* tanto para la muestra de la determinación del sexo como para la de unicidad, con la finalidad de verificar la presencia o ausencia de *outliers* con la herramienta *Find Outliers* y mediante I) la observación del diagrama proporcionado, el cual muestra la desviación que tienen cada uno de las unidades de análisis respecto a la forma promedio y II) la observación de la gráfica, la cual muestra la distribución acumulada de las distancias de las unidades a la forma promedio usando ya sea distancias de Procrustes, que son una medida de la magnitud absoluta de la desviación de la forma o de las distancias de Mahalanobis que son un indicador de qué tan inusual es un individuo respecto a otro en la muestra (Klingenberg, 2011).

Análisis de Componentes Principales

Tanto para la muestra de la determinación del sexo como para la de unicidad fue primordial observar la variación que presentaron estas mediante una serie de análisis en el *software MorphoJ* (Klingenberg, 2011), en el que se realizó un Análisis Generalizado de Procrustes (GPA por sus siglas en inglés) que permitió eliminar los efectos de rotación, traslación y escala de los datos, posteriormente, se generó una matriz de varianza-covarianza a partir de la cual se ejecutó un Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) que permitió observar los componentes principales (PC por sus siglas en inglés) que explican la mayor variación entre las ortopantomografías de la muestra, así como los cambios en su forma.

Regresión Logística

Para realizar la Regresión Logística (LR por sus siglas en inglés) se utilizaron los *pc scores* del PC1, PC2, PC3 y PC4, por lo que se generó una matriz en Microsoft Excel con las variables sexo, PC1, PC2, PC3 y PC4. Para la variable sexo se realizó el reemplazo de Femenino=0 y Masculino=1, posteriormente, la matriz fue importada al *software RStudio* (Allaire, 2021) donde se generó el modelo de LR, ulteriormente, se realizó la predicción del sexo de las ortopantomografías que conforman muestra, considerando que para una probabilidad mayor al 0.5 se clasificó como persona del sexo masculino y menor al 0.5 se clasificó como persona del sexo femenino.

Finalmente, ya con las predicciones generadas en *RStudio* (Allaire, 2021) se realizó una matriz de confusión que permitió determinar qué tan bueno fue el modelo para clasificar a las unidades de análisis, de lo cual se obtuvo el porcentaje de clasificaciones correctas para personas femeninas y masculinas, así como el porcentaje de personas que fueron clasificadas erróneamente.

Determinación del sexo de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense

Se realizó la revisión de las 81 ortopantomografías de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense, algunas de ellas presentaron pérdida de estructuras óseas, por lo que se excluyeron del estudio las siguientes: 03, 06, 07, 11, 23, 24, 25, 27, 28, 32, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 55, 59, 60, 61, 62, 67, 69, 72, 73, 74 y 75.

Con el modelo regresión logística generado se obtienen valores predichos tanto negativos como positivos, por lo que fue necesario calcular la probabilidad de que la persona fuera del sexo femenino o masculino, lo anterior se realizó mediante el *software RStudio* (Allaire, 2021) de tal forma que aquellas ortopantomografías con una probabilidad mayor a 0.5 se clasificaron como masculinas mientras que para aquellos menores del 0.5 se clasificaron como femeninas.

Análisis de conglomerados

Se realizó un análisis de componentes principales para la muestra pretratamiento y otro para la muestra postratamiento, y con los primeros ocho componentes principales que concentraron el 95% de varianza, se ejecutó el análisis de conglomerados en el *software* PAST (Hammer, Ø. et al., 2001) mediante el algoritmo UPGMA con una matriz de distancias euclidianas y 1,000 permutaciones, lo que permitió observar si los grupos formados se mantuvieron constantes a través de las iteraciones esperando que presentaran coincidencias mayores a 80% y la mínima distancia posible para poder establecer clasificaciones correctas.

IV. RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados de los análisis para la determinación del sexo y unicidad.

Determinación de sexo

Error intraobservador

Los valores del ICC y *p-value* para cada ortopantomografía fue 1 y 0, respectivamente, lo cual significa que, conforme a lo establecido por Koo and Li (2016), el acuerdo fue excelente y estadísticamente significativo entre cada observación de las cinco repeticiones tanto para la primera evaluación como para la segunda, es decir, que los *landmarks* y *semilandmarks* fueron colocados aproximadamente en el mismo punto en las cinco repeticiones realizadas.

Respecto al ICC entre las repeticiones para cada ortopantomografía fue 1, es decir, el acuerdo fue excelente (Koo and Li, 2016) y estadísticamente significativo (*p-value* < 0.001), sin embargo, se identificó que las repeticiones 1:2 y 2:3 presentaron valores de *p-values* más grandes, mientras que las repeticiones 3:4 y 4:5 presentaron valores de *p-values* menores, lo cual indica que en las últimas repeticiones el acuerdo es mayor que en las primeras. Un ejemplo de lo anterior son los ICC y *p-values* de la ortopantomografía 10 en las repeticiones 1:2 y 4:5 que se muestra en la Tabla 8.

Sobre las diferencias entre la primera y segunda evaluación se identificó que en la mayoría de las comparaciones entre repeticiones, la segunda evaluación presentó valores de *p-values* menores, sin embargo, en las ortopantomografías 08, 11, 15, 22, 25, 33 y 40 en al menos una de las comparaciones presentaron valores de *p-values* mayores en la segunda evaluación, principalmente en las repeticiones 4:5, indicando que el acuerdo en la segunda evaluación fue más cercano a 0 que en la primera evaluación.

Como se mencionó anteriormente, el acuerdo fue excelente para las repeticiones de cada ortopantomografía, no obstante, los valores de *p-values* son diferentes para cada una de ellas, lo cual implica que el acuerdo fluctúa en valores cercanos a 0 demostrando mayor o menor acuerdo en cada observación, por ejemplo, la ortopantomografía 10 presentó un

acuerdo significativamente menor y la ortopantomografía 32 un acuerdo significativamente mayor respecto a todas las ortopantomografías para evaluar el error de medición. En la siguiente tabla se pueden observar los valores de ICC y *p-values* de las ortopantomografías 10 y 32 para todas las repeticiones (ver Tabla 8).

Tabla 8. Valores de ICC y *p-values* de las ortopantomografías 10 y 32.

Repeticiones	IndFPost010				IndFPost032			
	Primera		Segunda		Primera		Segunda	
	ICC	<i>p-values</i>	ICC	<i>p-values</i>	ICC	<i>p-values</i>	ICC	<i>p-values</i>
General	1	0	1	0	1	0	1	0
1:2	1	2.54E-137	1	1.71E-145	1	2.53E-182	1	1.10E-190
2:3	1	4.92E-138	1	1.95E-146	1	1.71E-202	1	3.56E-204
3:4	1	3.03E-141	1	5.12E-153	1	7.43E-187	1	8.80E-197
4:5	1	4.56E-177	1	2.42E-177	1	2.24E-195	1	8.92E-195

Como se puede observar en la Tabla 8, los ICC para las repeticiones 3:4 y 4:5 son las que presentan valores de *p-value* más concordantes respecto de las repeticiones 1:2 y 2:3, asimismo, la segunda evaluación es estadísticamente más significativa (cerca de 0) que la primera para ambos casos.

Ortopantomografías fuera del rango de variación normal

En la Figura 20 se puede observar a la izquierda un diagrama que muestra en los puntos azules la forma mandibular promedio y en las líneas rojas la desviación que tienen las mandíbulas respecto a esta, en ese sentido, se identificó que el conjunto de datos no presentó ortopantomografías fuera del rango de variación normal derivadas de errores de digitalización. Asimismo, a la derecha del diagrama se observa una gráfica que muestra la distribución acumulada de las distancias de las formas mandibulares de las ortopantomografías a la forma promedio, esto se representa mediante dos curvas, la primera en color azul que indica la curva esperada para una distribución normal

multivariada ajustada a los datos, mientras que la curva roja es la distribución de distancias en el conjunto de los datos.

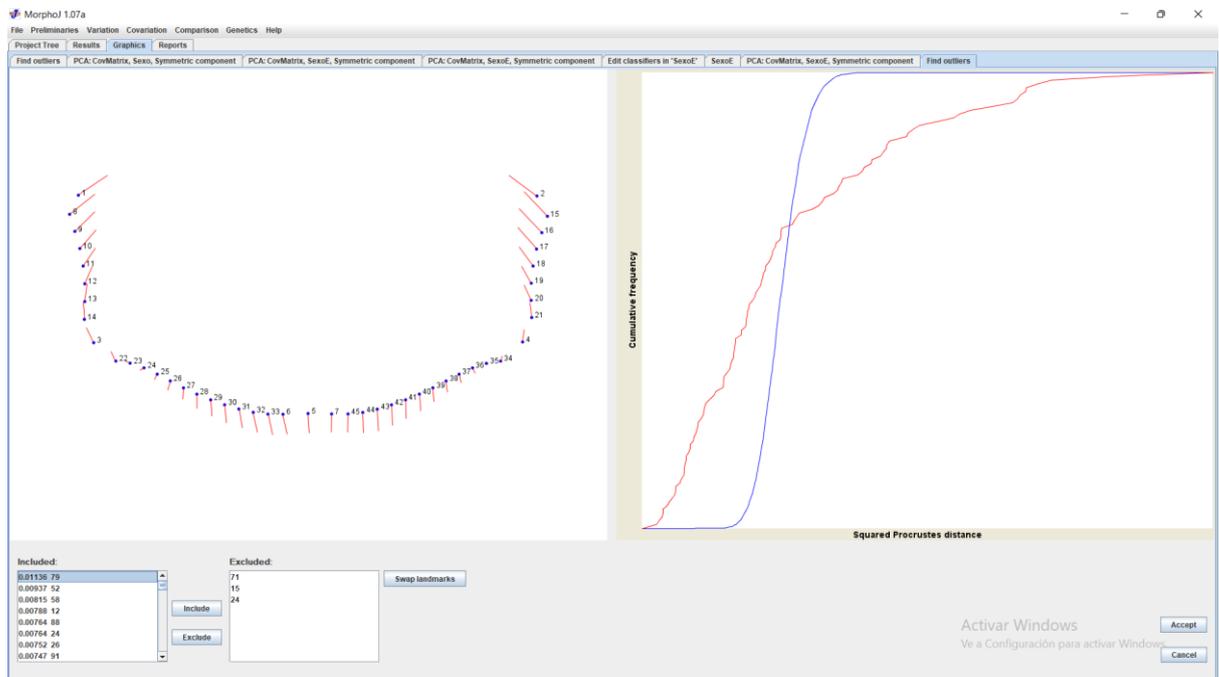


Figura 20. Inspección del conjunto de datos con la herramienta *Find Outliers* en el *software MorphoJ* (Klingenberg, 2011). La distribución de las distancias de las formas mandibulares de las ortopantomografías a la forma mandibular promedio se presenta en distancias de Procrustes al cuadrado, las cuales son una medida de la magnitud absoluta de la desviación de la forma del conjunto de datos analizado.

Sin embargo, al realizar el PCA se identificó que las ortopantomografías IndPost071, IndPost112 e IndPost121 presentaron un comportamiento fuera del rango de variación normal en dos componentes (PC1 y PC2, 83.887% de variación representada), por lo que fueron omitidos para los siguientes análisis. En la Figura 21 se muestra que las ortopantomografías excluidas pertenecen al sexo masculino que, de acuerdo con el comportamiento que se puede observar en el PC2, estos están fuera de la distribución de la muestra a la que pertenecen, inclusive las ortopantomografías IndPost71 y IndPost112 se ubican fuera de la elipse color azul, mientras que la IndPost121 se ubica en el límite de la misma.

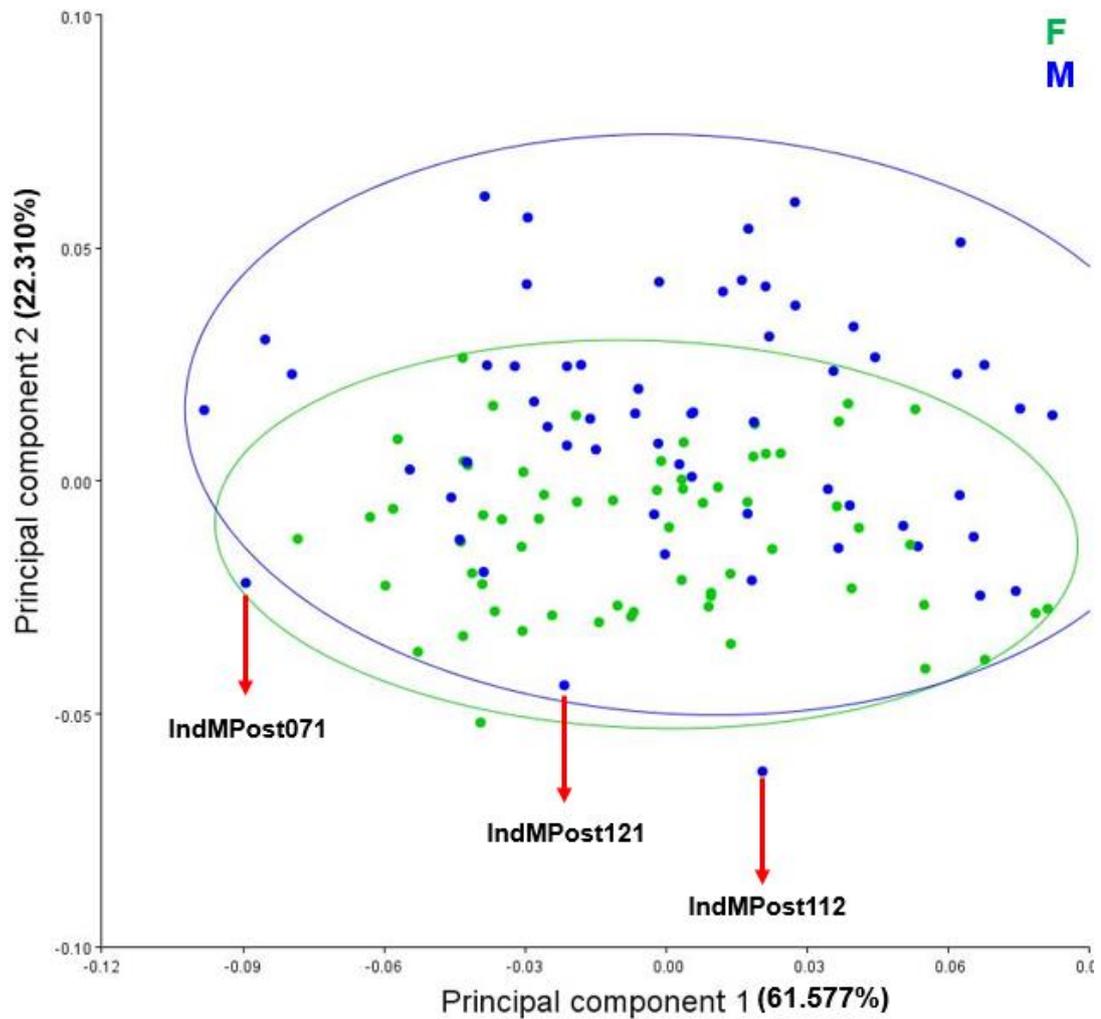


Figura 21. Gráfica del PC1 y PC2 con toda la muestra, en donde se señalan las ortopantomografías fuera del rango de variación normal.

Análisis de Componentes Principales

Del PCA se generaron 43 componentes principales los cuales explican el 100% de la varianza en la muestra, donde el primer componente representó al 61.923% y los primeros cuatro componentes explicaron el 95% de la variabilidad total (ver Tabla 9).

Tabla 9. Absorción de variabilidad de los Componentes Principales.

PCA			
Componentes principales	Valores Propios (Eigenvalues)	% Varianza	% Varianza acumulada
1	0.0015	61.923	61.923
2	0.0005	21.412	83.335
3	0.0002	8.264	91.599
4	0.0001	4.062	95.662
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
43	0.0000	0.000	100.000

En la Figura 22 se presentan los PC1 y PC2 que explican el 83.335% de variabilidad acumulada y los *wireframes* asociados los cambios a lo largo de estos, siendo los cambios de forma en el PC1 aquellos producidos en el cóndilo, la porción superior de la rama mandibular, el ángulo mandibular y la porción media del borde inferior de la mandíbula. Observando que hacia valores positivos el cóndilo se ubicó caudalmente, la porción superior de la rama y el ángulo mandibulares se extienden en el plano horizontal, mientras que la porción media del borde mandibular se orientó cranealmente, y hacia valores negativos el cóndilo se localizó cranealmente, la porción superior de la rama mandibular y el ángulo mandibular se estrechan en el plano horizontal, mientras que la porción media del borde mandibular se ubicó caudalmente.

Por su parte, los cambios de forma asociados al PC2 se centraron en aquellos producidos en el cóndilo que hacia valores positivos se ubicaron cranealmente y hacia valores negativos se orientaron caudalmente.

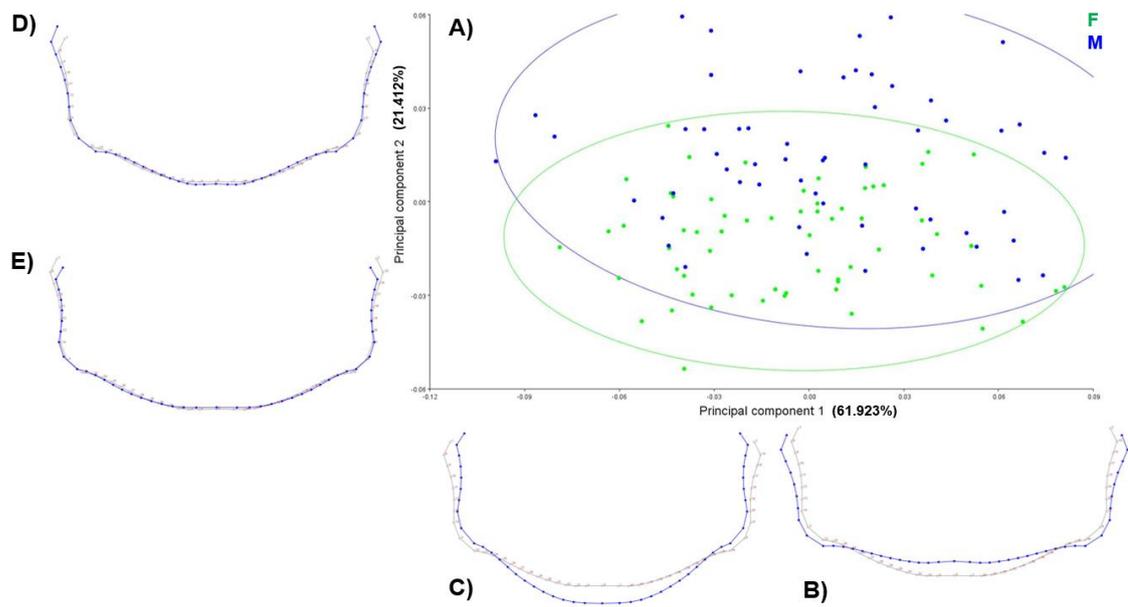


Figura 22. Gráfica del PC1, PC2 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA en donde se muestra el PC1 y PC2; los puntos en color verde representan las ortopantomografías del sexo femenino mientras que el color azul las ortopantomografías del sexo masculinos. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC1 y PC2; la línea gris representa la forma media de la mandíbula en la muestra mientras que la azul representa los cambios producidos en la forma mandibular.

Por otro lado, en las Figuras 23 y 24 se muestran los PC1 y PC3 con una representación de variabilidad acumulada del 70.187%, y los PC2 y PC3 con 29.676% de variabilidad acumulada, así como los *wireframes* asociados a los cambios a lo largo de estos, donde los cambios en la forma mandibular identificados en el PC3 se produjeron en el cóndilo, la porción superior de la rama mandibular, el ángulo mandibular y la porción media del borde inferior de la mandíbula. Observando que hacia valores positivos el cóndilo se ubicó cranealmente, la porción superior de la rama mandibular se estrechó y el ángulo mandibular se extendió en el plano horizontal. Asimismo, la porción media del borde mandibular se localizó cranealmente y hacia valores negativos el cóndilo se ubicó caudalmente, la porción superior de la rama mandibular se extendió y el ángulo mandibular se estrechó en el plano horizontal, además de que la porción media del borde mandibular se ubicó caudalmente.

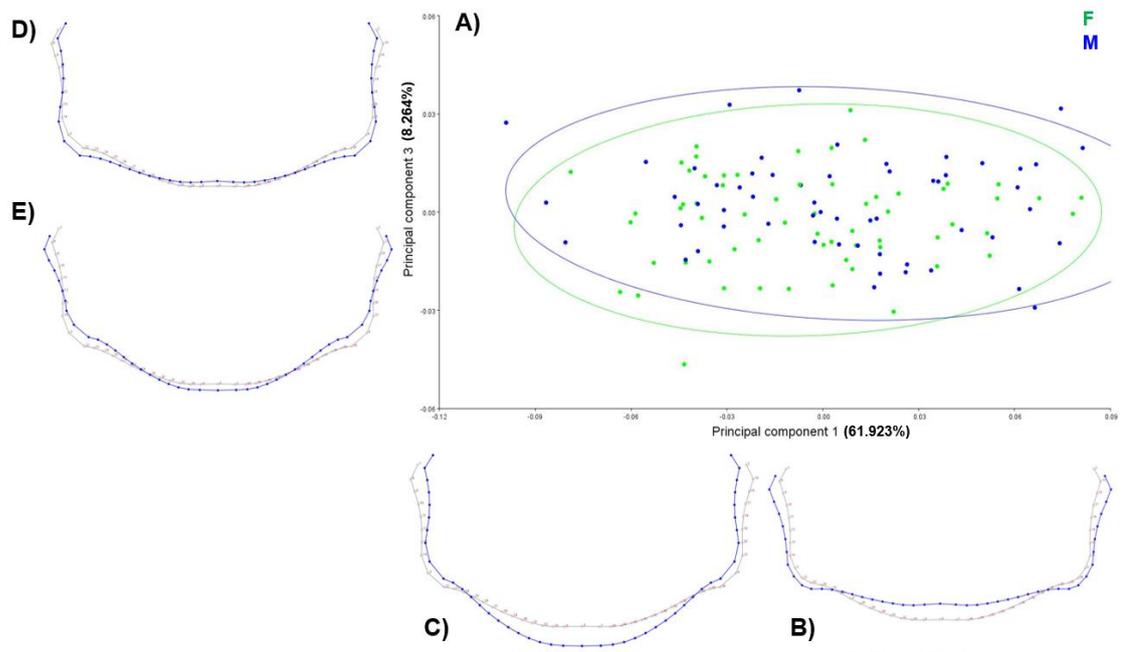


Figura 23. Gráfica del PC1, PC3 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA donde se muestra PC1 y PC3; los puntos en color verde representan las ortopantomografías del sexo femenino mientras que los de color azul las ortopantomografías del sexo masculino. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC1 y PC3; la línea gris representa la forma media de la mandíbula en la muestra mientras que la azul representa los cambios en la forma mandibular.

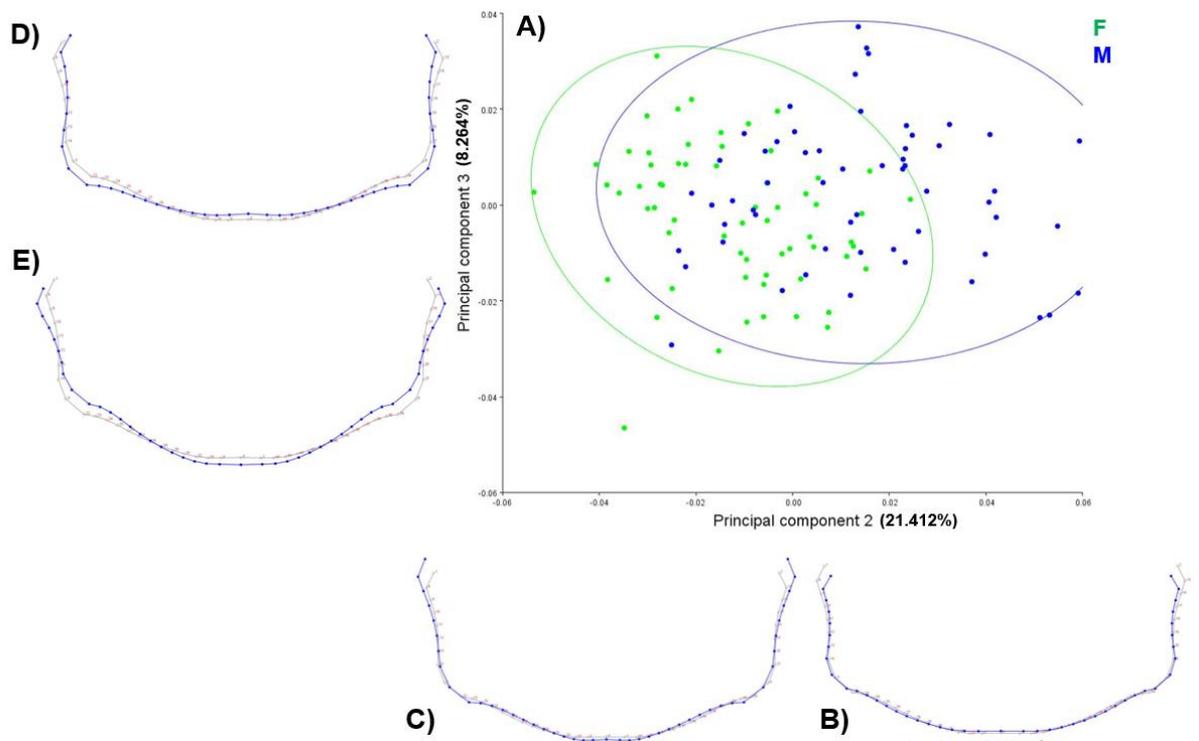


Figura 24. Gráfica del PC2, PC3 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA donde se muestra PC2 y PC3; los puntos en color verde representan las ortopantomografías del sexo femenino mientras que los de color azul las ortopantomografías del sexo masculino. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC2 y PC3; la línea gris muestra la forma media de la mandíbula mientras que la azul representa los cambios en la forma mandibular.

Respecto al sexo, se identificó que las personas del sexo masculino presentaron mayor variación en la forma que las personas del sexo femenino y que, para ambos casos, tanto masculinos como femeninos pueden mostrar formas anchas o estrechas en el plano horizontal y vertical, sin embargo, los femeninos en un plano vertical presentaron una rama mandibular más corta en comparación con los masculinos que mostraron una rama mandibular más alta.

Regresión logística

Se obtuvo una función de probabilidad por medio de una regresión logística, la cual incluye los primeros cuatro componentes principales (PC) que concentran el 95% de variación de la muestra. Con la función se produjo un 79.1666% de clasificaciones correctas totales, un 85.7142% de clasificaciones para individuos femeninos y un 71.9298% de clasificaciones para individuos del sexo masculino como se muestra en la Tabla 10.

$$\text{logit (Probabilidad Sexo)} = -0.06862 + 11.32611 (PC1) + 75.30688 (PC2) + 40.71062 (PC3) + 28.45693 (PC4)$$

Ecuación 1. Función de probabilidad para la determinación del sexo

En la Ecuación 1 y la Figura 25 se puede observar el desglose de los coeficientes generados para la fórmula obtenida, asimismo el valor Z y el respectivo *p-value* que determina si el coeficiente es significativo o no en el modelo, donde se identificó que el coeficiente para el PC1 no es significativo, sin embargo, el *p-value* es cercano a un $\alpha=0.05$, por su parte el coeficiente para el PC2 y PC3 son significativos para el modelo y finalmente, el intercepto y el PC4 no son significativos puesto que sus valores de *p-value* son mayores al 0.05, no obstante, se consideró su inclusión al modelo debido que este produjo el porcentaje mayor de clasificaciones correctas, en comparación con otros modelos más parsimoniosos generados como el producido con el PC2 y PC3. Respecto a la desviación residual, desviación nula y el criterio de información Akaike (AIC) son parámetros que se pueden comparar entre modelos y permiten tomar decisiones sobre qué modelo es óptimo para aplicarlo, donde AIC fue de 121.93 con cinco iteraciones del algoritmo de Fisher para el ajuste del modelo.

```
glm(formula = Sexo ~ PC1 + PC2 + PC3 + PC4, family = "binomial",
    data = Data)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.9318  -0.7635  -0.2154   0.7398   2.5562

Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0.06862    0.23450  -0.293   0.7698
PC1          11.32611    6.24648   1.813   0.0698 .
PC2          75.30688   14.63075   5.147 2.64e-07 ***
PC3          40.71062   18.91565   2.152  0.0314 *
PC4          28.45693   22.60272   1.259   0.2080
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

    Null deviance: 166.06  on 119  degrees of freedom
Residual deviance: 111.93  on 115  degrees of freedom
AIC: 121.93

Number of Fisher scoring iterations: 5
```

Figura 25. Coeficientes generados para el modelo de LR.

Tabla 10. Matriz de confusión generada para la función de probabilidad por medio de una RL.

		Predicción	
		Femeninos	Masculinos
Observación	Femeninos	85.7142% (54)	14.2857% (9)
	Masculinos	28.0701% (16)	71.9298% (41)

En la Tabla 11 se muestra los resultados de la clasificación obtenida para 46 ortopantomografías de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense, considerando que una probabilidad mayor al 0.5 fue clasificada como masculino y menor al 0.5 fue clasificada como femenina, obteniendo un total de 28 femeninos y 18 masculinos.

Tabla 11. Sexo e para las ortopantomografías de la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense.

ID	Probabilidad	Masculino	Femenino
CONA01	0.5356	✓	
CONA02	0.5156	✓	
CONA04	0.9804	✓	
CONA05	0.2116		✓
CONA08	0.0439		✓
CONA09	0.1152		✓
CONA10	0.2210		✓
CONA12	0.1892		✓
CONA13	0.5291	✓	
CONA14	0.3113		✓

CONA15	0.3285		✓
CONA16	0.4595		✓
CONA17	0.4092		✓
CONA18	0.2982		✓
CONA19	0.5439	✓	
CONA20	0.9208	✓	
CONA21	0.6475	✓	
CONA22	0.3459		✓
CONA26	0.1629		✓
CONA29	0.1368		✓
CONA30	0.4278		✓
CONA31	0.1800		✓
CONA33	0.4751		✓
CONA34	0.7547	✓	
CONA36	0.4378		✓
CONA43	0.1631		✓
CONA48	0.3684		✓
CONA50	0.0501		✓
CONA53	0.1953		✓

CONA54	0.6410	✓	
CONA56	0.6935	✓	
CONA57	0.6081	✓	
CONA58	0.8735	✓	
CONA63	0.5485	✓	
CONA64	0.2246		✓
CONA65	0.0611		✓
CONA66	0.1927		✓
CONA68	0.1277		✓
CONA70	0.8678	✓	
CONA71	0.7823	✓	
CONA76	0.0643		✓
CONA77	0.5876	✓	
CONA78	0.2773		✓
CONA79	0.8728	✓	
CONA80	0.9552	✓	
CONA81	0.1243		✓
		18	28
Total		46	

Determinación de la unicidad de la mandíbula

Error intraobservador

En la evaluación del error intraobservador se identificó que el valor del ICC se encontró entre 0.997 a 1 y que el *p-value* para cada ortopantomografía estuvo cercano al 0, lo cual indica que, de acuerdo con Koo and Li (2016), el acuerdo obtenido fue excelente y estadísticamente significativo ($p\text{-value} < 0.001$) entre las observaciones de las cinco repeticiones, tanto para la primera evaluación como para la segunda evaluación, es decir, que los *landmarks* y *semilandmarks* fueron colocados en el mismo punto en las cinco repeticiones realizadas.

Respecto del ICC entre las repeticiones para cada ortopantomografía se identificó que las repeticiones 1:2 y 3:4 presentan valores de *p-values* más grandes, mientras que las repeticiones 2:3 y 4:5 mostraron valores de *p-values* menores, lo cual indica que estas presentaron un acuerdo mayor a diferencia de las demás repeticiones. Un ejemplo de lo anterior son los ICC y *p-values* de las ortopantomografías 10 y 11 en las repeticiones 1:2 y 4:5, así como, 2:3 y 3:4, respectivamente, en las que se presentan los valores de *p-value* más pequeños a diferencia de las otras repeticiones (ver Tabla 12).

Con respecto a las diferencias entre la primera y segunda evaluación se identificó que en la mayoría de las comparaciones entre repeticiones, la segunda evaluación presentó valores de *p-values* menores, sin embargo, en las ortopantomografías 08, 09, 11, 22, 25, 32 y 40 en al menos una de las comparaciones presentaron valores de *p-value* mayores en la segunda evaluación, principalmente entre las repeticiones 2:3 y 4:5.

Cabe mencionar que los valores de *p-values* son diferentes para cada radiografía evaluada, lo cual implica que los valores cercanos a 0 presentan mayor acuerdo en cada observación, por ejemplo, la ortopantomografía 10 presentó un acuerdo significativamente menor y la ortopantomografía 11 un acuerdo significativamente mayor respecto a todas las demás (ver Tabla 12).

Tabla 12. Valores de ICC y *p-values* de las ortopantomografías 10 y 11.

Repeticiones	IndFPost010				IndFPost011			
	Primera		Segunda		Primera		Segunda	
	ICC	<i>p-values</i>	ICC	<i>p-values</i>	ICC	<i>p-values</i>	ICC	<i>p-values</i>
General	0.997	0	0.999	0	1	0	1	0
1:2	1	2.07E-179	1	1.18E-188	1	6.11E-204	1	8.18E-213
2:3	0.992	4.98E-102	0.999	1.46E-146	1	2.23E-234	1	6.30E-232
3:4	0.993	3.09E-106	0.999	5.53E-152	1	4.00E-207	1	1.24E-219
4:5	1	1.50E-193	1	4.75E-216	1	3.41E-231	1	2.59E-208

Ortopantomografías fuera del rango de variación normal

En la Figura 26 se puede observar a la izquierda un diagrama que muestra en los puntos azules la forma mandibular promedio y en las líneas rojas la desviación que tienen las ortopantomografías respecto a esta, donde se identificó como *outlier* a la radiografía IndFPost78 (referida con el número 77 en la Figura 26), por lo que fue omitida para los siguientes análisis. Asimismo, a la derecha del diagrama se observa una gráfica que muestra la distribución acumulada de las distancias de las personas a la forma promedio, siendo representadas mediante dos curvas, la primera en color azul que indica la curva esperada para una distribución normal multivariada ajustada a los datos, mientras que la curva roja hace alusión a la distribución de las distancias en el conjunto de los datos.

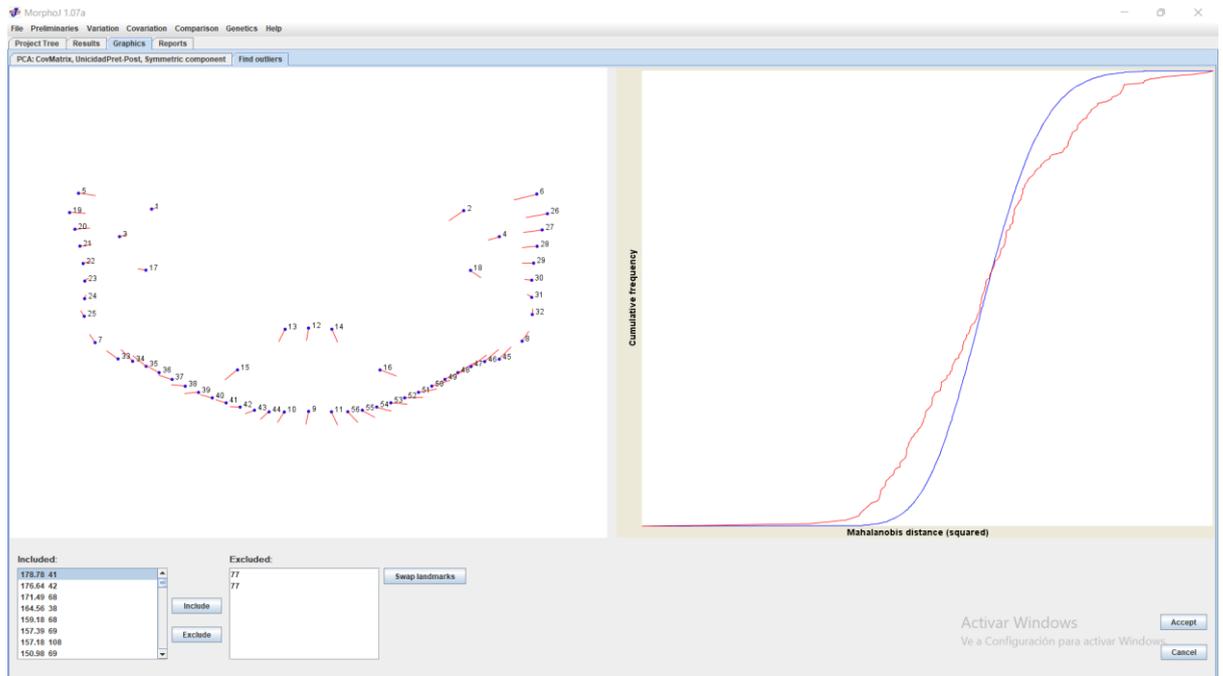


Figura 26. Inspección del conjunto de datos con la herramienta *Find Outliers* en el software *MorphoJ* (Klingenberg, 2011). La distribución de las distancias de las formas mandibulares de las ortopantomografías a la forma mandibular promedio se presenta en distancias de Mahalanobis, las cuales proveen un indicador de qué tan inusual es un individuo en relación con otros en una muestra.

Análisis de Componentes Principales

Del PCA se generaron 54 componentes principales los cuales explican el 100% de la varianza en la muestra, donde el primer componente explicó el 55.64% y los primeros ocho componentes un 95% de la variabilidad total como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Absorción de variabilidad de los Componentes Principales

PCA			
Componentes principales	Valores Propios (Eigenvalues)	% Varianza	% Varianza acumulada
1	0.001882	55.640	55.640
2	0.000743	21.980	77.620
3	0.000227	6.711	84.331
4	0.000142	4.223	88.554

5	0.000074	2.208	90.762
6	0.000057	1.688	92.449
7	0.000055	1.645	94.095
8	0.000045	1.331	95.425
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
54	0.0000	0.000	100.000

En la Figura 27 se presentan los PC1 y PC2 que explican el 77.62% de variabilidad acumulada y los *wireframes* asociados los cambios a lo largo de estos. Primero, se identificó que la distribución tanto de la muestra pretratamiento como de la postratamiento se superpusieron, sin embargo, la variación que presentó la pretratamiento fue menor que la postratamiento, después se visibilizaron los cambios de la forma a lo largo de los componentes principales, siendo en el PC1 producidos en el cóndilo, el proceso coronoides, la porción superior de la rama mandibular, el punto más posterior del margen anterior de la rama mandibular, el ángulo mandibular, el borde alveolar, el borde inferior de la mandíbula y los forámenes mentoniano. Observando que hacia valores positivos, el cóndilo se ubicó caudalmente, por su parte la porción superior de la rama mandibular, el proceso coronoides, el punto más posterior del margen anterior de la rama mandibular y el ángulo mandibular se extendieron en el plano horizontal, mientras la porción media del borde alveolar, el borde inferior de la mandíbula así como los forámenes mentonianos se localizaron cranealmente y hacia valores negativos el cóndilo se ubicó cranealmente, la porción superior de la rama mandibular, el proceso coronoides, el punto más posterior del margen anterior de la rama mandibular y el ángulo mandibular se estrecharon en el plano horizontal, mientras que la porción media del borde alveolar, el borde inferior de la mandíbula así como los forámenes mentonianos se localizaron caudalmente.

Por su parte, los cambios de forma asociados al PC2 se produjeron en el cóndilo, el proceso coronoides y el punto más posterior del margen anterior de la rama mandibular

que hacia valores positivos se orientaron cranealmente y hacia valores negativos se ubicaron caudalmente.

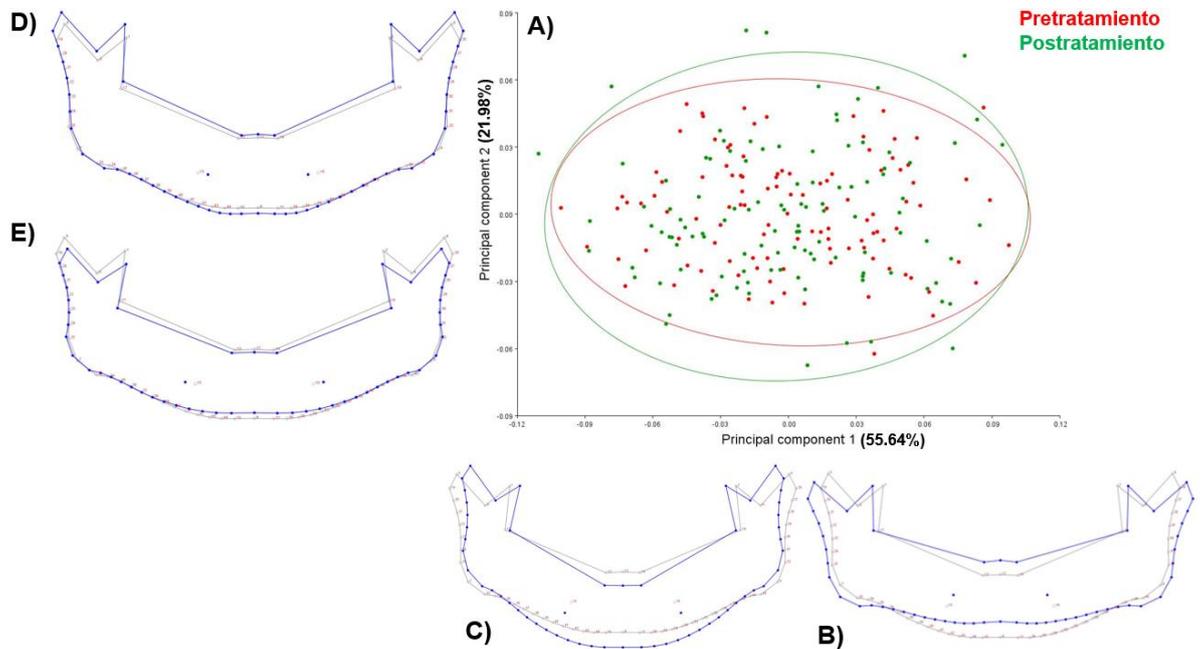


Figura 27. Gráfica del PC1, PC2 y los *wireframes* asociados a los cambios de forma producidos a lo largo de cada PC. A) Gráfica del PCA en donde se muestra el PC1 y PC2; los puntos en color rojo representan las radiografías pretratamiento mientras que los verdes las radiografías postratamiento. Las figuras de B) a D) representan los cambios a lo largo de los PC1 y PC2; la línea gris muestra la forma media de la mandíbula mientras que la azul representa los cambios producidos en la forma mandibular.

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados fue realizado con los primeros ocho componentes principales que concentraron el 95% de varianza acumulada, del cual se generó un dendrograma (ver Anexo 6) en el que se observaron nueve grupos, donde se unieron tanto la radiografía pretratamiento como la postratamiento de un mismo registro con distancias entre 0.012 a 0.050 (29 a 53% de permutaciones) y 59 grupos entre muestras pretratamiento y postratamiento de diferentes registros con una distancia 0.012 a 0.040 (3 a 61% de permutaciones), sin embargo, estos grupos no constituyen clasificaciones correctas, grupos miméticos y externos entre las muestras pretratamiento y postratamiento, ya que presentaron un porcentaje de iteraciones por debajo del estándar al 80% y la mínima distancia, sin embargo, de forma general se puede señalar que se presentaron grupos donde las radiografías pretratamiento y postratamiento se agruparon,

asimismo se identificaron grupos entre las radiografías pretratamiento y grupos en las radiografías postratamiento.

Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados tanto para la muestra pretratamiento (ver Anexo 7) como para el postratamiento (ver Anexo 8) con los primeros ocho componentes principales que concentraron el 95% de varianza acumulada. Respecto a la muestra pretratamiento se generó un dendrograma en el que se crearon 36 grupos con distancias entre 0.013 a 0.040 que van de 2 a 58% de permutaciones, mientras que para la muestra postratamiento se crearon 39 grupos con distancias entre 0.013 a 0.044 (2 a 76% de permutaciones), sin embargo, estos grupos no constituyen grupos miméticos, ya que presentaron un porcentaje de iteraciones por debajo del 85% y la mínima distancia.

V. DISCUSIÓN

Error intraobservador

La principal implicación de no evaluar el error de medición es establecer que la variación presentada en las personas es de origen biológico cuando realmente no lo es (Fruciano, 2017; Menéndez, 2016). Sin embargo, diversas investigaciones tanto de morfometría clásica (Nagaraj et al., 2016; Giles, 1964) como de morfometría geométrica (Oettlé, 2005; 2009) han optado por evitar su evaluación y lo cierto es que, aunque se reconoce que la morfometría geométrica presenta menor error de medición que la morfometría clásica (Arnqvist & Martensson, 1998) es necesario evaluarlo ya que nos enfrentamos al estudio de la variación de la forma dentro de una misma población y entre personas.

En cuanto a las investigaciones en las que se calcula el error de medición, estas han presentado diferentes formas de evaluarlo como la de Franklin et al. (2007) quien evaluó el dimorfismo sexual en la mandíbula mediante la aplicación de morfometría geométrica y la evaluación del error de medición se realizó mediante la observación de los gráficos de los *scores* de los componentes principales producto de las repeticiones generadas, asimismo, se ha evaluado el error de medición mediante ANOVA de Procrustes (Nuzzolese et al., 2019), también mediante la observación de la varianza entre cada medición y graficándola y/o un análisis de variación canónica para conocer las diferencias (Jasso, 2019 y Ortiz, 2020), finalmente, Menéndez (2017) y Kieser et al., (2007) lo han evaluado mediante el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC por sus siglas en inglés), el cual fue aplicado en la presente investigación.

En este estudio, los *landmarks* y *semilandmarks* que presentaron mayor error de medición corresponden a gonion, gnation y *semilandmarks* que forman parte del borde inferior mandibular y se localizan en bordes óseos, complicando su ubicación como se reporta en estudios con cráneos 3D en los cuales los *landmarks* y *semilandmarks* que presentaron mayor error de medición se ubicaron en el neurocráneo por ser una superficie esférica (Barbeito-Andrés et al., 2012); así como, el punto más lateral de la órbita y el temporomandibular (Menéndez, 2017) ya que se ubican en un bordes y procesos óseos a diferencia de puntos claramente distinguibles como aquellos donde convergen suturas.

Es importante tomar en consideración que el error de medición es multicausal, por lo que no únicamente se puede atribuir a que las estructuras son superficies esféricas o curvas, sino que la variación que presentan los *landmarks* y *semilandmarks* se deriva de diferentes fuentes de error como la adquisición de las ortopantomografías, la falta de estudios bajo un enfoque de morfometría geométrica, la experiencia de la investigadora y la familiarización con estructuras, *landmarks* y *semilandmarks*.

En primera instancia, el error causado por la posición en que las ortopantomografías son tomadas condiciona la visualización de ciertas estructuras como gnation, gnation laterales y el punto más posterior del ángulo mandibular que no se distinguen en algunos casos donde la rama mandibular se observa recta.

Aunado a lo anterior, la toma de ortopantomografías se deriva en la adquisición imágenes 2D de estructuras 3D, lo cual provoca magnificación, presencia de artefactos y la visualización de tejidos blandos (Stabulas-Savage, 2019; Whaites & Drage, 2021), asimismo, la baja calidad de la imagen debido a la alta tensión y la corriente de los equipos de rayos X provoca un contraste deficiente en bordes como el inferior del cuerpo mandibular y, por ende, pérdida de la continuidad de la zona media complicando la repetibilidad en la puesta de *landmarks* como gnation, gnation laterales y *semilandmarks*.

Otra fuente de error importante es la falta de estudios de determinación del sexo, así como unicidad bajo un enfoque de morfometría geométrica y con ello, una ausencia de protocolos de *landmarks* y *semilandmarks* con sus definiciones, sin referencias gráficas como sucede en el estudio de Nuzzolese et al. (2019) y Franklin et al. (2007) que mencionan los *landmarks* y *semilandmarks* utilizados, sin embargo, en su mayoría no definen su ubicación y tampoco proporciona una imagen clara de los mismo, lo cual representó un problema para colocar los puntos ya que si bien los *landmarks* son homólogos, discretos y repetibles, lo cierto es que la definición de gnation, gnation laterales, *semilandmarks* de la rama y borde inferior mandibular no necesariamente proporcionan una descripción precisa.

De lo anterior, se desprende el error por falta de la familiarización que se tuvo con las estructuras, *landmarks* y *semilandmarks* establecidos en los protocolos, la cual se puede definir como la lectura, comprensión e inmersión en los datos para posteriormente llevar a cabo la recolección y análisis (Braun and Clarke, 2008; Kamnikar et al., 2018).

Dadas las causas anteriores, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura, la digitalización de las ortopantomografías en cinco ocasiones y se efectuó una segunda evaluación de los *landmarks* y *semilandmarks* que presentaron mayor variación, con el fin de reducir el error de medición.

La referencia teórica se llevó a cabo con la finalidad de obtener una descripción, referencia gráfica de *landmarks* y *semilandmarks* previa a la digitalización de las ortopantomografías, pues se ha visto que contribuye a familiarizarse con las estructuras de tal forma que la puesta de los puntos sea repetible, por ejemplo, Kamnikar et al. (2018) para un estudio morfoscóptico en cráneos se enfocó en determinar la herramienta que proporciona un menor error de medición para evaluar los rasgos, si un protocolo con una descripción tradicional de los rasgos o una interfaz con imágenes de los éstos, descripción detallada y estados, observando que ésta proporcionó un menor error de medición por el detalle de las imágenes y descripciones proporcionadas por las interfaz.

Respecto a la digitalización de las ortopantomografías en cinco repeticiones los resultados arrojaron que la variación de los individuos fue disminuyendo conforme pasó el tiempo, por lo que las repeticiones 4 y 5 presentaron menor variación en comparación con las primeras repeticiones, asimismo, que en la segunda evaluación en los *landmarks* y *semilandmarks* se observó menor variación tras realizar un ajuste metodológico de maximización de la imagen que contribuyó a la disminución del error, lo cual fue observado en el estudio de Jasso (2019), quien realizó dos pruebas de error (por lo tanto, dos evaluaciones) y concluyó que la variación existente entre las repeticiones va disminuyendo a medida que se acerca a la repetición 5 puesto que ya hay todo un proceso de familiarización con las estructuras, asimismo que la segunda prueba de error permitió un mayor manejo del protocolo que se aplicado.

Determinación del sexo

Los estudios basados en morfometría geométrica relacionados con la determinación del sexo han sido descriptivos, ya que se han enfocado en la evaluación del dimorfismo sexual (Nuzzolese et al., 2019; Nuzzolese et al., 2012; Franklin et al., 2007) y no en la predicción de este como sí ha sido reportado en investigaciones basadas en morfometría

clásica en diversos países y también en el contexto mexicano (Lagunas, 1974; Escorcía, 2008; Álvarez et al., 2017). Por lo anterior, la presente discusión versará en términos del dimorfismo sexual y también en el modelo generado para la determinación del sexo.

En cuanto a la forma mandibular de la muestra, se observó que tanto personas del sexo masculino como femenino presentaron formas anchas y estrechas en el plano horizontal y vertical, sin embargo, los femeninos en un plano vertical mostraron formas más alargadas debido a que la porción media del borde inferior mandibular se desplazó caudalmente, también las ramas mandibulares fueron más cortas, hallazgos que Nuzzolese et al. (2019; 2012) reportó en ortopantomografías y que Franklin et al. (2007) destacó en una vista lateral en muestras 3D, asimismo, se documentó que las ramas mandibulares se estrecharon, lo cual discrepa con las observaciones de Nuzzolese et al. (2019; 2012), Franklin et al. (2007) y Mendes et al. (2021) puesto que reportan que las ramas mandibulares se extienden.

Asimismo, esta investigación arrojó que la forma mandibular de los individuos masculinos presentan mayor variación que los femeninos traduciéndose en un porcentaje menor de clasificaciones correctas, este hallazgo ha sido reportado en investigaciones llevadas a cabo tanto en métodos basados en morfometría clásica y morfometría geométrica por Nuzzolese et al. (2019), Franklin et al. (2007; 2008), Oettlé et al. (2005; 2009) y Pretorius et al. (2006) donde mencionan que los porcentajes de clasificaciones correctas son mayores en personas del sexo femenino que en masculinos ya que estos presentan formas tanto anchas y cortas así como estrechas y alargadas; sin embargo, otros estudios han obtenido porcentajes de clasificaciones correctas mayores en individuos masculinos (Hu et al., 2006; Aspalilah et al., 2022).

Respecto el modelo presentado en esta investigación, es importante mencionar que produjo un 79.1666% de clasificaciones correctas totales, porcentaje superior al reportado por Álvarez et al. (2017) en el que para una muestra contemporánea de la Ciudad de México obtuvo un 76.7% y 78.7% con dos y 12 variables, respectivamente, sin embargo, para una muestra de origen otomí procedente de la localidad de Santa María Xiagui del Alfajayucan, Hidalgo, se obtuvo hasta un 84% con tres variables. En ese sentido, esta investigación presentó porcentajes similares a los reportados por Escorcía (2008) en población Hidalguense ya que documentó hasta un 77.6% y 81.59% de

clasificaciones con las mediciones de la altura de la rama y la anchura bicondilar, así como con siete mediciones, respectivamente. En adición, el estudio llevado a cabo por Lagunas (1974) reportó hasta un 81.59% de clasificaciones, sin embargo, aunque esto se traduce en que el modelo presentado tiene un poder de discriminación mayor que el de esta investigación, se pueden mencionar al menos dos diferencias metodológicas entre Lagunas (1974) y esta investigación: 1) la muestra utilizada para realizar el modelo y 2) el análisis aplicado para generar las funciones.

Respecto a la primera diferencia, la muestra con la que se calcula la función discriminante en el estudio de Lagunas (1974) es previamente sexada morfoscópicamente mediante elementos craneales y postcraneales, problema metodológico que ha sido reportado por Pons (1955), ya que las funciones discriminantes deben calcularse a partir de muestras de sexo conocido ya que las diferencias entre los caracteres analizados de las mandíbulas son mayores a los de la clasificación previa que tienen a disminuir la variación, provocando error en el sexado porque la variación observada entre las personas de la muestra no es necesariamente biológica sino producto de la perspectiva y experiencia que tiene la evaluadora o el evaluador (Christensen et al. 2019; Fruciano, 2017). Así conociendo las implicaciones es que otros autores como Álvarez et al., (2017) en población mexicana, así como Giles (1964), Walker (2008), Franklin (2008), Nuzzolese et al. (2012) y Nuzzolese et al. (2019) en otras poblaciones y en esta investigación concuerdan y han hecho uso de muestras de sexo conocido para evitar errores que comprometan la predicción del sexo.

La segunda diferencia se relaciona con el análisis aplicado para generar las funciones propuestas para la determinación del sexo. El análisis lineal discriminante y la regresión logística son modelos de clasificación y predicción que permiten en este caso determinar si una persona es del sexo femenino o masculino, sin embargo, sus diferencias radican en los métodos de estimación del modelo, así como los supuestos que debe cumplir la muestra para aplicar el análisis, es decir, que los datos presenten una distribución normal multivariante, homogeneidad de varianzas e independencia de variables (Antonogeorgos, et al., 2009); estos supuestos se evalúan mediante pruebas estadísticas, sin embargo, en estudios como el de Lagunas (1974), Giles (1964), Walker (2008), Franklin (2008) y Vodanovic et al. (2006) no se documenta la aplicación de pruebas para determinar si los datos son normales teniendo en cuenta que la variación biológica depende de diversos

factores como la variación normal, anomalías, patologías y marcas de actividad por lo que no necesariamente va a cumplir con este supuesto (Walker, 2008), aunado a lo anterior, no se tiene garantía de que las variables predictoras sean independientes entre sí pues tampoco se realizan pruebas que permitan observar si existe multicolinealidad entre las variables. Dado lo anterior, en esta investigación se implementó el modelo de regresión logística ya que es óptima para la predicción de variables dicotómicas como el sexo, sus supuestos no implican la distribución normal de la muestra y se ha documentado que proporciona los porcentajes de clasificaciones correctas más altos en comparación con modelos lineales y cuadráticos (Walker, 2008).

Finalmente, como se mencionó anteriormente, las investigaciones de morfometría clásica señaladas no reportaron pruebas estadísticas encaminadas a eliminar la multicolinealidad de las variables, resultando en una ecuación inestable y de resultados difíciles de predecir (Huang, et al., 2020), por lo tanto, tomando en consideración estas consecuencias es que la presente investigación implementó el Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés) como un método para eliminar la multicolinealidad ya que genera variables ortogonales a partir de las originales (Zelditch et al., 2004), permitiendo la independencia de variables y un número menor de ellas para el cálculo de la función, concordando con Nuzzolese et al. (2019) en la implementación de este análisis pues si bien no generó funciones discriminantes lo que sí es que su aplicación permitió optimizar las clasificaciones correctas con 10 componentes principales a partir de 50 variables.

Respecto a lo reportado para otras poblaciones, el porcentaje de clasificaciones correctas alcanzado en la presente investigación es menor a los obtenidos por Giles (1964), quien para población afrodescendiente y ancestría europea obtuvo hasta un 84.9% con seis variables de las ocho que evaluó, estableciendo que el dimorfismo sexual supera la ancestría, sin embargo, como ya se ha revisado a lo largo de esta discusión los resultados obtenidos pueden variar incluso dentro de la misma población como reportó Álvarez et al. (2017) para población mexicana. Franklin (2008) igualmente superó los porcentajes de clasificación del presente estudio, puesto que reportó, para población africana, hasta un 82.7% con la altura del proceso coronoides, altura de la rama, longitud máxima mandibular y la amplitud bigonial. En este marco, un estudio realizado en población croata permitió obtener porcentajes de clasificación superiores a 90% con las 18 mediciones evaluadas, sin embargo, este estudio al igual que el de Lagunas (1974)

evaluaron previamente la muestra y posteriormente calcularon las funciones discriminantes.

Unicidad de la mandíbula

De los resultados obtenidos sobre el dendrograma, sí se generaron grupos, sin embargo, no constituyeron clasificaciones correctas, grupos miméticos y/o externos debido a que presentaron porcentajes de permutaciones por debajo del estándar al 80% y la mínima distancia, por lo anterior, la siguiente discusión versará sobre los aspectos observados de la variación observada en la presente investigación: 1) la variación asociada al tratamiento de ortodoncia, 2) variación provocada por la toma de la radiografía y 3) variación de la muestra pretratamiento y postratamiento.

Para el primer punto de discusión se pueden mencionar al menos tres casos de menor a mayor variación observada debido a los cambios producidos por el tratamiento de ortodoncia.

En las ortopantomografías de las personas con una variación menor se identificaron cambios relacionados a la primera fase del tratamiento que corresponde a la posición de los órganos dentales que mediante la aplicación de una presión prolongada sobre ellos (Proffit et al., 2013; Cobourne & DiBiase, 2010), provocó la modificación de posición de los dientes al remodelarse el hueso de los alvéolos dentales, afectando la posición de los *landmarks* 12, 13 y 14 ubicados en el arco alveolar; y no únicamente estos, sino también en superficies óseas de ambos lados de la articulación temporomandibular ya que esta presión generada con el tratamiento influyó en el patrón de aposición y reabsorción óseas en puntos alejados de la dentición.

El segundo caso de variación se relaciona con casos de apiñamiento de los dientes anteriores, en los que se recurrió a la extracción de los primeros premolares para conseguir espacio y que los incisivos pudieran ser alineados y nivelados (Proffit et al., 2013), por lo que como parte de esta fase fue necesario retraer los caninos hacia los espacios obtenidos posteriores de extracción, en ese sentido, se presentó la remodelación de los alvéolos de los dientes anteriores y premolares, afectando la posición de los *landmarks* 15 y 16 que corresponden a los forámenes mentonianos ya que como

referencia para su ubicación se utilizan ambos premolares (Ver Tabla 7) (Fuentes et al., 2017; Fuentes et al., 2014; Thakare et al., 2016).

Finalmente, el último grado de variación observada fue resultado de un tratamiento quirúrgico conocido como cirugía ortognática realizada por la presencia de prognatismo mandibular, esto es más evidente debido a la presencia de aditamentos como los tornillos de fijación en el cuerpo de la mandíbula, los cuales afectaron dimensional y morfológicamente la estructura mandibular (Proffit et al., 2013), por ejemplo, en la ortopantomografía B) de la Figura 28, los *semilandmarks* que forman parte del cuerpo mandibular de la ortopantomografía en la porción derecha son ubicados en una concavidad mayor que en la ortopantomografía A).

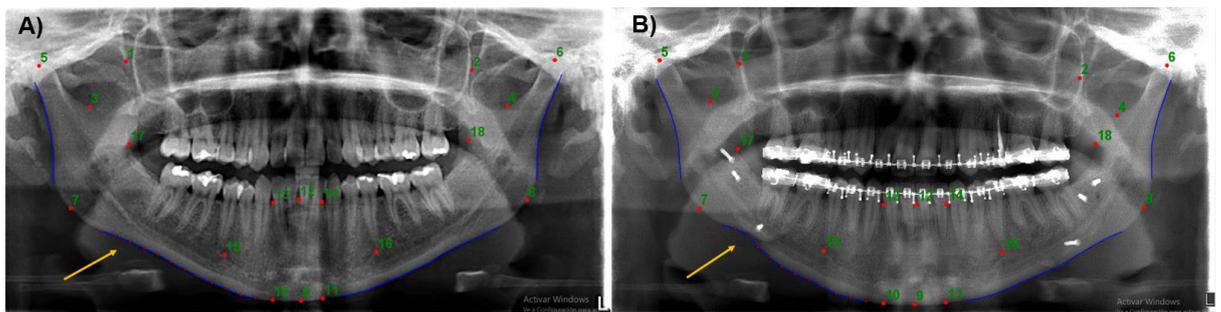


Figura 28. Digitalización de ortopantomografías pretratamiento (A) y postratamiento (B) del registro 39 de la muestra.

A pesar de que los cambios asociados al tratamiento de ortodoncia influenciaron en gran medida la variación que presentaron las ortopantomografías; existe otro factor importante que también debe considerarse y es sobre la toma de radiografías, por dos principales razones 1) la adquisición de las radiografías y 2) los parámetros de kilovoltaje y miliamperaje.

Primero, las desventajas de las ortopantomografías han sido reportadas por Stabulas-Savage (2019) y Whaites y Drage (2021), algunas son que, se presenta una magnificación debido a distorsión vertical y horizontal, aunado a la presencia de artefactos y la superposición de los tejidos blandos, estos problemas fueron observados en la presente investigación, lo cual propició un *landmarking* que pudo maximizar la variación presentada entre las radiografías pretratamiento y postratamiento de la misma persona. Por ejemplo, en la Figura 29 se muestra que el proceso coronoides no es totalmente visible debido a un artefacto radiopaco que corresponde al dorso de la lengua.

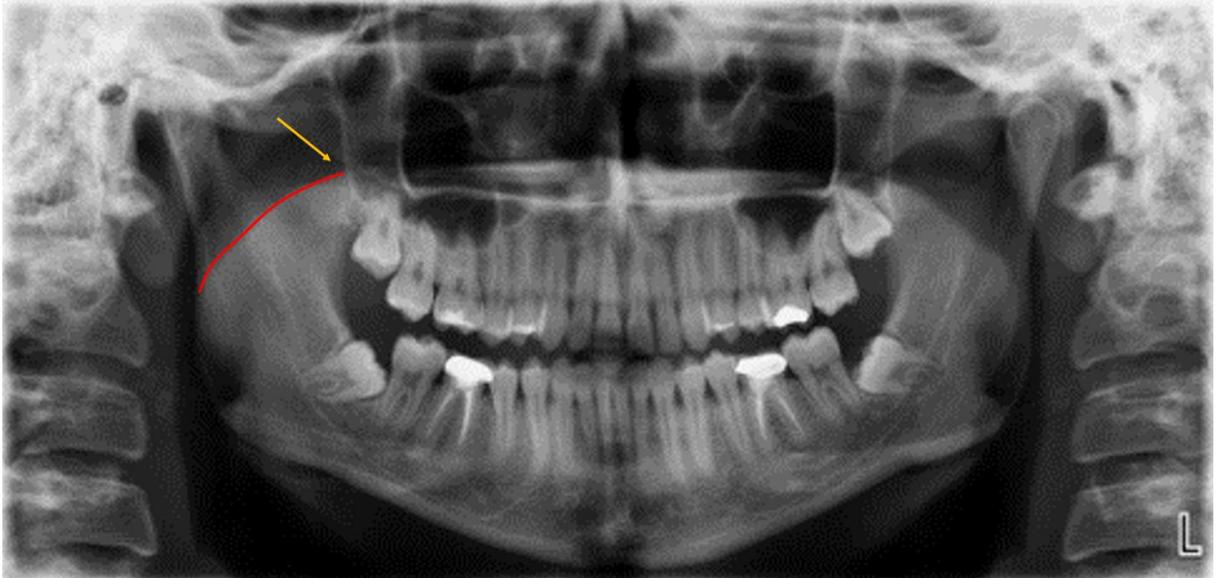


Figura 29. Ortopantomografía pretratamiento en la que se observan artefactos. La línea amarilla representa la ubicación del proceso coronoides, mientras que la línea roja representa el dorso de la lengua.

Segundo, el contraste adecuado en las radiografías se puede definir por la interacción que existió entre el tejido y los electrones dados los parámetros de kilovoltaje y miliamperaje (Whaites & Drage, 2021), sin embargo, algunas radiografías tanto pretratamiento como postratamiento presentaron un contraste deficiente por una selección diversa de los parámetros de kilovoltaje y miliamperaje con los que se tomó la radiografía pretratamiento (ver Figura 30), en ese sentido es que los *landmarks* y *semilandmarks* fueron colocados en otras posiciones y aunque el método de *sliding semilandmark* permitió disminuir la variación existente entre cada registro radiográfico con la forma promedio mandibular (Bookstein, 1991; 1997; Gunz & Mitteroecker, 2013; García, 2017) no necesariamente se ubicaron en las mismas posiciones, provocando mayor variación entre una radiografía pretratamiento y postratamiento de la misma persona. Por ejemplo, en la Figura 30 se puede observar que el contraste en las radiografías es deficiente, sin embargo, se puntualiza en la ubicación de gonion.

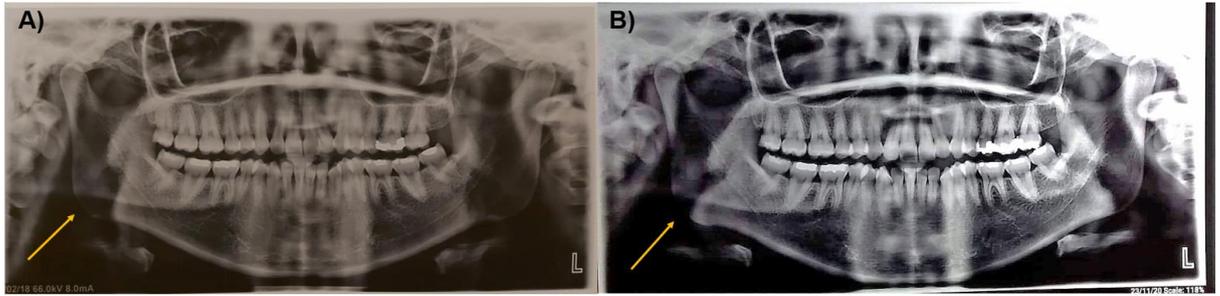


Figura 30. Contraste deficiente en la radiografía postratamiento. A) Radiografía pretratamiento y B) Radiografía postratamiento.

Ahora bien, respecto a los resultados encontrados en el análisis de conglomerados, se identificó que ninguna ortopantomografía se clasificó correctamente con su par, sin embargo, este resultado indica que la comparación entre las radiografías pretratamiento y postratamiento no es adecuada para llevar a cabo una identificación, no obstante esto no quiere decir que el patrón de la mandíbula no sea único, sino que el análisis debe considerar la segmentación de la muestra en ortopantomografías pretratamiento y postratamiento, aseveración respaldado por Jasso (2019) ya que para el estudio de la unicidad de las arcadas dentales, digitalizó por duplicado sus muestras pretratamiento y postratamiento, después segmentó la muestra para realizar un análisis de conglomerados con la primera y segunda digitalización tanto para las ortopantomografías pretratamiento como las postratamiento, obteniendo de esta forma porcentajes de clasificaciones por encima del 95%.

En ese sentido, Jasso (2019) identificó que las ortopantomografías que proporcionaron mayor porcentaje de clasificaciones correctas fueron la muestra pretratamiento ya que presentaron una forma menos uniforme, un aumento de la varianza e individualidad de las arcadas dentales a diferencia de las muestras posteriores al tratamiento de ortodoncia, lo anterior fue observado en la presente tesis ya que si bien al realizar el análisis de conglomerados con las ortopantomografías previas al tratamiento y posteriores al tratamiento no se identificaron clasificaciones correctas, lo que sí se observó fue que se generaron más grupos en la muestra postratamiento y con un porcentaje de permutaciones mayores a los de la muestra pretratamiento.

VI. CONCLUSIÓN

La crisis forense en México se da por diversas causas como el incremento de la violencia a partir de la militarización del país que ha propiciado la muerte y la desaparición forzada de personas, así como la ineficacia de los servicios médicos forenses por la falta de recursos, infraestructura, metodologías y personal especializado y también por el uso inadecuado de bases de datos o incluso la inexistencia de registros establecidos en la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas y por si no fuera suficiente, el proceso de notificación realizado a las familias, impide tener certeza de que los cuerpos o restos identificados sean de su familiar (Comité Contra la Desaparición Forzada, 2022).

Así es que se tiene un registro de al menos 52,000 personas fallecidas sin identificar encontradas en fosas comunes, servicios médicos forenses, universidades y centros de resguardo forense (Comité Contra la Desaparición Forzada, 2022), sin embargo, este número no concentra los cuerpos y restos humanos localizados por familiares de personas desaparecidas, la Comisión Nacional de Búsqueda y las Comisiones Locales.

Por lo anterior, es que el presente estudio se realizó con la finalidad de atender una de las necesidades de la crisis forense en materia de identificación humana mediante el estudio de la variación de la forma de mandíbulas proyectadas en radiografías para evaluar el dimorfismo sexual y posteriormente el desarrollo de una función de probabilidad para determinar el sexo, asimismo, para el estudio de la unicidad mandibular por medio de la aplicación de morfometría geométrica en población mexicana.

Respecto a la evaluación del error intraobservador se concluye que la importancia radica en que la variación morfológica presentada en las personas sea de origen biológico y no por errores de digitalización de la muestra, por lo anterior, es que la implementación de pruebas como el Coeficiente de Correlación Intraclass, que definió un acuerdo excelente entre las mediciones en esta investigación, permitió un análisis óptimo para evitar maximizar la variación en la muestra producto de fuentes de error.

Por su parte, la variación morfológica de las mandíbulas proyectadas en ortopantomografías presentaron diferencias entre personas del sexo femenino y masculino en el morfoespacio de forma, asimismo, los masculinos exhibieron mayor variación en la forma mandibular ya que si bien ambos presentaron formas anchas y estrechas en el plano horizontal y vertical, lo cierto es que las personas del sexo femenino en el plano vertical se caracterizaron por tener una rama mandibular más corta en comparación con los masculinos.

Ahora bien, tomando en consideración que existe dimorfismo sexual, se realizó una función mediante una regresión logística para determinar la probabilidad de que una ortopantomografía perteneciera a una persona del sexo femenino o masculino obteniendo porcentajes de clasificación del 85.7142% y 71.9298%, respectivamente y un total de clasificaciones correctas del 79.1666%, siendo adecuado el uso de la función para la determinación del sexo con fines de identificación reconstructiva.

Respecto a la determinación del sexo de las 81 mandíbulas que conforman la Colección Osteológica Nacional de Interés Forense de la Escuela Nacional de Ciencias Forenses de la UNAM, fue posible determinar el sexo de 46 mandíbulas ya que el resto de la colección fue excluida debido a pérdidas importantes de estructuras óseas, clasificando a 28 mandíbulas pertenecientes al sexo femenino y 18 al sexo masculino.

En relación con la unicidad, se concluye que la variación morfológica de las mandíbulas anterior y posterior a un tratamiento de ortodoncia no permite la agrupación de las radiografías de una misma persona debido a los cambios producidos asociados al tratamiento y a las características de las radiografías, sin embargo, esto no indica que la mandíbula no sea única, sino que la muestra debe segmentarse para su análisis.

Respecto a las ortopantomografías previas al tratamiento y posteriores al tratamiento, se concluye que existe mayor variación morfológica en las ortopantomografías previas al tratamiento ya que presentan una forma más heterogénea, siendo ideales para su uso en futuras investigaciones con fines de identificación.

VII. TRABAJOS A FUTURO

Derivado de este estudio se pueden mencionar al menos tres líneas de investigación encaminadas a fortalecerla.

Como se ha mencionado a lo largo del presente estudio, la crisis forense en México está dada por las más de 52,000 personas fallecidas sin identificar, así como restos y fragmentos óseos que se encuentran en las fiscalías, resultado de múltiples causas, algunas muy importantes como el aumento de la violencia y de los diversos métodos utilizados por el crimen organizado para deshacerse de las personas como la segmentación de los cuerpos y la disolución de los mismos en sitios conocidos como campos de exterminio (Jiménez, 2020). Por lo anterior, es que derivado de los archivos generados tras el *landmarking* de las ortopantomografías en esta investigación, es necesario identificar si regiones anatómicas de la mandíbula como el cuerpo y la rama pueden discriminar entre personas del sexo femenino y masculino, de tal forma que se desarrollen modelos de predicción, para la determinación del sexo de esas regiones (Nuzzolese et al., 2019).

Se ha reportado que los métodos de determinación del sexo en estructuras como los huesos coxales (Gómez-Váldes et al., 2012) y la mandíbula (Franklin, et al., 2007) basados en morfometría geométrica proporcionan porcentajes de clasificaciones correctas mayores a los métodos morfoscópicos y morfométricos, por lo anterior, es que considerando que esta investigación realizó la digitalización de la muestra basado en morfometría geométrica, es oportuno su análisis con métodos morfométricos para posteriormente, realizar una comparación que permita determinar el mejor enfoque a ser aplicado para la determinación del sexo, ya que actualmente son métodos complementarios.

Finalmente, como se observó en el análisis de conglomerados, se crearon algunos grupos entre las ortopantomografías previas al tratamiento y posteriores al tratamiento de la misma persona, sin embargo, no constituyeron clasificaciones correctas debido a los estándares de permutaciones y distancia mínima, por lo anterior, es que sería óptimo un estudio en el que se realice la digitalización por duplicado de la muestra para llevar a cabo un análisis de conglomerados y observar si ambas digitalizaciones se agrupan

(Jasso, 2019), asimismo, un estudio longitudinal para recabar datos en diferentes tiempos del tratamiento de ortodoncia de personas, con la finalidad de llegar a establecer en qué momento los cambios asociados al tratamiento no son significativos permitiendo que las ortopantomografías de una misma persona se agrupen, así como en qué momento los cambios provocan una modificación de la estructura en la que ya no es posible agrupar pares de ortopantomografías de la misma persona.

VII. 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.

Advanced Research Computing. (2021). LOGIT REGRESSION | R DATA ANALYSIS EXAMPLES. Recuperado el 13 de marzo del 2023 de: <https://stats.oarc.ucla.edu/r/dae/logit-regression/>.

Allaire, J. J. (2021). RStudio versión 2021.09.0+351. Estados Unidos de América: Posit.

Álvarez, V. E., Menéndez, G. A., Torres, G., Sánchez M. G. y Gómez V. J. (2017). Análisis de funciones discriminantes para la estimación del sexo con la mandíbula en población mexicana. *Revista Española de Medicina Legal*, 43(4): 146-154.

Amant R. J. (2016). Regresión logística simple y múltiple. Recuperado el 13 de marzo del 2023 de: https://rpubs.com/Joaquin_AR/229736.

Aqeel Al-Saedi, I. L., Al-Tae, R., Al-Jasim, N. H. & Al-Bakhakh, B. (2020). A panoramic study of the morphology of mandibular condyle in a sample of population from Basrah City. *Int. J. Morphol.*, 38(6):1707-1712.

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.

Ashbaugh, D. (1999). *Quantitative-Qualitative Friction Ridge Analysis*. (1ra ed.) USA: RC Press, Boca Raton.

Balwant, R. & Jasdeep, K. (2013). *Evidence-Based Forensic Dentistry* (1ra ed.). S/P: Springer.

Bing, L., Wu, X., Feng, Y., Wang, Y. & Liu, H. (2014). Palatal Rugae for the Construction of Forensic Identification Rugas Palatinas en Identificación Forense. *Int. J. Morphol.*, 32(2), 546-550.

Buikstra, J. y Ubelaker, D. (1994). Standards for data collections from human skeletal remains. *Arkansas Archeological Survey Research Series Number 44*.

Cantero, T. (2014). Estudio de 1° caso postmortem a través de los registros labiales tratado en el anfiteatro de la comisión de tránsito con el Dr. Mauricio Barco desde el periodo 2012 - 2014. Tesis de licenciatura. Universidad de Guayaquil.

Cardini, A. (2014). Missing the third dimension in geometric morphometrics: how to assess if 2D images really are a good proxy for 3D structures?. *Hystrix Ital J Mammal*, 25(2): 73-81.

Cheng, C. & Shoback, D. (2019). Mechanisms Underlying Normal Fracture Healing and Risk Factors for Delayed Healing. *Current Osteoporosis Reports*, s/v(s/n): 1-12.

Christensen, A. M., Passalacqua, N. V. & Bartelink, E. J. (2019). *Forensic Anthropology: Current Methods and Practice*. (2da ed.) USA: Academic Press.

Christensen, A. M., Passalacqua, N. V. & Bartelink, E. J., (2019). Introduction to forensic anthropology. En Christensen, A., Passalacqua, N. & Bartelink, E. (Ed), *Forensic Anthropology: Current Methods and Practice* (1-31). USA: ELSEVIER.

CNB (2023). Contexto general. Recuperado el 10 de mayo de 2023 de: https://docs.google.com/document/d/1j1G6TDIVELBvtGHgkAc_bm5cbDV0TTi6vYXChBYNq0/edit#.

Cole, S. (2009). Forensics without uniqueness, conclusions without individualization: the new epistemology of forensic identification. *Law, Probability and Risk*, 8(3), 233-255.

Comité contra la Desaparición Forzada. (2022). Informe del Comité contra la Desaparición Forzada sobre su visita a México al amparo del artículo 33 de la

Convención. Recuperado el 15 de mayo del 2023 de: <https://hchr.org.mx/wp/wp-content/uploads/2022/04/Informe-de-visita-a-MX-del-Comite-contr-la-Desaparicion-Forzada-abril-2022.pdf>

Culbert, W.L., Law, F.L., 1927. Identification by comparison of roentgenograms of nasal accessory sinuses and mastoid processes. *Journal of the American Medical Association* 88(s/n), 1634–1636.

Datta A, Siddappa S C, Gowda V K, Channabas S R, A Study of Sex Determination from Human Mandible Using Various Morphometrical Parameters. (2015). *Indian J Forensic Community Med.*, 2(3), 158-166.

Dawasaz, A. & Dinkar, A. (2013). Rugoscopy: Predominant Pattern, Uniqueness, and Stability Assessment in the Indian Goan Population. *Journal of Forensic Sciences*, 58(6), 1621-1627.

Drake, R. L., Wayne, V. A. & Mitchell, W. M. (2020). *Gray's anatomy for students*. (4ta ed.) Canadá: ELSEVIER.

Escorcía, H. L. (2008). Dimorfismo sexual de los esqueletos contemporáneos de Caltimacán, Tasquillo, Hidalgo a partir del análisis discriminante. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Fonseca, G., Cantín, M. & Lucena, J. (2014). Odontología Forense III: Rugas Palatinas y Huellas Labiales en Identificación Forense. *International Journal of Odontostomatology*, 8(1), 29-40.

Franklin D., O'Higgins, P., Oxnard C. & Dadour I. (2008). Discriminant function sexing of the mandible of Indigenous South Africans. *Forensic Science International*, 179(1), 84.e1-84.e5.

Franklin D., O'Higgins P., Oxnard C. & Dadour I. (2007). Sexual Dimorphism and Population Variation in the Adult Mandible. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 3(1), 15-22.

Fruciano, C. (2017). Measurement error in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution*, 226(3): 139-158.

Fuentes, R., Cantin, M., Navarro, P., Borie, V., Beltrán, V. & Bucchi, C. (2014). Caracterización de Estructuras Anatómicas Mediante Radiografías Panorámicas: El Foramen Mental. *Int. J. Morphol.*, 32(4): 1423-1429.

Fuentes, R., Flores, T., Dias, F., Farfán, D., Astete, N., Navarro, P. & Arais, A. (2017). Localization of the Mental Foramen Through Digital Panoramic Radiographs in a Chilean Population. *Int. J. Morphol.*, 35(4): 1309-1315.

García, M. D. (2017). Contribuciones al estudio de la variabilidad morfológica, funcional y evolutiva del esqueleto torácico humano. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Madrid.

Ghiasi, M., Chen, J., Vaziri, A., Rodriguez, E. K. & Nazarian, A. (2017). Bone fracture healing in mechanobiological modeling: A review of principles and methods. *Bone reports*, 6(s/n): 87-100.

Gil-Chavarría, M.I. y García-Velasco, M. (2022). Guía para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de Odontología Forense. En *Guías para la valoración judicial de la prueba pericial en materia de Identificación Humana, Odontología Forense, Psicología Forense, Análisis de Video Digital, Balística, Medicina Forense y Criminalística de Campo* (pp. 53-93) México: UBIJUS.

Giles, E. Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. *Am J Phys Anthropol*, 22(2), 129-135.

Gisbert, C. & Villanueva, C. (2004). *Medicina legal y toxicología*. (6ta ed.) s/l: MASSON.

Gómez-Valdés, J. A., Quinto-Sánchez, M., Menéndez Garmendía, A., Velemínska, J., Sánchez-Mejorada, G., Bruzek, J., ... Patriquin, M. L. (2012). Comparison of methods

to determine sex by evaluating the greater sciatic notch: Visual, angular and geometric morphometrics. *Forensic Science International*, 221(1–3), 156.e1-156.e7.

Guillén, A., et al. (2018). El parís de las 2 mil fosas. Recuperado el 05 de mayo del 2023 de: <https://adondevanlosdesaparecidos.org/2018/11/12/2-mil-fosas-en-mexico/>

Hammer, Ø., Harper, D. & Ryan, D. (2001). PAST: PALEONTOLOGICAL STATISTICS SOFTWARE PACKAGE FOR EDUCATION AND DATA ANALYSIS. *Paleontología Electrónica*, 4(1), 1-9.

Hefner, J.T. (2009). Cranial nonmetric variation and estimating ancestry. *J. Forensic Sci*, 54(5), 985-995.

Hu K. S., Hu K. S., Han S. H., Shin K. J. & Kim H. J. (2006). Sex determination using nonmetric characteristics of the mandible in Koreans. *Journal of Forensic Sciences*, 51(6): 1376-1382.

IBM. (s/a). What is logistic regression?. Recuperado el 13 de marzo del 2023 de: <https://www.ibm.com/topics/logisticregression#:~:text=Resources,What%20is%20logistic%20regression%3F,given%20dataset%20of%20independent%20variables.>

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.

Jiménez, L. (2020). Las otras “cocinas” del crimen: disuelven los cuerpos de sus víctimas. Recuperado el 16 de mayo del 2023 de: <https://www.eluniversal.com.mx/nacion/las-otras-cocinas-del-crimen-disuelven-los-cuerpos-de-sus-victimas/>.

Kemkes-Grottenthaler, A., Löbig, F., & Stock, F. (2002). Mandibular ramus flexure and gonial eversion as morphologic indicators of sex. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 53(2), 97–111.

Kendall, D. (1977). The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, 9(3), 428-430.

Kendall, D. The statistics of shape. In: Barnett, V. *Interpreting multivariate data*. New York, John Wiley & Sons, 1981. pp. 75-80.

Kieser, J. A., Bernal, V., Waddel, J. N. & Shilpa, R. (2007). The uniqueness of the human anterior dentition: A geometric morphometric analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 52(3), 671-677.

Klingenberg, C. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357.

Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ (Nº de versión 1.07a). Windows . UK.

Konigsberg, L. & Hens, S. (1998). Use of Ordinal Categorical Variables in Skeletal Assessment of Sex From the Cranium. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY*, 107(1),97-112.

Koo, T. K & Li M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2): 155-163.

Krishan, K., Kanchan, T. & Thakur, S. (2019). A study of morphological variations of the human ear for its applications in personal identification. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 9(1), 1-11.

Lagunas R.Z. (1974). La determinación sexual en mandíbulas por medio de las funciones discriminantes. *Anales del INAH, EPOCA 7a, T IV*, 1972-1973.

Lamas, J., Vega, R., & González, J. (2008). Identificación personal mediante el estudio de los enos frontales. A propósito de un caso, *Cuadernos Medico Forenses*, 14(53 y 54), 317-326.

Langenburg, G. (2012). Chapter 14: Scientific Research in the Forensic Discipline of Friction Ridge Individualization. En NIJ (Ed.), *Fingerprint Sourcebook* (pp.343-371), NCJ.

Latham, K. E., Bartelink, E. J. & Finnegan, M., (2018). *New Perspectives in Forensic Human Skeletal Identification*. (1ra ed.) USA: ELSEVIER.

Leamy, L. J., Klingenberg, C. P., Sherratt, E., Wolf, J. B. & Cheverud, J. M. (2015). The genetic architecture of fluctuating asymmetry of mandible size and shape in a population of mice: Another look. *Symmetry*, 7(1): 146-163.

Lo Re, G., Argo, A., Midiri, M. & Cattaneo, C. (2020). *Radiology in Forensic Medicine: From Identification to Post-mortem Imaging*. (1ra ed.) España: Panamericana. Suiza: Springer Nature Switzerland AG.

López, L.S., Alemán, I., Viciano, J., Irurita, J. & Botella M.C. (2018). Sexual dimorphism of the first deciduous molar: A geometric morphometric approach. *Forensic Science International*, 290(s/n), 94-102.

Loth, S.R, Henneberg, M. (1996). Mandibular ramus flexure: a new morphologic indicator of sexual dimorphism in the human skeleton. *Am J Phys Anthrop*, 99(3), 473-85.

Loth, S.R, Henneberg, M. (2000). Gonial inversion: facial architecture, not sex. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 51(1), 81-89.

McKeown, A. H., & Schmidt, R. W. (2013). *Geometric Morphometrics*. En *Research Methods in Human Skeletal Biology* (325-359). USA: Academic Press.

Mendes, Leonor Costa., Delrieu, J., Gillet, C., Telmon, N., Maret, D. & Savall, F. (2021). Sexual dimorphism of the mandibular conformational changes in aging human adults: A multislice computed tomographic study by geometric morphometrics. *PLoS ONE*, 16(6), 1-17.

Movimiento por nuestros desaparecidos. (2021). La Crisis Forense en México: Más de 52,000 personas fallecidas sin identificar. Recuperado el 10 de mayo del 2023 de: <https://movndmx.org/wp-content/uploads/2021/08/Informe-La-Crisis-Forense-en-Me%CC%81xico.pdf>

Nagaraj, T., Veerabasvaiah, B., James, L., Goswami, R., Narayanan, S., & Keerthi, I. (2016). Use of non-metric characteristics of mandible in sex determination. *Journal of Medicine, Radiology, Pathology and Surgery*, 3(4), 1-4.

Núñez-Colín, C. & Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 415-427.

Nuzzolese E. (2012). A Novel Forensic Use of Clinical Odontological Imaging: Geometric Morphometric Analysis of Sexual Dimorphism in the Mandible From Panoramic Scanning X-Ray Images. *American Academy of Forensic Sciences*, 18(s/n).

Nuzzolese E., Randolph-Quinney P., Randolph-Quinney J. & Di Vella G. (2019). Geometric morphometric analysis of sexual dimorphism in the mandible from panoramic X-ray images. *J Forensic Odontostomatol.*, 37(2), 35–44.

Oettlé AC., Pretorius E. & Steyn M. (2005). Geometric morphometric analysis of mandibular ramus flexure. *Am J Phys Anthropol*, 128(3), 623–9.

Oettlé AC., Pretorius E. & Steyn M. (2009). Geometric morphometric analysis of the use of mandibular gonial eversion in sex determination. *Homo*, 60(1), 29–43.

Ortega, P. (2021). El perfil biológico de una persona sin vida. *Identificación huamana*. s/v(s)/n: 1-7.

Ortiz A. (2020). Identificación humana por medio de variación craneofacial: suturas craneales y senos frontales. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Page, M. Taylor, J. & Blenkin, M. (2011). Uniqueness in the forensic identification sciences-Fact or fiction?. *Forensic Science International*, 206(1-3), 12-18.

Pardo J. & Arredondo Í. (2021). Opinión: Una guerra inventada y 350,000 muertos en México [en línea]. The Washington Post. Recuperado el 2 de agosto de 2021 de: <https://www.washingtonpost.com/es/post-opinion/2021/06/14/mexico-guerra-narcotrafico-calderon-homicidios-desaparecidos/>

Pedroza, H. & Dicoovsky, L. (2006). Sistema de análisis estadístico con SPSS. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Cooperación para la Agricultura (IICA). Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Pérez, S. et al., (2006). Differences between sliding semi-landmark methods in geometric morphometrics, with an application to human craniofacial and dental variation. *J. Anat*, 208(6), 769-784.

Pretorius E., Steyn M. & Scholtz Y. (2006). Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *American Journal of Physical Anthropology*, 129(1), 64-70.

Proffit W. (2000). *Contemporary Orthodontics*. (3ra ed.) USA: Mosby.

Proffit, R. W. et al. (2013). *Ortodoncia contemporánea*. (5a ed.) España: Elsevier.

Quinto M., Farrera A., Gil M. & Gómez J. (2017). Morfometría geométrica aplicada a la Antropología y Odontología Forense. En: Pérez Campos EL, García Castillo Z, Bravo Gómez ME, Perez Campos Mayoral E (Coord.) *Temas selectos de ciencias forenses y seguridad*. Red Temática de Ciencias Forenses (pp. 245-255). México: Editorial Progreso.

Quiroz, Q. (2015). La identidad. En Quiroz, Q. (Ed), *Medicina Forense*. (1061-1064). México: Editorial Porrúa.

Rogers L. & Allard T. (2004). Expert testimony and positive identification of human remains through cranial suture patterns. *J Forensic Sci*, 49(2), 203-207.

Rohlf, F. J. (2015). The tps series of software. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 26(s/n): 1-4.

S/n. (2014). Coeficiente de correlación intraclase. Estudios de posgrado en Metodología de la Investigación en Ciencias de la Salud. Recuperado el 21 de noviembre del 2022 de: https://metodo.uab.cat/arxius/material/general/El_coeficiente_de_correlacion_intraclase.pdf

Sahithi, D., Reddy, S., Divya, T., Koneru, J., Sai, P. & Sruthi, R. (2015). Reveal the concealed-Morphological variations of the coronoid process, condyle and sigmoid notch in personal identification. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6(2): 108-113.

Sairam V., Geethamalika M., Kumar P., Naresh G. & Raju G. (2016). Determination of sexual dimorphism in humans by measurements of mandible on digital panoramic radiograph. *Contemporary Clinical Dentistry*, 7(4), 434–439.

Schmieder, D. A., Benítez, H. A., Borissov, I. M. & Fruciano, C. (2015). Bat species comparisons based on external morphology: A test of traditional versus geometric morphometric approaches. *PLoS ONE*, 10(5): 1-13.

Schmittbuhl M., Le Minor J., Schaaf A. & Mangin P. (2002). The human mandible in lateral view: elliptical Fourier descriptors of the outline and their morphological analysis. *Ann Anat*, 184(2), 199–207.

Sciubba, R. (2000). *Patología Bucal*. (3ra ed.) Mexico: McGraw-Hill Interamericana.

Sella, T. T., Pokhojaev, A. & Sarig, R. O'Higgins, P. & Hila, M. (2018). Human mandibular shape is associated with masticatory muscle force. *Scientific Reports*, 8(1): 1-10.

Shechtman, O. (2001). The coefficient of variation as a measure of sincerity of effort of grip strength, Part II: sensitivity and specificity. *Journal of Hand Therapy*, 14(3), 188-19.

Shechtman, O. (2013). The coefficient of variation as an index of measurement reliability. *Methods of clinical epidemiology*, 39-49.

Singh, B., Kumar, N., Balan, A., Nishan, M., Haris, P. S., Jinisha, M. & Dimla D. C. (2020). Evaluation of normal morphology of mandibular condyle: A radiographic survey. *Journal of Clinical Imaging Science*, 10(51): 1-51.

Singh, N., Harvati, K., Hublin, J. J. & Klingenberg, C. P. (2012). Morphological evolution through integration: A quantitative study of cranial integration in Homo, Pan, Gorilla and Pongo. *Journal of Human Evolution*, 62(1): 155-164.

Stabulas-Savage, J.J. (2019). *Former's Radiology for the Dental Professional*. (10ma ed.) USA: ELSEVIER.

Thakare, S., Mhapuskar, A., Hiremutt, D., Giroh, V., Kalyanpur, K. & Alpana, KR. (2016). Evaluation of the Position of Mental Foramen for Clinical and Forensic Significance in terms of Gender in Dentate Subjects by Digital Panoramic Radiographs, *The Journal of Contemporary Dental Practice*, s/v(s/n): 762-768.

Thompson, T. & Black, S. (2007). *Forensic Human Identification: An Introduction*. (1ra ed.). USA: CRC Press

Toro, I. M., Manríquez, S. G. & Galdames, S. I. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *Int. J. Morphol.*, 28(4): 977-990.

Tsegga, T.M. & Christensen, C.J. (2020). Jaw and Dental Abnormalities. *Dental Clinics of North America*, 64(1): 11-23.

Tzuc E. (2020, 10 de diciembre). Base de datos interactiva de cuerpos no identificados en México (2006-2019) [en línea]. A dónde van los desaparecidos. Recuperado el 2 de agosto de 2021 de: <https://quintoelab.org/crisisforense/datos/>.

Velayos, J. L., Díaz, S. H. & Bazán, A. (2007). *Anatomía de la Cabeza para odontólogos*. (4ta ed.) España: Panamericana.

- Verma, P., Sandhu, H., Verma, K., Goyal, S., Sudan, M. & Ladgotra, A. (2016). Morphological variations and biometrics of ear: An aid to personal identification. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(5), 138-142.
- Vinay G., Gowri S.R. & Anbalagan J. (2013). Sex Determination of Human Mandible Using Metrical Parameters. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 7(12): 2671–2673.
- Vodanovic, M., Dumančić, J., Demo, Z. y Mihelić, D. (2006). Determination of sex by Discriminant Function Analysis of Mandibles from two Croatian Archaeological Sites. *Acta Stomatologica Croatica*, 40(3): 263-277.
- Von Cramon-Taubadel, N. (2011). Global human mandibular variation reflects differences in agricultural and hunter-gatherer subsistence strategies. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 108(49): 19546-19551.
- Walker P.L. (2008). Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *American Journal of Physical Anthropology*, 136(1), 39-50.
- Whaites, E. & Drage, N. (2021). *Essentials of Dental Radiography and Radiology*. (6th ed.) USA: ELSEVIER.
- White, T. A. & Searle, J. B. (2008). Mandible asymmetry and genetic diversity in island populations of the common shrew, *Sorex araneus*. *Journal of Evolutionary Biology*, 21(2): 636-641.
- Williams B.A. & Rogers T.L. (2006). Evaluating the accuracy and precision of cranial morphological traits for sex determination. *Journal of Forensic Sciences*, 51(4), 729-735.
- Zelditch M., Swiderski D., Sheets H. & Fink W. (2004). *GEOMETRIC MORPHOMETRICS FOR BIOLOGISTS: A PRIMER*. (1st ed.) USA: Elsevier.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Coeficientes de variación de los *landmarks* 3 (Gonion derecho), 4 (Gonion izquierdo), 5 (Gnasion) y el *semilandmark* 34 (primer *semilandmark* izquierdo del cuerpo mandibular) de las unidades de análisis utilizadas para la evaluación del error intraobservador para la determinación del sexo. Los valores en color gris son los coeficientes de variación mayores a 25.

ID	x3	y3	x4	y4	x5	y5	x34	y34
IndFPost008	0.46688618	11.7085449	0.25096161	298.071148	221.547927	0.92645218	0.26747225	4.20092546
IndFPost009	0.52489859	64.3063031	0.50462004	59.1065251	23.2870872	0.65027251	0.29191488	8.08459657
IndFPost010	0.57803468	6.4909407	0.78184195	36.7853623	97.828249	0.93427721	0.8038474	4.13765409
IndFPost011	0.25731507	6.8010333	0.31370135	6.94789608	67.7628968	0.27048693	0.43380784	44.3434841
IndFPost015	0.47056244	14.3024137	0.25970592	13.6857831	8.30602382	0.86956336	0.55416802	7.37188762
IndFPost022	0.42089689	14.0244118	0.32333091	8.7721908	151.145065	0.7683933	0.625	183.153244
IndFPost025	0.25381021	13.8362112	0.24872836	20.3604395	337.034509	0.45298323	0.26908159	3.50604587
IndFPost032	0.31227056	6.5810067	0	3.07216178	59.0856189	0.12951451	0.27811791	8.2099797
IndFPost033	0.48699652	70.0839785	0.25294887	11.4750176	66.9699492	0.26770492	0.33115028	10.4192712
IndFPost040	0.53113254	14.7815129	0.2552589	21.1480583	45.1813299	0.53417799	0.55692851	3.95443623

Anexo 2. Coeficientes de variación de los *landmarks* 3 (Gonion derecho) y 4 (Gonion izquierdo) de las unidades de análisis utilizadas para la evaluación del error intraobservador para la determinación del sexo. Los valores en color gris son los coeficientes de variación que, posterior a la segunda evaluación fueron mayores a 25.

ID	x3	y3	x4	y4
IndFPost008	0.36580119	7.59758887	0.3156767	10.6141512
IndFPost009	0.19231099	5.40039287	0.40615393	7.62862263
IndFPost010	0.14266	7.07339033	0.43371725	14.6592646
IndFPost011	0.09365532	17.5365763	0.43105877	189.25246
IndFPost015	0.13512134	13.6555446	0.53666539	15.599584
IndFPost022	0.24814322	51.0124991	0.31769262	46.4929156
IndFPost025	0.13603073	4.17942709	0.46301704	17.4668526
IndFPost032	0.14442463	21.7251576	0.18934962	47.5428597
IndFPost033	0.17551475	13.7741656	0.44987175	13.2281217
IndFPost040	0.13996937	5.91874116	0.34488946	6.68174623

Anexo 3. Comparación de los ICC y *p-values* de todos los *landmarks* y *semilandmarks* de la primera con la segunda evaluación para el error intraobservador de sexo.

Comparación de los ICC y <i>p-values</i> de todos los <i>landmarks</i> y <i>semilandmarks</i> de la primera evaluación con la segunda evaluación												
Repeticiones	IndFPost008				IndFPost009				IndFPost010			
	Primera		Segunda		Primera		Segunda		Primera		Segunda	
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value
General	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1 y 2	1	3.42E-180	1	4.10E-190	1	8.65E-166	1	1.13E-175	1	2.54E-137	1	1.71E-145
2 y 3	1	4.59E-193	1	5.88E-164	1	3.51E-172	1	2.59E-176	1	4.92E-138	1	1.95E-146
3 y 4	1	3.12E-183	1	6.91E-175	1	1.68E-179	1	1.55E-187	1	3.03E-141	1	5.12E-153
4 y 5	1	2.31E-173	1	3.90E-173	1	2.17E-177	1	4.33E-182	1	4.56E-177	1	2.42E-177

Repeticiones	IndFPost022				IndFPost025				IndFPost032			
	Primera		Segunda		Primera		Segunda		Primera		Segunda	
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value
General	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1 y 2	1	8.76E-174	1	3.97E-176	1	7.57E-187	1	5.55E-189	1	2.53E-182	1	1.10E-190
2 y 3	1	1.09E-171	1	3.06E-171	1	2.56E-197	1	1.66E-181	1	1.71E-202	1	3.56E-204
3 y 4	1	4.49E-184	1	1.07E-181	1	1.02E-193	1	7.70E-198	1	7.43E-187	1	8.80E-197
4 y 5	1	1.06E-182	1	1.21E-177	1	2.49E-168	1	5.70E-165	1	2.24E-195	1	8.92E-195

Comparación de los ICC y <i>p-values</i> de todos los <i>landmarks</i> y <i>semilandmarks</i> de la primera evaluación con la segunda evaluación									
Repeticiones	IndFPost011				IndFPost015				
	Primera		Segunda		Primera		Segunda		
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	
General	1	0	1	0	1	0	1	0	
1 y 2	1	6.21E-181	1	4.30E-174	1	1.13E-195	1	1.25E-197	
2 y 3	1	4.62E-197	1	2.48E-185	1	2.23E-175	1	1.36E-182	
3 y 4	1	3.23E-182	1	3.87E-188	1	2.48E-189	1	7.24E-185	
4 y 5	1	1.01E-191	1	1.26E-180	1	3.71E-186	1	1.59E-181	

Repeticiones	IndFPost033				IndFPost040			
	Primera		Segunda		Primera		Segunda	
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value
General	1	0	1	0	1	0	1	0
1 y 2	1	1.51E-187	1	1.56E-194	1	3.14E-175	1	7.20E-188
2 y 3	1	2.86E-184	1	1.91E-190	1	7.98E-183	1	1.38E-189
3 y 4	1	4.11E-178	1	2.87E-180	1	8.91E-190	1	4.87E-199
4 y 5	1	1.82E-185	1	2.02E-180	1	3.93E-191	1	5.33E-189

Anexo 4. Coeficientes de variación de los *landmarks* 7 (Gonion derecho), 8 (Gonion izquierdo), 9 (Gnacion), 10 (Gnacion derecho), 11 (Gnacion izquierdo), 12 (Infradental), 13 (Infradental derecho), 14 (Infradental izquierdo), 25 (Último *semilandmark* de la rama mandibular R), 43 (Penúltimo *semilandmark* del cuerpo mandibular R), 44 (Último *semilandmark* del cuerpo mandibular derecho), 55 (Penúltimo *semilandmark* del cuerpo mandibular izquierdo) y 56 (Último *semilandmark* del cuerpo mandibular izquierdo) de las unidades de análisis utilizadas para la evaluación del error intraobservador para la unicidad. Los valores en color gris son los coeficientes de variación mayores a 25.

	x7	y7	x8	y8	x9	y9	x10	y10	x11	y11	x12	y12	x13	y13
IndFPost008	0.33075034	6.6048634	0.26811367	11.8333982	81.863431	0.59771466	3.43796946	0.60341014	2.53308331	0.72547267	601.06949	20.373806	1.20457481	36.773442
IndFPost009	0.28162065	6.88620229	0	7.16666802	15.5027888	0.7173886	5.03580277	0.63942443	3.76298347	0.85411862	6.39406858	16282.4148	1.14313348	47.8357162
IndFPost010	0.27470123	4.45312432	0.7607111	6.30639276	108.003001	0.83359472	135.258365	2.26228738	130.756507	2.04347506	39.8575309	60.6045938	2.00018963	120.369884
IndFPost011	0.80088482	71.3029268	0.67703654	30.3516077	105.418183	0.36578332	2.06741299	0.77283455	3.59486685	0.37688765	93.7848542	14.1790286	3.63746006	6.9553706
IndFPost015	0.26973076	25.3886777	0.27811791	57.1921299	10.3665389	0.68727744	4.64732537	0.90978167	1.53710594	0.69353917	6.50097061	11.6941976	5.12676978	8.13937392
IndFPost022	0.45619792	27.4360682	0.3453484	10.6127481	124.575808	0.95465428	1.17782995	0.78149213	2.31899496	1.31718643	335.230331	11.6391152	1.90940654	6.58193115
IndFPost025	0.54339441	7.32540894	0.50340555	6.56774083	51.9381642	0.86666	3.05832164	0.53464303	3.89648378	0.63943573	27.1741191	3.17981165	2.03047143	4.11416346
IndFPost032	0.80583466	393.857309	0.28521275	6.25466018	85.5817856	0.40714698	7.57015876	0.351097	6.84837674	0.42795259	23.1301326	7.22410962	7.41500762	3.18110186
IndFPost033	0.52356698	11.0472911	0.54339441	612.582484	123.40497	0.77934405	123.789762	1.45823908	173.134924	0.31456012	5.17457139	12.0885847	1.5382126	12.1314313
IndFPost040	0.35245982	4.45435403	0.80088482	17.1592859	82.371331	0.54096351	2.64526657	0.68122343	3.60838287	0.86603971	6.19358268	28.9041842	0.97367671	89.5436461

	x14	y14	x25	y25	x43	y43	x44	y44	x55	y55	x56	y56
IndFPost008	2.07571986	17.3102235	0.48870329	36.115046	5.68059634	0.75295562	8.95964968	0.94728181	5.459718	0.89163973	8.69581296	0.37881698
IndFPost009	0.84812099	15.4001333	0	13.1855464	4.92204073	1.11358682	7.74639435	1.09581039	3.10553758	1.05758374	5.44757072	0.67899863
IndFPost010	2.67071312	105.421732	0.26908159	30.1718856	36.9923508	6.49022723	67.4735026	0.99586656	39.4239386	8.67152299	70.1179627	3.5363193
IndFPost011	1.88861746	14.3234036	0.26811367	7.39791249	5.560367	0.75579045	8.64491788	0.3988561	4.19797088	0.69885607	6.70442227	0.34441248
IndFPost015	2.61499485	12.1793492	0.26275769	11.4402473	5.64228207	0.85198181	9.1262618	0.42875269	4.19856631	0.78728961	6.6133358	0.43064253
IndFPost022	2.63189766	6.43014216	0.27639901	4.57528508	4.7616684	0.9686365	7.29511823	0.92945543	5.30436184	0.95561914	7.94976938	0.93743773
IndFPost025	2.17083866	6.13781645	0.52737452	114.096917	5.71494941	0.97791716	8.57781722	0.74716433	5.75976681	0.63078882	8.98835501	0.76485322
IndFPost032	2.26234717	5.23647509	0.85709913	13.173809	6.42477498	1.02898073	9.56755013	0.78305111	4.70574892	0.54360772	6.85186854	0.41237284
IndFPost033	3.81658321	9.50627277	0.43116267	13.5267469	31.3391988	4.78962346	57.6313657	0.73521884	36.2173881	3.7653145	69.8452554	1.57321067
IndFPost040	3.1976239	19.1085066	0.34318456	22.9636123	5.54571912	0.99029763	8.27886292	0.6741279	5.03052136	1.1057913	9.32933459	1.09745304

Anexo 5. Comparación de los ICC y *p-values* de todos los *landmarks* y *semilandmarks* de la primera con la segunda evaluación para el error intraobservador de unicidad.

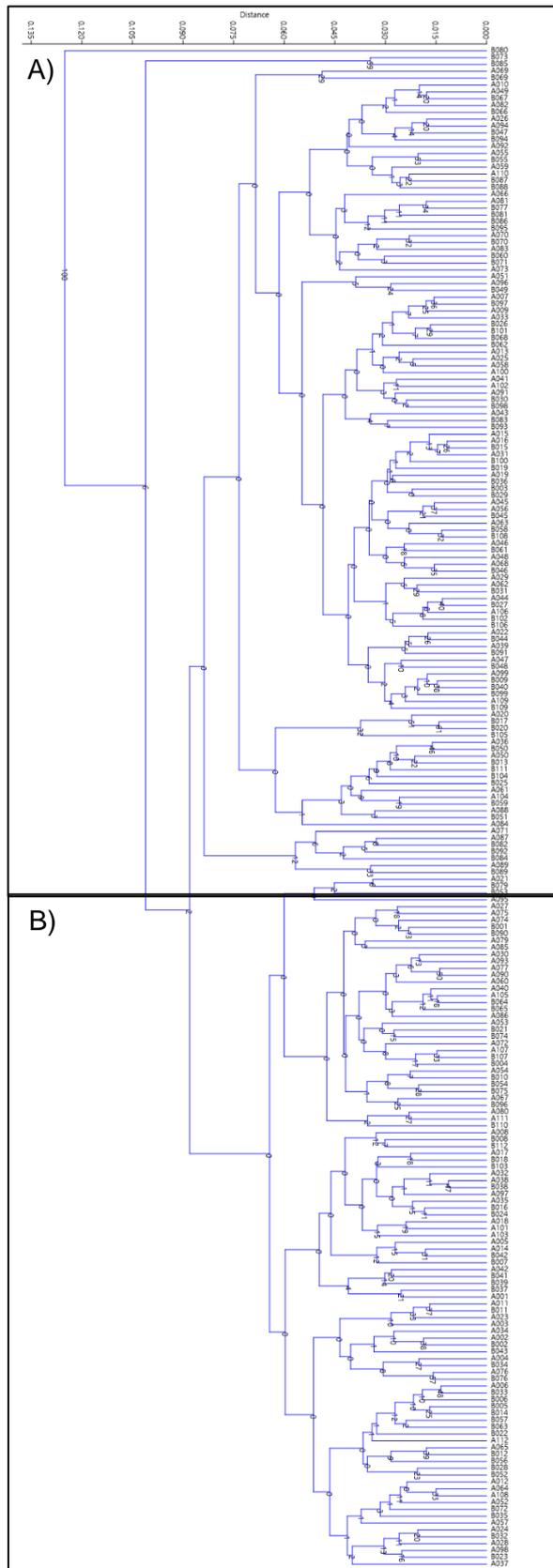
Comparación de los ICC y <i>p-values</i> de todos los <i>landmarks</i> y <i>semilandmarks</i> de la primera con la segunda evaluación												
Repeticiones	IndFPost008				IndFPost009				IndFPost010			
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value
General	1	0	1	0	1	0	1	0	0.997	0	0.999	0
1 y 2	1	3.83E-199	1	1.66E-204	1	1.32E-199	1	4.33E-208	1	2.07E-179	1	1.18E-188
2 y 3	1	1.53E-217	1	1.70E-215	1	7.35E-218	1	2.90E-211	0.992	4.98E-102	0.999	1.46E-146
3 y 4	1	8.24E-199	1	3.18E-210	1	3.37E-202	1	9.11E-210	0.993	3.09E-106	0.999	5.53E-152
4 y 5	1	1.94E-226	1	4.53E-223	1	6.62E-235	1	9.05E-237	1	1.50E-193	1	4.75E-216

Repeticiones	IndFPost022				IndFPost025				IndFPost032			
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value
General	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1 y 2	1	2.86E-200	1	1.70E-199	1	2.58E-202	1	1.78E-214	1	1.39E-170	0.999	6.34E-168
2 y 3	1	1.88E-221	1	9.23E-223	1	2.72E-222	1	5.34E-225	1	2.40E-189	1	6.02E-174
3 y 4	1	7.86E-207	1	2.96E-222	1	9.77E-204	1	5.98E-221	1	1.92E-194	1	8.46E-208
4 y 5	1	7.05E-229	1	4.07E-233	1	1.87E-233	1	5.08E-230	1	1.22E-217	1	3.97E-222

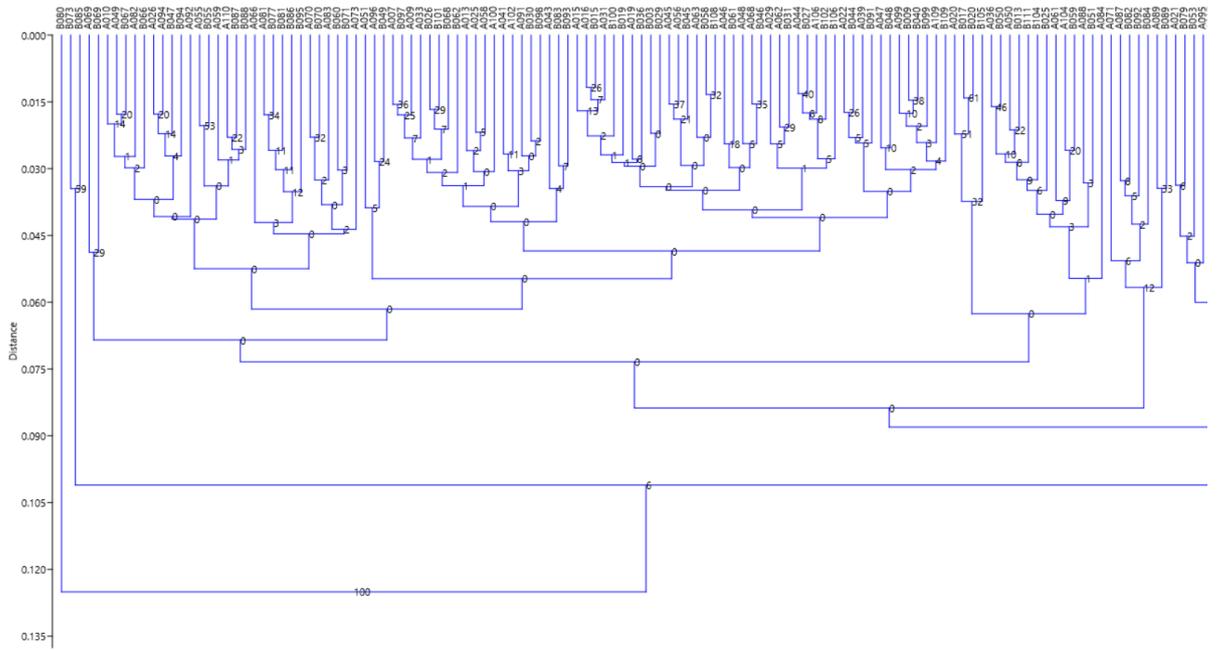
Comparación de los ICC y <i>p-values</i> de todos los <i>landmarks</i> y <i>semilandmarks</i> de la primera con la segunda evaluación									
Repeticiones	IndFPost011				IndFPost015				
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	
General	1	0	1	0	1	0	1	0	
1 y 2	1	6.11E-204	1	8.18E-213	1	6.44E-210	1	2.46E-217	
2 y 3	1	2.23E-234	1	6.30E-232	1	1.25E-212	1	1.83E-216	
3 y 4	1	4.00E-207	1	1.24E-219	1	9.58E-205	1	7.05E-217	
4 y 5	1	3.41E-231	1	2.59E-208	1	1.16E-227	1	7.67E-228	

Repeticiones	IndFPost033				IndFPost040			
	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value	ICC	P-value
General	0.998	0	1	0	1	0	1	0
1 y 2	0.995	9.66E-113	0.999	1.17E-155	1	1.47E-190	1	2.52E-199
2 y 3	0.994	4.75E-107	0.999	2.19E-146	1	7.56E-216	1	2.21E-217
3 y 4	1	9.73E-200	1	1.85E-209	1	1.93E-194	1	2.84E-179
4 y 5	1	4.24E-217	1	8.39E-221	1	3.65E-218	1	3.16E-180

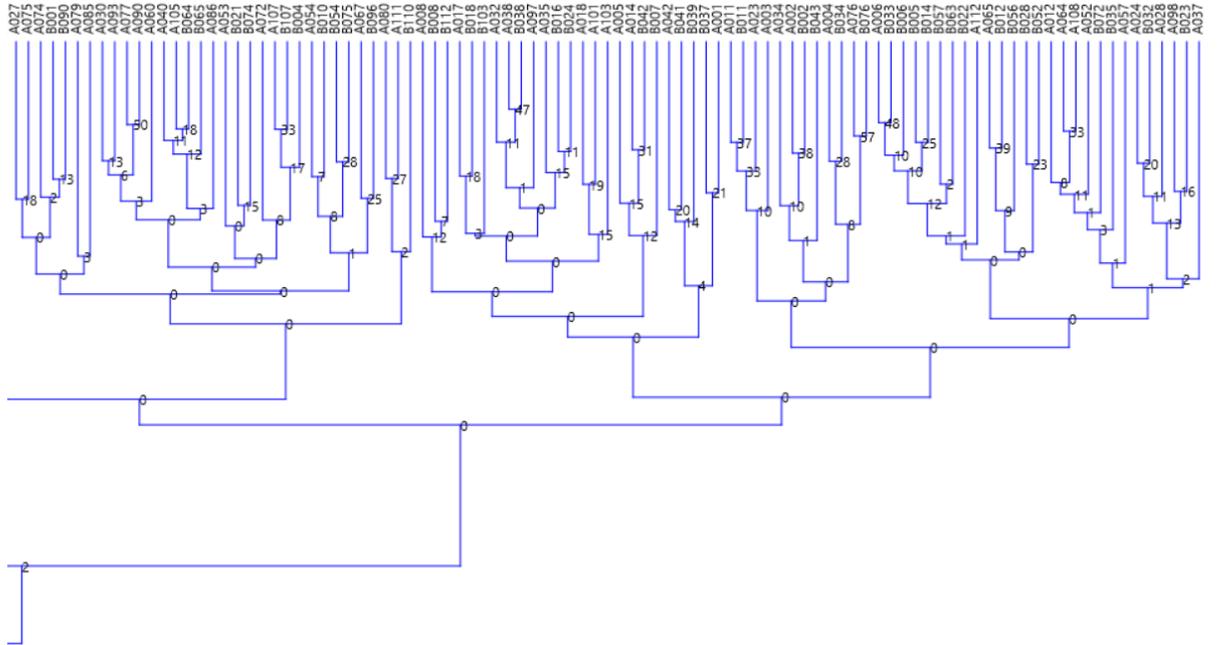
Anexos 6. Dendrograma de las muestras pretratamiento y postratamiento.



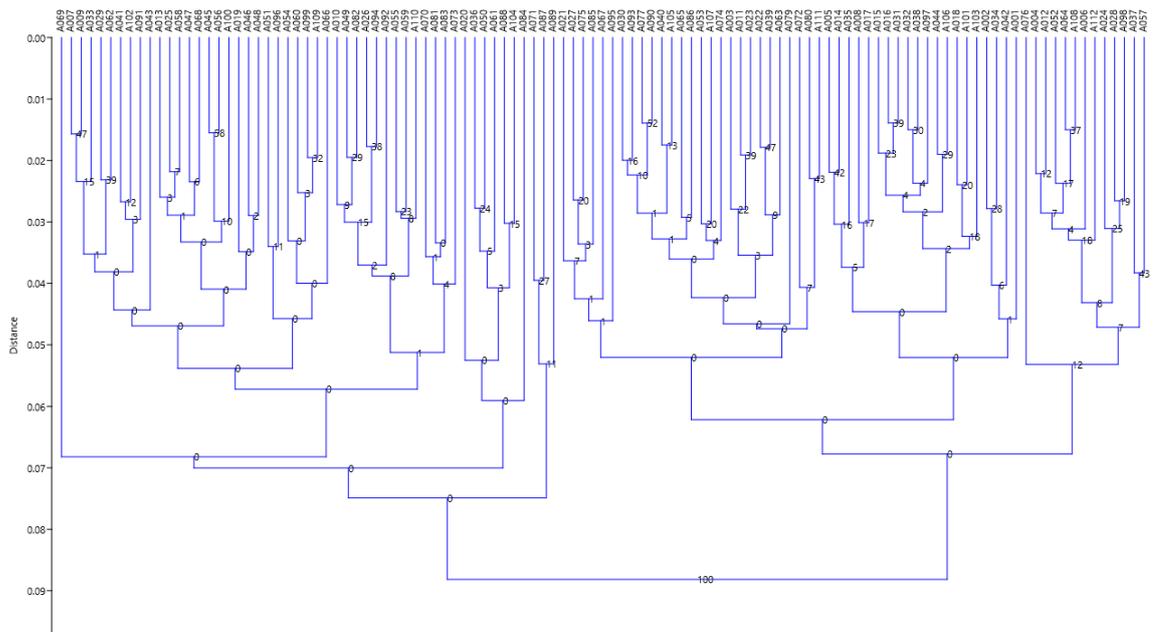
A)



B)



Anexo 7. Dendrograma de la muestra pretratamiento.



Anexo 8. Dendrograma de la muestra postratamiento.

