



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA
LICENCIATURA EN CIENCIA FORENSE**

**Evaluación de los umbrales de error en fotografía
científica aplicada a la antropología forense.**

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:

Karina Castro Martínez.



**CIENCIA
FORENSE**
U N A M

**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Mirsha Quinto Sánchez.**

(2020)

Noviembre



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.

Título del proyecto de Tesis: Evaluación de los umbrales de error en fotografía científica aplicada a la antropología forense.

Nombre de la alumna: Karina Castro Martínez.

Título que obtener: Licenciada en Ciencia Forense.

Director de Tesis: Dr. Mirsha Quinto Sánchez

Lugar donde se realizó la investigación: Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Financiamiento: El presente manuscrito es resultado del proyecto PAPIIT-DGAPA IA401818 "Proyecto NN: Colección Osteológica Nacional" y del Proyecto de Desarrollo científico para atender problemas nacionales PN-2016-2518 con el título "Proyecto NN: Protocolos de Identificación Humana, Colección Osteológica Nacional y Base de Datos de Personas No Identificadas y/o Desaparecidas.

Son varios factores los que influyeron en mi elección de carrera, pero pueden estar relacionados. Aparte de las situaciones y experiencias que he enfrentado día con día las causas que más resaltaría son:

El gusto por la ciencia y la investigación. Y que mejor que estar en la Licenciatura en Ciencia Forense donde adquiero conocimientos que tal vez sólo tendría si estudiara múltiples carreras.

La noción y satisfacción de que mi trabajo y conocimientos podrán beneficiar a muchas personas es muy importante para mí, además de que siempre he tenido el sueño o la intención de dejar huella en este mundo o en una pequeña parte de éste. Una de mis frases favoritas, y que tiene que ver con este punto, es la del escritor y abogado Albert Pike, el cual dijo: “Lo que hacemos por nosotros mismos muere con nosotros, lo que hacemos por los demás y por el mundo permanece y es inmortal”.

Finalmente, porque pienso fervientemente que es más fácil quejarse de la situación que vivimos en nuestro país, que actuar y contribuir para que haya un cambio por más diminuto que sea éste. México tiene un gran índice de delincuencia, y es muy frecuente la presencia de la injusticia y la corrupción. Sin embargo, considero que, mediante el uso de la ciencia forense bien aplicada, objetivamente, se pueden obtener las herramientas necesarias para que se resuelva justa real y correctamente un delito o una problemática sin dar oportunidad al mal manejo de la información.

Karina Castro Martínez, 13 de agosto de 2014 (Segundo semestre de la Licenciatura en Ciencia Forense).

Agradecimientos.

Agradezco a mi familia por todo el cariño y apoyo que me han brindado siempre y a mis padres por el esfuerzo que han realizado para darme todas las facilidades para que pueda desarrollarme en todos y cada uno de los ámbitos de mi vida.

Agradezco a mi director de tesis, el Dr. Mirsha Quinto Sánchez por presentarme la idea de realizar este proyecto afín a mi gusto por la fotografía forense, a la identificación humana y a mi idea de generar herramientas que permitan el desarrollo del trabajo y estudio forense y por demostrarme que la antropología no es sólo observar si un hueso tiene forma “grácil” o se ve “robusto” sino que puede tener una base científica y cuantitativa. Gracias también por hacerme parte del Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, por el apoyo, amistad y sobre todo la paciencia.

Gracias a la Red Temática en Ciencias Forenses por permitirme ser miembro de la Red y por preocuparse por fortalecer la generación, aplicación y difusión del conocimiento forense en nuestro país.

A la Dra. Gabriela Sánchez-Mejorada Millán y a la Mtra. Antinea Menéndez Garmendia por autorizarnos el acceso a la Colección-UNAM y por permitirme realizar mis tomas fotográficas dentro de las instalaciones del Laboratorio de Antropología Física del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la UNAM.

Gracias a la Dra. Ivet Gil Chavarría y a la Ing. Chantal Loyzance que, aunque no son mis tutoras de manera oficial, siempre se preocuparon por que este trabajo viera la luz.

Gracias a la Dra. Alexa Villavicencio Queijeiro quien me presentó a Mirsha y que junto con la Dra. María Elena Bravo Gómez, la Dra. Jennifer Hincapié Sánchez, la

Mtra. Alejandra Quijano Mateos, el Dr. Mariano Guardado y la Mtra. Luz Alejandra Castillo Alanís buscaron que formáramos un pensamiento crítico y a no limitarnos al conocimiento que recibimos dentro del aula sino a buscar información por nuestra cuenta (de fuentes decentes) a través de sus asignaturas, del taller de artículos científicos y el taller de tesis.

Al Mtro. Bruno Enrique Ramírez Ornelas, a Gabriela Ochoa y al profesor Fernando Méndez por introducirme al mundo de la fotografía forense e invitarme a realizar un diplomado y varios cursos sobre el tema, ese conocimiento me ha abierto muchas puertas.

Gracias a mis compañeros de la famosa primera generación de la Licenciatura en Ciencia Forense especialmente a Adriana por su amistad.

Gracias a todos mis profesores de la Licenciatura que me han dado las herramientas para desarrollarme académica y profesionalmente.

A mis compañeros del Instituto Nacional de Medicina Genómica Marian, Sergio, Carlos, Angy, Beto y por supuesto al "Doc" Mauricio Rodríguez por todo lo que me enseñaron durante el tiempo que duró mi servicio.

Gracias a mis camaradas del LAOF Leo, María, Monse, Valeria, Stefano y Paulina por todos los momentos que pasamos en el laboratorio, en los congresos y por las experiencias que compartimos realizando nuestras tesis.

Gracias a la Dra. Ana Pamela Romero Guerra y a la Lic. Daniela García González, mis jefas en la Comisión Ejecutiva de Atención a Víctimas y a mis compañeros de la Unidad de Análisis Forense por todo lo que aprendo de ustedes en la práctica Forense, así como a los profesionistas y familiares de personas desaparecidas con los que trabajé en campo, esa experiencia le dio una mejor perspectiva a este trabajo.

Gracias a mis Senseis y compañeros de Bujutsu que me han dado herramientas para crecer y mejorar todos los días como persona y por siempre ser un gran apoyo y contención dentro y fuera del tatami.

Llegue a sus manos este trabajo o no, finalmente agradezco a todas las personas que se han cruzado en algún punto de mi vida y que de alguna u otra manera han influenciado en formar a la persona quien soy, así como a las personas que con sus preguntas y comentarios ayudaron a que este trabajo mejorara y se robusteciera.

Índice

Resumen.....	12
Introducción.....	13
Planteamiento del problema.....	13
Fundamento teórico.....	16
Objetivo de investigación.....	26
Objetivos particulares.....	26
Hipótesis de investigación.....	27
Antecedentes.....	28
Metodología.....	41
Muestra.....	41
Normatividad respecto al uso de la muestra.....	41
El cráneo como modelo de análisis.....	42
Protocolo de fotografía científica forense para los experimentos.....	42
Sobre los dispositivos con sensor de imagen.....	43
Sobre los objetivos a utilizar.....	44
Montaje para la toma fotográfica científica.....	45
Fenotipado de los cráneos: Protocolo de <i>landmarks</i>	46
Estudio de error intraobservador.....	48
Diseño Experimental.....	49
Experimento 1: Estandarización del uso de testigo métricos o escalas.....	49
Experimento 2: Estandarización de la apertura del diafragma.....	52
Experimento 3: Comparación de la toma de medidas con fotografías y Microscribe.....	54
Experimento 4: Comparación del uso de distintos dispositivos de captura....	55
Resultados.....	57
Experimento 1: Estandarización del uso de testigo métricos o escalas.....	57
Experimento 2: Estandarización de la profundidad de campo en la toma fotográfica.....	66
Experimento 3: Comparación de la toma de medidas con fotografías y <i>Microscribe</i>	75

Experimento 4: Comparación del uso de distintos dispositivos de captura	77
Discusión.....	88
Sobre la colocación de la escala o testigo métrico.	88
Sobre la apertura del diafragma	92
Sobre la comparación entre el uso de fotografías y la medición directa vía digitalización 3D.....	94
Sobre el uso de distintos dispositivos fotográficos.....	95
Conclusiones.....	100
Declaratoria de no conflicto de interés	101
Referencias.	101

Índice de figuras.

Figura 1. Triángulo de la exposición: apertura, obturación e ISO.....	19
Figura 2. Profundidad del campo.	20
Figura 3. Sensibilidad de la luz (ISO): Se muestra distintos rangos de sensibilidad que van del 80 a 3200 (Depende del equipo fotográfico) y cómo a medida que aumenta el ISO, se incrementa el ruido mostrado en la imagen (Wineland, 2017).	22
Figura 4. Montaje del equipo.....	46
Figura 5. Protocolo de landmarks en norma frontal.....	48
Figura 6. Protocolo de landmarks en norma lateral.....	48
Figura 7. Colocación del testigo métrico o escala.	50
Figura 8. Diagrama de flujo del experimento 1.....	50
Figura 9. Establecimiento de los valores f.	53
Figura 10. Diagrama de flujo del experimento 2.....	53
Figura 11. Diagrama de flujo del experimento 3.....	54
Figura 12. Diagrama de flujo del experimento 4.....	55
Figura 13. Análisis de componentes principales del experimento 1 en norma frontal. Se presenta gráficas de dispersión para CP1-2, CP1-3 y CP2-3. Además, los polígonos de cambio, de la forma media al eje positivo para cada CP (componente simétrico de la variación).	59
Figura 14. Análisis de Variación Canónica del experimento 1 en norma frontal. Se muestra la gráfica del CV1 vs Cv2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada ACV.....	61
Figura 15. Análisis de componentes principales del experimento 1 en norma lateral. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente de la variación de forma, así como los polígonos de cambio de forma (wireframes).	63
Figura 16. Análisis de Variación Canónica del experimento 1 en norma lateral. Se muestra la gráfica del CV1 vs CV2, así como los polígonos de cambio de forma	

(wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos.	65
Figura 17. Análisis de componentes principales del experimento 2 en norma frontal. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.	68
Figura 18. Análisis de Variación Canónica del experimento 2 en norma frontal. Se muestra la gráfica del CV1 vs CV2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada ACV.....	70
Figura 19. Análisis de componentes principales del experimento 2 en norma lateral. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.	72
Figura 20. Análisis de Variación Canónica del experimento 2 en norma lateral. Se muestra la gráfica del CV1 vs CV2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada AVC.....	74
Figura 21. Análisis de componentes principales del experimento 4 en norma frontal. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.	79
Figura 22. Análisis de Variación Canónica del experimento 4 en norma frontal. Se muestra la gráfica del CV1 vs Cv2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos (izq) y positivos (der) de cada ACV.	82
Figura 23. Análisis de componentes principales del experimento 4 en norma lateral. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.	84
Figura 24. Análisis de Variación Canónica del experimento 4 en norma lateral. Se muestra la gráfica del CV1 vs Cv2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada ACV.....	87

Figura 25. Comparación entre la toma de medida directa y las fotografías tomadas colocando el testigo métrico en distintas posiciones.	90
Figura 26. Comparación entre la toma de medida directa y las fotografías tomada con un valor f determinado.	93
Figura 27. Anova de una vía con respecto a Cámara en norma frontal.	96
Figura 28. Anova de una via de Medida con respecto a Cámara en norma lateral.	96
Figura 29. Cráneo fotografiado con la Cámara Réflex Nikon 3300.	97
Figura 30. Cráneo fotografiado con la Cámara Bridge Sony DSC-HX200V.	97

Resumen.

La fotografía es una herramienta muy utilizada en la ciencia forense tanto en el trabajo de campo, como en el laboratorio, debido a que es un tipo de documentación esencial para recordar y demostrar cómo se encontraba el lugar de investigación y sus indicios. La disponibilidad del equipo fotográfico, el bajo costo de manutención, de operación y de resultados, dotan a la fotografía científica de una potencialidad única y generalizada en el área forense, y más concretamente, en antropología forense. Sin embargo, en la actualidad se emplea la fotografía con pocos protocolos de toma definidos, derivando en errores que no son considerados en las pruebas forenses y que pueden afectar los resultados e interpretaciones. En este contexto se tiene como objetivo establecer intervalos de error para determinados parámetros del equipo digital de fotografía, de toma fotográfica o de medición que permitan que la técnica fotográfica sea reproducible y repetible para los estudios antropológicos forenses, esto mediante cuatro experimentos controlados en laboratorio y el uso de diversos materiales osteológicos, en los que se evaluará la profundidad de campo, la posición del testigo métrico o escala y el uso de diversos equipos, con el fin de obtener guías útiles para el área antropológico forense que busquen conseguir tomas fotográficas que permitan obtener mediciones y análisis apegados a las características reales del sujeto/objeto conforme al “principio de la cadena”, el cual consiste en conseguir la mayor fidelidad posible entre la captura de la cámara, lo que se ve en la pantalla y lo que finalmente se observa en la impresión.

Introducción.

“La ciencia que se aparte de la justicia más que ciencia debe llamarse astucia”.

(Marco Tulio Cicerón).

La antropología forense se ha convertido en una herramienta fundamental para el esclarecimiento de investigaciones judiciales, se encarga de aplicar los conocimientos y estudios sobre la biodiversidad humana en un contexto legal. Es una especialidad de la antropología biológica que tiene como objetivo la identificación de personas, vivas o muertas a partir de rasgos somáticos (Madrigal & González-José, 2016). Dentro de la investigación antropológica es indispensable el uso de la fotografía forense durante la realización de sus estudios. Por tal motivo, este trabajo busca evaluar parámetros fotográficos con el fin de desarrollar técnicas estandarizadas de manera que se utilice un enfoque sistemático y organizado para la fotografía digital que permitan enriquecer el estudio antropológico o área forense en general, colocando a la fotografía como una herramienta de la que se pueden extraer datos y no solamente un tipo de documentación.

Planteamiento del problema.

La prueba pericial y el testimonio de los peritos han adquirido un papel de gran importancia en el proceso penal a raíz de que en junio de 2008 se publicara, en el Diario Oficial de la Federación, la reforma a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de justicia penal que, entre otros aspectos, cambia el sistema de justicia penal mexicano de uno inquisitivo mixto a uno adversarial (Pompeyo & López Orozco, 2014). Es por eso, que los expertos forenses deben contar con una preparación especial, ya que no sólo aportan datos, sino que emiten opiniones que tratan sobre la forma en que se produjo una acción sometida a investigación judicial (Pompeyo & López Orozco, 2014). La participación pericial es un elemento de la teoría del caso, que inicia desde el momento que la autoridad

ministerial toma conocimiento de un hecho hasta que se determina una sentencia condenatoria, de ahí su relevancia. Además, es necesario que la comunidad forense adopte metodologías más sólidas y normas más exigentes como lo publicó en su informe la Academia Nacional de Ciencias (NAS, por sus siglas en inglés) (Ferrucci, y otros, 2016).

La fotografía es una herramienta ampliamente utilizada en la ciencia forense, tanto en el trabajo de campo como en el laboratorio (Gestring, 2007) o en los juzgados en la presentación de evidencias, debido a que es un tipo de documentación esencial para recordar y demostrar cómo se encontraba el lugar de investigación y sus indicios (The United Nations Office on Drugs and Crime, 2009), es una disciplina que se usa como un recurso para obtener la máxima información en el menor tiempo posible, pues permite conocer datos que pasarían desapercibidos durante la observación a simple vista (Coordinación General de Servicios Periciales, 2015). La disponibilidad del equipo fotográfico digital, el bajo costo de mantenimiento, de operación y los resultados obtenidos por su uso, dotan a la fotografía de una potencialidad única y generalizada en el área forense, característica que se extiende al área de la antropología forense.

La Fiscalía General de la República menciona en su Protocolo para el Tratamiento e Identificación Forense que la fotografía debe ser utilizada para documentar el lugar de investigación, el examen externo e interno del cadáver, así como sus pertenencias para lograr que los familiares puedan identificar a un cadáver y/o sus pertenencias mediante fotografías siguiendo una serie de aspectos que deben ser considerados, las fotografías deben ser tomadas con una cámara digital (de ser posible), contar con un contraste (fondo), así como asear y organizar la estética del cadáver (Procuraduría General de la República, 2015). Además, la fotografía forense permite documentar visual y progresivamente la investigación científica de los delitos, ya que por medio de las imágenes se puede ilustrar, comprobar y determinar la existencia de un indicio en el lugar de investigación (Coordinación General de Servicios Periciales, 2015). Sin embargo, aunque en los

sistemas de medición tradicionales poco a poco se ha incluido la aportación fotográfica, aún no se le ha explotado todo el potencial que posee en la obtención de datos (Rodríguez Navarro, 2012) pues como dice el protocolo referido, el uso de la fotografía está plenamente enfocado en la documentación, cuando usando un protocolo fotográfico científico forense es posible derivar diversas cuantificaciones sobre dichas imágenes que permitan ser elementos para caracterizar aspectos de identificación humana como la estatura, peso aproximado, características morfológicas faciales, color de piel, etc. Es entonces que resulta la necesidad de la adecuación de los protocolos clásicos de fotografía forense para sintetizarlos bajo una perspectiva basada en evidencia, lo que permitirá aumentar la reproducibilidad, evitará diversos tipos de errores y estandarizará a los usuarios, además podría permitir que diversas pruebas de análisis de imagen puedan ser considerados como pruebas forenses.

En este contexto, el presente protocolo pretende evaluar de manera cuantitativa el efecto de algunos parámetros fotográficos: la escala o testigo métrico y la profundidad de campo, el dispositivo a emplear (centrándose únicamente en equipos digitales y no análogos), la medición con digitalizador 3D y por fotografías; intentando determinar umbrales de reproducibilidad y repetibilidad de dichos parámetros. Una vez establecidos los umbrales o rangos de error, se pretende estandarizar y protocolizar las metodologías de uso forense, mediante una perspectiva de fotografía científica en la antropología forense, y de esta manera obtener herramientas que permitan realizar las mediciones, estimaciones y/o el análisis en apego al “Principio de la cadena” o “*The True-Nature-Photography Principle*”, el cual consiste en conseguir la mayor fidelidad posible entre la captura de la cámara, lo que vemos en pantalla y lo que finalmente se observa en la impresión (Mellado, 2013), principio que determina que la toma tenga un umbral de error bajo y por ende se cuente con una repetibilidad y reproducibilidad altas. Cabe señalar que aun cuando el proceso fotográfico comprende desde el uso de la cámara hasta la impresión de la fotografía retratada, en este trabajo no se abordará

los temas de edición de imagen y la impresión, se abordará la captura y análisis de la imagen.

Fundamento teórico.

La fotografía.

La palabra fotografía significa “escribir con la luz”, proviene del griego $\phi\omega\tilde{\iota}\varsigma$ que significa “luz” y $\gamma\rho\acute{\alpha}\phi\omega$ que significa “rayar, dibujar o escribir” (Gestring, 2007). Se define como el proceso o el arte de producir imágenes de objetos en superficies sensibilizadas por la acción química de la luz o de otras formas de energía radiante (National Forensic Science Technology Center, 2013). La fotografía ha desempeñado un papel decisivo en la historia de la ciencia, es un instrumento que ha sido utilizado en descubrimientos fundamentales como los rayos X, la radioactividad, las partículas atómicas, la estructura de los genes, etc. (Cuevas Martín, 2006)

La cámara.

Todas las cámaras consisten en los mismos componentes básicos: una caja hermética a la luz, un método para enfocar la imagen en el plano de la imagen, un sensor de imagen para capturar y grabar la imagen, y algunos medios para controlar la exposición. Sin embargo, la historia del diseño de la cámara ha visto muchos desarrollos, que conducen a dispositivos cada vez más sofisticados y portátiles (Langford & Bilissi, 2011). Se puede clasificar en tres grupos los diferentes modelos de cámaras fotográficas, las diferencias entre ellos radican en su funcionalidad y en las dimensiones (Guerrero González-Valerio & Caballo Méndez, 2018).

Cámara compacta.

Las cámaras compactas, de bolsillo o *pocket* suelen ser las más pequeñas y también las que menos funcionalidad ofrecen. Son cámaras ideales para tomar fotografías en modo semiautomático o automático, y cuando no se requiera cambiar el objetivo (Guerrero González-Valerio & Caballo Méndez, 2018). Hay una gran variedad de cámaras compactas disponibles, la mayoría con *flash* incorporado, una gran variedad de modos de exposición y disparo, incluidos los modos de película y reducción de ojos rojos (Langford & Bilissi, 2011).

Curiosamente, las cámaras de teléfonos móviles son actualmente la parte de más rápido crecimiento en el mercado de cámaras digitales. La mejora en la resolución de píxeles del sensor, los componentes ópticos, el procesamiento de imágenes y la conectividad de las cámaras de los teléfonos móviles ha significado que, en cierta medida, hayan terminado compitiendo con el mercado digital compacto, al estar incorporadas en un dispositivo multifuncional (Langford & Bilissi, 2011).

Cámara puente.

Las cámaras puente o *bridge* son de mayor tamaño que las compactas y sus funcionalidades también aumentan (Guerrero González-Valerio & Caballo Méndez, 2018). Al igual que las compactas, lo más habitual es que cuenten con un objetivo fijo, estas tienden a tener lentes de *zoom* de gran alcance en lugar de lentes intercambiables y, por lo general, no incorporan un visor de reflejo de lente única, sino que utilizan una vista previa en una pantalla LCD (Langford & Bilissi, 2011).

Cámara Réflex.

También llamadas SLR (*Single Lens Reflex*), las cámaras réflex son las más funcionales y de mayor tamaño. La ventaja que ofrece esta cámara frente a las otras

es que en su interior cuentan con dos elementos que corrigen la inversión de la imagen y que permite ver al sujeto/objeto correctamente cuando miramos por el visor: por un lado, un espejo (situado a 45°) y un pentaprisma (prisma óptico situado dentro del visor), lo que proporciona una mayor precisión al componer la imagen (Guerrero González-Valerio & Caballo Méndez, 2018). La cámara réflex tiene dos partes bien diferenciadas: el cuerpo y puede tener una gama de lentes intercambiables, así como una variedad de accesorios disponibles (Langford & Bilissi, 2011).

Objetivo o lente.

El objetivo es uno de los componentes más importantes de la cámara fotográfica. Es un sistema óptico, formado por un conjunto de lentes y el diafragma de apertura del sistema.

Las lentes del objetivo proyectan los rayos de luz en un punto llamado imagen (Ananenko, 2016). La calidad de la imagen depende en gran medida de tener una buena lente. Sin embargo, todas las lentes están destinadas a un rango limitado de condiciones de trabajo (Langford & Bilissi, 2011).

Parámetros fotográficos.

La exposición fotográfica.

La creación de imágenes fotográficas parte de tres parámetros esenciales (Triángulo de la exposición, figura 1): la sensibilidad del sensor, el tiempo que se deja abierto el obturador de la cámara y el diámetro de la abertura de la lente, estos tres parámetros están interrelacionados cualquier modificación de alguno de ellos afecta a los otros dos (Gestring, 2007).

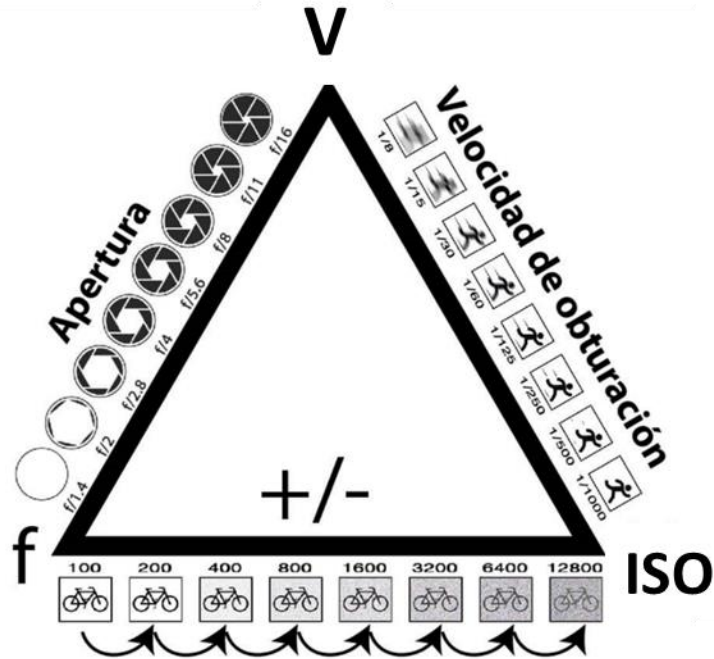


Figura 1. Triángulo de la exposición: apertura, obturación e ISO.

En los lentes existe un diafragma que controla el paso de luz al sensor, su tamaño cambia de acuerdo con diversos valores f , que expresan el tamaño de la apertura de éste. Dicho valor, está directamente relacionado con la profundidad de campo, zona de nitidez por delante y por detrás del punto de nitidez máxima (punto de enfoque). Mientras menor sea el valor f , la apertura del diafragma será mayor, lo que permitirá que la entrada de luz sea mayor y proporcionará una profundidad de campo baja (Gestring, 2007) (Profundidad del campo, figura 2); elemento esencial en la toma fotográfica científica ya que permite que las estructuras en estudio o análisis pueden estar perfectamente enfocadas en el denominado rango focal efectivo. Si utilizamos aperturas grandes de diafragma ($f/1$, $f/1.4$, $f/2$, $f/2.8$) obtendremos poca profundidad de campo. Al contrario, con aperturas pequeñas ($f/11$, $f/16$, $f/22$) la imagen tendrá gran profundidad de campo. Las grandes aperturas del diafragma reducen la nitidez sólo al objeto que está enfocado. Es decir, grandes aperturas revierten en poca profundidad de campo.

El objetivo de enfocar la cámara es ajustar el conjugado de la imagen para que sea estrictamente correcto, ya que todos los puntos del objeto se encuentran en un plano. Sin embargo, los objetos generalmente no se encuentran en un solo plano. Estos discos o círculos de confusión se definen como el diámetro del círculo de desenfoque de la imagen que no se distingue a simple vista (Generalmente cualquier detalle menor a 0.2mm), son secciones transversales del cono de luz que se enfoca detrás o enfrente de la superficie del sensor (Jacobson, Ray, Attridge, & Axford, 2000). Es un dato que se especifica el fabricante o se calcula dividiendo la distancia focal de lente equivalente a 35 mm entre la distancia focal de lente real (Fleming, 2005).

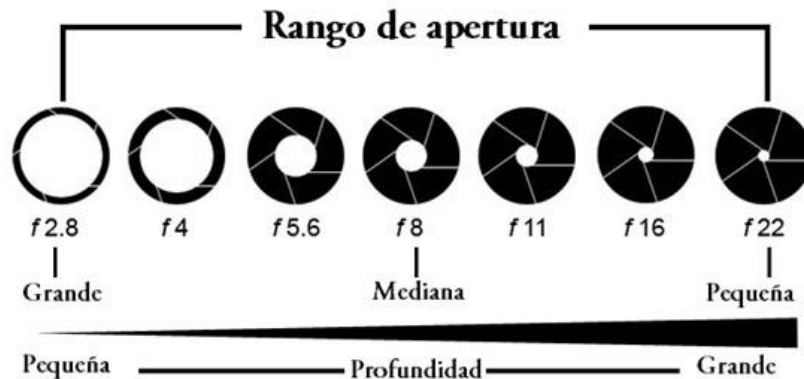


Figura 2. Profundidad del campo.

En la actualidad existen calculadoras de profundidad de campo que te permiten averiguar los ajustes de la cámara que necesitas para lograr un nivel deseado de nitidez. En las calculadoras, se especifica la cámara que se empleará, el tamaño del sensor o el círculo de confusión; la longitud focal (mm); la apertura; y la distancia del objeto/sujeto para calcular la profundidad de campo:

- Distancia hiperfocal: aquella distancia de enfoque que permite obtener una profundidad de campo que va desde la mitad de esta distancia hasta el infinito, está delimitada por tres parámetros: el tamaño del círculo de confusión, la distancia focal utilizada y la apertura del diafragma.

- Profundidad de campo: Zona de la imagen por delante y por detrás del objeto/sujeto principal (plano de enfoque) que consideramos suficientemente enfocada.
- Profundidad de campo, límite cercano: La distancia desde la que la nitidez de la imagen empieza a ser aceptable cuando enfocamos a una distancia determinada.
- Profundidad de campo, límite lejano: La distancia en la que la nitidez de la imagen deja de ser aceptable cuando enfocamos a una distancia determinada.
- Profundidad de campo, delante del objeto/sujeto: Distancia entre el límite cercano y el plano de enfoque.
- Profundidad de campo, detrás del objeto/sujeto: Distancia entre el límite lejano y el plano de enfoque (Ananenko, 2016).

El tercer parámetro fotográfico es la sensibilidad a la luz, expresado mediante un número ISO (*International Organization for Standardization*). En fotografía digital el ISO define la sensibilidad del sensor respecto a la luz. Cuanto mayor sea el número ISO, mayor será la sensibilidad a la luz (Sensibilidad de la luz (ISO), figura 3), esto conlleva a un aumento de ruido (Mellado, 2013). Lo habitual es utilizar sensibilidades altas en situaciones de menor iluminación, o cuando necesitemos velocidades de obturación muy altas o con valores de diafragma muy cerrado (Guerrero González-Valerio & Caballo Méndez, 2018).

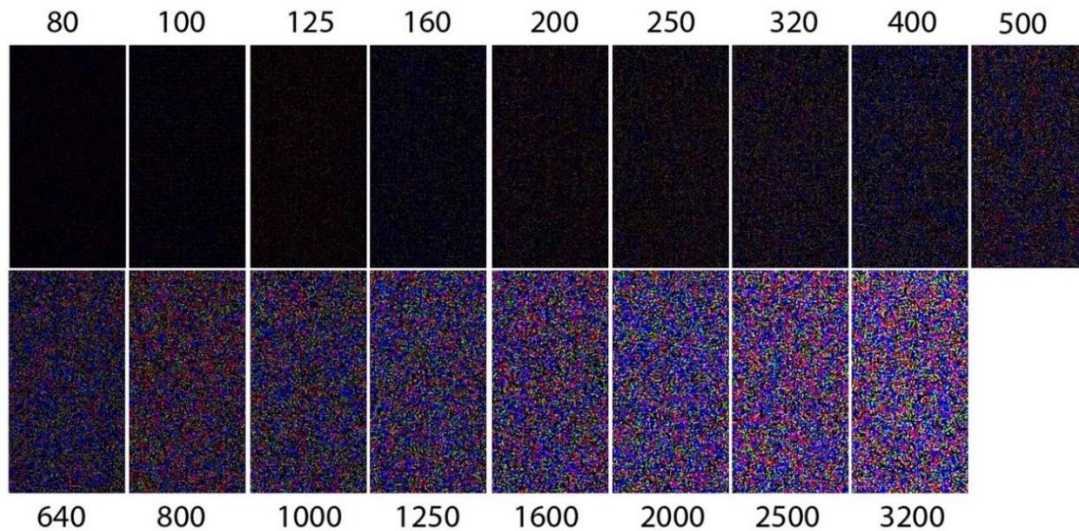


Figura 3. Sensibilidad de la luz (ISO): Se muestra distintos rangos de sensibilidad que van del 80 a 3200 (Depende del equipo fotográfico) y cómo a medida que aumenta el ISO, se incrementa el ruido mostrado en la imagen (Wineland, 2017).

La fotografía científica.

Alejandro Martínez menciona que la fotografía científica de investigación utiliza a la fotografía como un instrumento de observación, descripción y explicación, así como para proporcionar datos a las observaciones, descripciones, clasificaciones o para la formulación y comprobación de hipótesis (Martínez M., 1989).

La fotografía por su potencial adaptación a invariables situaciones ha llegado a diversos campos científicos, modificando las técnicas generales de obtención de imágenes para su aprovechamiento en cada rama específica. Por ejemplo:

1. La macrofotografía, es un tipo de imagen fotográfica donde el sujeto/objeto a fotografiar es muy pequeño. Para poder denominarse macrofotografía no debe superar los 10 aumentos (10x) y se utilizan objetivos macro, tubos y fuelles de extensión, así como lentes de aproximación para su realización.
2. La micrografía, se realiza con ayuda de un microscopio o estereoscopio pues son imágenes fotográficas mayores a 10 aumentos (10x).

Fotografía forense.

En casos forenses, la fotografía es probablemente el mejor método para recolectar y preservar evidencia (Balaji, Senapati, & Sumathi, 2014). Las fotografías proporcionan a los investigadores y a otros un registro visual permanente de la escena que puede analizarse o examinarse para su uso posterior. Proporciona medidas precisas y distancias entre objetos, que carece de bocetos. Las fotografías son imprescindibles en las audiencias judiciales y los juicios, ya que proporciona al juez, así como a los jurados, un registro visual permanente de la escena y las pruebas que se recopilaban. Independientemente de si una escena ha sido grabada en video, las fotografías son imprescindibles en cada escena del crimen. (Rohatgi & Kapoor, 2015).

Por ejemplo, la fotografía forense interviene en el estudio de huellas dactilares, el sistema de reconocimiento con fines de identificación está basado en el procesamiento de una imagen que se transmite a un computador con el fin de comparar una huella dubitativa contra huellas de referencias almacenadas en una base de datos para hallar la identidad de una persona (Díaz Rodríguez, 2013)

En los delitos donde se descubren marcas de mordida, se requiere una precisión fotográfica para el proceso de investigación, ya que en muchos casos las marcas de mordida pueden ser la única evidencia que vincula a un sospechoso en particular con el crimen. Los odontólogos forenses usan imágenes digitales para la recolección de evidencia de la víctima, para así realizar un análisis comparativo con personas de interés (Golden, 2011).

Las referencias métricas, escalas o testigos, como se pudo leer en el principio de esta sección, son de suma importancia en la praxis forense. Las fotografías destinadas a un escrutinio minucioso requieren que se incluyan escalas, reglas u otros dispositivos de medición en la fotografía. La elección individual de las reglas fotográficas es personal, pero se necesitará más de un tipo de reglillas dependiendo

del tamaño del objeto, su ubicación, la superficie en la que se encuentra, el contraste y la cantidad de luz (Duncan, 2010).

A partir de la publicación de del informe la Academia Nacional de Ciencias (Mencionado en las primeras páginas de este trabajo), William Hyzer y Thomas Krauss miembros de la Junta Estadounidense de Odontología Forense (ABFO, por sus siglas en inglés) publicaron especificaciones para su escala métrica "ABFO No. 2" con el fin de optimizar la capacidad de reconstruir una marca de mordida, trauma en la piel, una escena u objeto de una imagen. Estas son:

- Pieza rígida de plástico laminado en forma de L de 1 mm de espesor
- Marcas milimétricas con precisión de 0.1 mm o mejor
- El tamaño total es de 105 mm x 105 mm (aproximadamente 4" x 4")
- Las áreas grises tienen un valor de reflectancia de aproximadamente 18%
- Alternar barras en blanco y negro (1 cm) para permitir mediciones de fotografías extremadamente sobreexpuestas y subexpuestas.

Las especificaciones ABFO No. 2 han recibido un reconocimiento positivo por parte de la comunidad científica forense. Sin embargo, una revisión de escalas de fotos disponibles comercialmente muestra una falta de consistencia en calidad y precisión. Como resultado, se ha convertido en una práctica común para algunos investigadores y patólogos almacenar las escalas junto con la evidencia de la fotografía después de haber sido utilizadas (Theodore D. Doiron, 2013).

La caracterización de los umbrales de error en el ámbito de la fotografía forense.

Los análisis que derivan de mediciones resultan en variaciones en precisión, es decir, la cercanía de una medición a su verdadero valor. Una preocupación común a todos los métodos de análisis de dichos datos es el error de medición, que puede definirse como la variabilidad de las mediciones repetidas de un personaje en particular tomadas en el mismo individuo, en relación con su variabilidad entre

individuos en un grupo en particular (Bailey & Byrnes, 1990). Esto aplica adecuadamente a la toma fotográfica ya que, si no se controla protocolarmente, es de esperarse que la técnica fotográfica pueda implicar algún error sistemático en la toma realizada. La imprecisión en las mediciones (en este caso las tomas fotográficas) de caracteres probablemente tiene muchas fuentes, incluyendo: la falta de puntos de referencia de medición bien definidos, la flexibilidad de las estructuras, la experiencia de los investigadores en la realización de mediciones, la variación entre observadores o dentro de los observadores a través de sesiones de medición, la precisión del dispositivo de medición y las condiciones bajo las cuales a veces se realizan mediciones (Yezerinac, Loughheed, & Handford, 1992). En el caso de la fotografía se reporta que: Al trabajar en un nivel bidimensional cuando los objetos/sujetos son tridimensionales, las muestras deben estar orientadas constantemente debajo de la cámara, y se debe elegir un plano particular para esa orientación para evitar una distorsión (Zelditch, Swiderski, Sheets, & Fink, 2004).

Respecto al lente a emplear, las lentes de 50 mm son catalogadas como lentes estándar o primarios, ya que se considera que son equivalentes en distancia focal a el ojo humano y las imágenes que se obtienen de estos lentes tienen un aspecto natural (Třebický, Fialová, Kleisner, & Havlíček, 2016).

En cuanto al uso de escalas, por lo general se usan dos tipos de testigo métricos, una pequeña en forma de "L" para primeros planos y una versión recta más larga para fotografía general. Estas reglas tienden a tener un acabado. No se recomienda el uso de reglas de plástico comerciales, ya que las escalas a menudo son incorrectas y cuando se iluminan con *flash* crean grandes puntos calientes (Marsh, 2014).

Las fotografías deben tomarse directamente en ángulo recto, eliminando distorsiones de distancia probables para una visualización clara y cada parte de la evidencia debe fotografiarse con escala para indicar el tamaño y sin escala para mostrar la relación con la escena general (Gouse, Karnam, Girish, & Murgod, 2018).

Otros conceptos importantes al hablar de medición y el error de medición es la repetibilidad y reproducibilidad. La repetibilidad es la cercanía entre los resultados de mediciones sucesivas de la misma magnitud por medir, efectuadas en las mismas condiciones de medición. Las condiciones de repetibilidad incluyen: un mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición utilizado en las condiciones y un mismo lugar y repetición dentro de un periodo de tiempo corto. Mientras que la reproducibilidad es la cercanía entre los resultados de las mediciones de la misma magnitud por medir, efectuada bajo mediciones diferentes como pueden ser: el principio de medición, el método de medición, el observador, el instrumento de medición, el patrón de referencia, el lugar y las condiciones de uso y el tiempo (Quinto Sánchez M. E., 2016)

Objetivo de investigación.

Proponer, mediante experimentos controlados en laboratorio y el uso de diversos materiales osteológicos, intervalos de error para diversos parámetros del equipo de fotografía, de toma fotográfica o de medición: orientación de los testigos métricos o escalas, profundidad de campo (valores f), comparación de la toma de medidas craneofaciales digitales con fotografías y directas por medio del brazo digitalizador Microscribe así como uso de distintos dispositivos digitales de captura (celular, *tablet*, cámara tipo Réflex, cámara digital puente o *bridge*), que permitan que la técnica fotográfica sea reproducible y repetible para los estudios antropológicos forenses.

Objetivos particulares.

- Caracterizar intervalos de error para uso de testigos métricos o escalas en el proceso de obtención de mediciones digitales en cráneo (Experimento 1).
- Caracterizar umbrales de error asociados a mediciones digitales en tres condiciones de profundidad de campo (valores f) en fotografías frontales y laterales de cráneo (Experimento 2).

- Caracterizar intervalos de error en la comparación de la toma de medidas craneofaciales digitales con fotografías y directas por medio del brazo digitalizador Microscribe, que permitan que la técnica fotográfica sea reproducible y repetible para los estudios antropológicos forenses (Experimento 3).
- Caracterizar intervalos de error en la fijación del fenotipo craneofacial (forma) mediante comparación del uso de distintos dispositivos digitales de captura: celular marca Nokia, *Tablet* marca Apple, cámara tipo Réflex marca Nikon, cámara digital puente o *bridge* marca Nokia (Experimento 4).

Hipótesis de investigación.

Al proponer los umbrales de error de los parámetros fotográficos arriba descritos se aumentará la reproducibilidad y repetibilidad de la fotografía científica aplicada al campo antropológico forense ayudando a la construcción de protocolos mínimo-necesarios basados en evidencia.

Antecedentes.

“When I photograph, what I’m really doing is seeking answers to things”.

(Wynn Bullock).

Contexto histórico.

El antecedente de la fotografía fue el daguerrotipo, procedimiento que consistía en utilizar la luz natural para obtener una imagen sobre una placa metálica fotosensible, era utilizado en algunas prisiones de Bélgica, Inglaterra y Francia para registrar a los internos considerados como altamente peligrosos (Rosewarne & Sánchez Criado, 2017).

Durante más de 150 años, la fotografía ha añadido conocimientos vitales a las ciencias físicas, ambientales, biológicas, médicas, forenses, de los materiales y de la ingeniería (Terrence R., 2016). Alrededor del año de 1860, antropólogos buscaron proporcionar una base científica a la fotografía desarrollando métodos que permitieron obtener datos y medidas morfológicas estandarizadas. Varios de estos métodos se derivaron de los trabajos realizados por el biólogo Thomas Henry Huxley y el antropólogo J. H. Lamprey, quienes implementaron la norma frontal y la norma lateral en sus tomas fotográficas (Naranjo, 1998).

Los trabajos realizados por André Adolphe Eugène Disdéri y Ernest Eugène Appert permitieron un manejo práctico de las imágenes con la *carte de visite* o carta de vista, que fueron utilizadas entre los años 1871 y 1872 por los policías franceses para comparar rostros y registrar la media filiación al reverso de las tarjetas. Durante ese último año se instauró el Servicio de identificación de la Prefectura de Policía en París (Rodríguez Luevano, 2014).

A finales del siglo XIX, las comisarías de policía en Europa tenían secciones fotográficas para identificación de delincuentes; en 1888 Scotland Yard ya contaba con más de 14,000 retratos de los presos en Reino Unido. Mientras que en España, a raíz del aumento del bandolerismo, en 1870 se crearon álbumes de consulta para la Guardia Civil con fotografías de los delincuentes. A la par, se desarrollaron prácticas antropométricas para la investigación de la proporción del cuerpo humano mediante procedimientos de medición aplicados *ante mortem* o *post mortem* (Sánchez & Fernández, 2005).

Alrededor del año 1882, Alphonse Bertillon propuso que dentro de un depósito se obtengan los datos generales y los datos antropométricos de los imputados de la Prefectura de París. Bertillon obtenía determinadas medidas y registraba características del cuerpo que sufren poca variabilidad a lo largo del tiempo, así como señas particulares con el fin de contar con un registro que permitiera ubicar fácilmente a los reincidentes (Rodríguez Luevano, 2014). Incorporó también la fotografía a su método denominado sistema Bertillon, para lo que establece pautas que unifiquen la forma de realizar fotografías “signaléticas” (Sánchez & Fernández, 2005; Rosewarne & Sánchez Criado, 2017). Bertillon tomaba retratos de los sujetos en norma frontal y norma lateral manteniendo una iluminación y una distancia focal constante en todas las tomas, además colocaban una regla de 28 cm como referencia métrica (Rodríguez Luevano, 2014).

Desde 1936 se ha utilizado la superposición del cráneo con fotografías en muchas partes del mundo para solucionar casos del área forense con fines de identificación. Actualmente se utilizan para complementar las pruebas de ADN y el empleo de radiografías o para sustituirlas en caso de que, por alguna razón, éstas no se puedan aplicar. Sin embargo, esta prueba es muy subjetiva, debido a que no es una prueba estandarizada (Stephan, 2017).

En 1970 Cocks buscó la manera de cuantificar la superposición utilizando un método en el que comparaba puntos antropológicos marcados en una fotografía de

un rostro con los de un cráneo. Mientras que en 1987 Helmer y Griiner compararon distancias y ejes en lugar de puntos. En todos los casos, concluyeron que los cráneos, al igual que las huellas dactilares, poseen la característica de individualidad (Stephan, 2017), todos estos datos obtenidos de fotografías mediante estandarización de parámetros fotográficos.

La obtención de medidas de manera directa puede llevar mucho tiempo y tener un grado de error alto debido a la valoración subjetiva de quien realiza las medidas. Buscando mejorar la eficiencia del proceso de obtención de dichas medidas, desde inicios de los años 80 se ha venido sistematizando este proceso bajo el nombre de fotogrametría del rostro empleando procedimientos e instrumentos de medida exactos, uno de estos es la fotogrametría bidimensional (2D), técnica basada en la realización de las medidas a partir de las imágenes o fotografías. En cirugía plástica reconstructiva, por ejemplo, es aplicada para documentar y extraer datos cuantitativos obtenidos de las medidas del esqueleto o de los tejidos blandos del complejo craneofacial (Prieto & Salazar, 2019). En 1987, Furnas describió que la estandarización de las fotografías con una regla graduada junto al sujeto entrega una imagen a escala en donde puede estimarse el tamaño real de cualquier estructura (Suarzo Galsames, López Cortés, & Márquez Miranda, 2008), aunque no se siguió un modelo basado en evidencia.

Otra herramienta que se está utilizando es el video para realizar reconocimiento facial y morfometría (ej. estimación de la estatura) mediante una técnica llamada "fotogrametría inversa". En dicho proceso se ha evidenciado que el resultado empeora cuando factores de error como la ubicación, orientación, calidad óptica y electrónica de la cámara, número de cámaras (al menos 3 cámaras), así como la posición del objeto o sujeto de estudio (ej. la altura de una persona caminando, varía 6 cm) no son estandarizados en la toma (Russo, Gualdi-Russo, Pellegronelli, Balboni, & Furini, 2017; Zancajo-Blazquez, Gonzalez-Aguilera, Gonzalez-Jorge, & Hernandez-Lopez, 2015).

Contexto histórico en México.

En México, los reos buscaban ocultar su identidad al ser procesados, por lo que dificultaban el proceso de sentencia. En algunos casos, las señas particulares como cicatrices, tatuajes y lunares permitían la identificación (Rodríguez Luevano, 2014). Según Rosa Casanova y Oliver Debroise en el año de 1855 se introduce la fotografía en las prisiones para contar con el retrato de cada detenido (Rodríguez Luevano, 2014). En ese mismo año, se establece el Reglamento para retratar e identificar a los reos de las cárceles de la nación, así como un el Reglamento para asegurar la identidad de los reos (Rodríguez Luevano, 2014). Un año después, el editor del *Calendario Histórico de las Revoluciones de Méjico* publicó una muestra de la *Galería de criminales famosos* del fotógrafo Francisco Muñoz quien trabajaba basándose en el conocimiento europeo de la fotografía de criminales (Rodríguez Luevano, 2014).

En el año de 1871 Joaquín Díaz González, el fotógrafo de la cárcel de Belem, realizó una serie de peticiones parar mejorar el trabajo fotográfico en dicha cárcel de la Ciudad de México. Dentro de las peticiones estaba contar con un lugar especial para realizar las tomas fotográficas donde se pudiera tener un buen manejo de la luz, lo que derivó en el mejoramiento de los talleres fotográficos años después (Rodríguez Luevano, 2014).

Joaquín Díaz González fue sustituido por el fotógrafo Hilario Olaguibel en 1884 quien, según Álvaro Rodríguez Luévano, fue uno de los precursores e introductores del sistema antropométrico, adelantándose a las ideas que en ese entonces se desarrollaban en Europa que llegaban al país a través de los periódicos. Olaguibel trabajó en la cárcel de Belem de 1884 al año 1896 y durante estos años trabajó con las tarjetas de vista, manteniendo la pose de tres cuartos, la

norma lateral y la norma frontal, cuidado que el retrato guardara las características del reo y anotando los datos de este (Rodríguez Luevano, 2014).

El sistema de Bertillon llegó a México en el año de 1895 a la cárcel de Belem gracias al trabajo de Ignacio Fernández Ortigoza quien, entre otras cosas, estudió las formas tradicionales de registro de ingreso de los delincuentes y sus memorias sobre la Identificación de los presos se convirtió en una guía de operación fotográfica (Rodríguez Luevano, 2014).

En Puebla se destacan los trabajos de los médicos Francisco Martínez Baca y Manuel Vergara quienes trabajaron en la antigua penitenciaría de la ciudad de Puebla a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Sus aportaciones en antropología criminal estaban influenciadas por criminólogos como Lombroso, Benedict, Ferny, Gall y Lavater (Lagunas Rodríguez & Reyes Vázquez, 2009). En el laboratorio crearon instrumentos con los que valoraron métricamente a los criminales y caracterizaron su morfología. También registraban datos de identificación general, biografía, antecedentes delictivos de familiares, estados patológicos o afecciones del sistema nervioso y neuropatías (Lagunas Rodríguez & Reyes Vázquez, 2009).

Aunque dirigido por gente inexperta, en la penitenciaría de Guadalajara, se puso en práctica en 1899 la identificación antropométrica de los reos, mientras que en 1908 en la correccional para mujeres menores de edad de la Ciudad de México se estableció un gabinete antropométrico con el sistema de Bertillon (Lagunas Rodríguez & Reyes Vázquez, 2009).

En el año de 1973 el médico Luis Alberto Vargas Guadarrama y el antropólogo Mario Alva Rodríguez realizaron una investigación donde emplearon el método radiológico para la superposición craneal (Lagunas Rodríguez & Reyes Vázquez, 2009).

Los servicios periciales de la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal (PGJDF) resaltaron la necesidad de crear un sistema automatizado del retrato compuesto basado en los rasgos faciales de la población mexicana para su utilización en la identificación forense, por lo que en 1993 creó el proyecto llamado “La Cara del Mexicano” (CARAMEX) junto con el Instituto de Investigaciones Antropológicas y la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los trabajos eran dirigidos por Carlos Serrano Sánchez y María Villanueva Salgado por parte de la UNAM, Jesús Luy y Arturo Romano en representación de la PGJDF y el ingeniero Karl F. Link (Serrano, María, Luy, Link, & Romano Pacheco, 1998; Lagunas Rodríguez & Reyes Vázquez, 2009).

Fotografía forense actual en la fiscalía federal y en la fiscalía de la Ciudad de México.

La Fiscalía General de la República (FGR) dota a sus peritos del área de fotografía con un cuerpo de Cámara Digital Réflex, un lente normal, lente angular, lente macro, lente Zoom, flash externo, pilas para la cámara y el flash, cargador de Pilas, tarjetas de memoria, testigo métrico, flechas de diferentes medidas adheribles, cinta adherible transparente, marcadores (permanentes), lámpara, traje de bioseguridad (overol, guantes, gorros, zapatones, anteojos, caretas con filtro o equipo de respiración auto contenido) (Coordinación General de Servicios Periciales, 2015) para realizar las siguientes actividades:

- Fijación de lugares (*diligencias ministeriales, cateos, inspecciones, etc.*).

Fijación fotográfica del lugar de los hechos o hallazgo donde probablemente se cometió un hecho constitutivo de delito, así como todos los indicios localizados en él. Durante el desarrollo de esta actividad, la autoridad pretende encontrar e identificar lugares, circunstancias, personas, objetos e indicios, que se relacionen con el delito que se investiga, por lo que la fotografía forense ilustra y soporta el desarrollo de este tipo de diligencias.

- Fijación de objetos e indicios.

Fijación fotográfica de todo objeto, instrumento, huella, marca, rastro, señal, vestigio o demás elemento material de diverso origen y naturaleza que probablemente esté relacionado con un hecho constitutivo de delito, ya sea en el lugar de los hechos, en la sede ministerial o pericial, cuyo examen o estudio da las bases científicas a toda investigación. Los indicios o evidencias se fijarán con la mayor rapidez posible en virtud de que pueden presentarse cambios por diversas razones, ya sean climatológicos, accidentales o intencionales.

En esta fijación fotográfica es importante:

- a) Colocar un indicador alfanumérico correspondiente al indicio, así como el testigo métrico.
 - b) Preferentemente se debe utilizar un lente de 50 mm, dado que este lente proporciona una visión muy similar a la del ojo humano, aunque se podrá utilizar otro tipo de lente, dependiendo del tamaño del indicio, de las condiciones y circunstancias del lugar donde se encuentre.
 - c) Las tomas de acercamiento se realizarán ubicando la cámara por encima del nivel del indicio a fotografiar, a un ángulo de aproximadamente 90°, con la finalidad de evitar errores de paralaje y utilizando siempre el testigo métrico, el cual se coloca dentro del área del encuadre sin que haga intrusión sobre el indicio. La función del testigo métrico es mostrar el tamaño real del indicio, su ubicación será vertical u horizontal con respecto a la forma del indicio.
 - d) El perito también deberá de realizar la fijación fotográfica del embalaje de los indicios, así como la etiqueta correspondiente, utilizando el testigo métrico.
- Fijación de personas (detenidas, investigadas, víctimas o cadáveres).

Fijación fotográfica de un individuo, desde diversos ángulos, para poder apreciar sus caracteres cromáticos, morfológicos y señas particulares como tatuajes, cicatrices, quemaduras, manchas de nacimiento, heridas y malformaciones que lo diferencian de otros individuos. La filiación fotográfica de personas consta principalmente de cuatro tomas fotográficas: Toma del rostro visto de manera frontal, toma del perfil derecho del rostro, toma del perfil izquierdo del rostro y una toma de cuerpo completo.

En esta fijación fotográfica:

- a) La cámara se colocará siempre en forma vertical.
- b) Las tomas fotográficas se realizarán perpendicularmente a la cara y cuerpo de la persona, para ofrecer al observador una imagen mucho más amplia y precisa de la fisonomía del retratado.
- c) Las tomas de los perfiles deberán de ser a la misma medida que la fotografía de frente y con las orejas descubiertas.
- d) Cuando se realicen la toma fotográfica en una norma lateral, la persona deberá dar un giro completo de noventa grados a todo el cuerpo, no admitiéndose en ningún caso que el giro sea dado al rostro únicamente.
- e) En caso de que la persona utilice gafas, se tendrán que realizar dos tomas de frente, una con gafas y otra sin gafas.
- f) La técnica de iluminación a utilizarse será a criterio del perito, (ya que esta dependerá de las características de iluminación que prevalezca en el lugar), pero evitando producir sombras en el rostro de la persona, o en cualquier otra parte del cuerpo.
- g) Para que el contorno de la persona retratada tenga un buen contraste con el fondo de la fotografía, este tiene que ser preferentemente de color claro o en donde exista tabla de estatura.
- h) La posición correcta en la que debe estar la persona que se está identificando es erguida y mirando de frente a la cámara; en la fotografía de cuerpo entero, la persona debe estar de pie y las piernas en paralelo, los brazos también se

colocaran paralelos al cuerpo y nunca puestos en la cintura, cruzados o en la espalda, esto, para poder apreciar la constitución física general de la persona y sus proporciones corporales. En caso de víctimas, por lo general, a petición de la autoridad no se realizarán tomas del rostro con el fin de salvaguardar la identidad de esta. Sin embargo, se realizará la fijación fotográfica de todas y cada una de las lesiones que presente.

También se le pueden sacar fotografías a la persona de otras partes del cuerpo que tengan especial interés identificativo, tales como tatuajes, cicatrices, quemaduras, manchas de nacimiento, heridas y malformaciones, estas deberán de fijarse fotográficamente con testigo métrico, con la finalidad de estar en posibilidad de saber el tamaño real de estas; también se tendrán que realizar tomas relacionadas, acercamientos y grandes acercamientos según sea el caso.

- Fijación de Cadáveres.

Para fotografiar el rostro se establece como parámetros la limpieza del rostro, el uso de un fondo de contraste, la colocación sobre el tórax de una tarjeta que contenga el número de carpeta de investigación, fecha, ciudad y sexo, además de la utilización de un separador de labios para fotografiar los dientes anteriores. Para fotografiar el cuerpo, contempla como parámetros realizar una fotografía panorámica de todo el cuerpo, documentar señas particulares (tatuajes, cicatrices, malformaciones y cualquier otra particularidad) tanto en la cara anterior como posterior del cadáver (Procuraduría General de la República, 2015).

En el lugar de investigación, debe dejarse constancia de la posición del cadáver y de la condición de la vestimenta; la forma en que fue hallado y cuando fue movido.

La fijación fotográfica en necropsia.

Consta principalmente de las siguientes tomas fotográficas:

- Generales: muestran el estado general y conservación del cadáver, el embalaje y todo aquel elemento que permita su identificación y clasificación, (número de cadáver, fosa de localización, fecha y datos de la investigación).
- Tomas de identificación o filiación del cadáver: dependiendo de la ubicación anatómica, se toman las fotografías iniciando por la parte anterior del cadáver, desde la cabeza hasta las extremidades inferiores y luego se repite este procedimiento para la parte posterior.
- Medianos Acercamientos: ilustran la ubicación exacta de todas las lesiones y de la evidencia física hallada en el cadáver, y la relación que guarda una lesión con otra.
- Acercamientos: ilustran mejor y fielmente las características de las lesiones y de la evidencia hallada en el cadáver. Hay que tener en cuenta la importancia de utilizar el testigo métrico en las tomas de medianos acercamientos y grandes acercamientos ya que se convierte en el medio que define el tamaño relativo de la lesión y la evidencia física fotografiada.
- Grandes Acercamientos: ilustran maravillosos detalles de las características de las lesiones que a menudo pasan desapercibidos.

De acuerdo con el Protocolo de Minnesota sobre la Investigación de Muertes Potencialmente Ilícitas de la ONU, es fundamental contar con fotografías adecuadas para documentar detalladamente las conclusiones de la autopsia; las tomas fotográficas deben ser a color, bien enfocadas, buena exposición, tomadas con una cámara profesional, cada fotografía debe contener una indicación de la escala, un nombre o número que identifique el caso y debe dejarse constancia de la identidad de la persona que tomó las fotografías.

De forma particular durante el procedimiento de Necropsia:

- a) Deben incluirse fotografías en serie que reflejen la progresión del examen externo.

- b) Se debe fotografiar el cadáver antes y después de desvestirlo, lavarlo o limpiarlo y de afeitarlo.
- c) Las fotografías deben ser de amplio alcance y confirmar la presencia de todas las señales demostrables de lesiones o enfermedad que se comenten en el informe de la autopsia.
- d) Deben retratarse las características faciales de identidad (después de lavar o limpiar el cadáver) con fotografías de un aspecto frontal pleno de la cara y perfiles derecho e izquierdo de la cara con el pelo en posición normal y con el pelo retraído, en caso necesario, para revelar las orejas.
- e) Fotografiar todas las placas de los rayos X que se obtengan del cadáver.
- f) Fotografiar todo proyectil o fragmento importante de proyectil que se vea en una radiografía.
- g) Fotografiarse todos los objetos opacos a la radiografía (marcapasos, coyunturas o válvulas artificiales, fragmentos de arma blanca, etc.).
- h) Fotografiar todas las superficies, 100% de la superficie del cadáver.
- i) Fotografiar todas las lesiones, tomando dos fotografías en color de cada una, dejando en la etiqueta el número de identificación de la autopsia en una escala que esté orientada en forma paralela o perpendicular a la lesión.
- j) Fotografiar la dentadura postiza, si la hay.

- Fijación de hechos o circunstancias.

La reconstrucción de los hechos consiste en la reproducción de las condiciones y circunstancias en las que se presume que ha ocurrido un hecho constitutivo de delito. Su finalidad es verificar si testigos, inculpado, o víctima han declarado con la verdad; y establecer si se pudo cometer o no el delito.

Generalmente debe realizarse a la misma hora y en el mismo lugar en donde ocurrió el delito; cuando estas circunstancias tengan influencia en la determinación de los hechos que se reconstruyan; en caso contrario podrá efectuarse a cualquier hora y lugar.

Con base en la reconstrucción de los hechos, la criminalística analiza y considera las versiones de los inculpados, los testigos o las víctimas, y la fotografía forense forma parte esencial en esta actividad, ya que fijará fotográficamente las versiones de todos los que participan en la reconstrucción del hecho, realizando tomas desde diversos ángulos y perspectivas para mostrar claramente la posición y movimientos de las personas, y de la ubicación de los objetos y todo aquello contenido en el lugar, en donde se cometió el delito, para contribuir a formar la convicción del Juez o Autoridad Solicitante.

- La identificación antropométrica y/o análisis morfo-comparativo en personas vivas y cadáveres a partir de la confronta de fotografías cuando se duda si la persona detenida o la víctima es la misma que aparece en fotografías anteriores y se compara con imágenes fotográficas que se toman al momento del estudio con el propósito de su identificación.
- En la superposición o sobreposición fotográfica cara-cráneo buscando si existe correspondencia entre un cráneo y la fotografía de una persona desaparecida cuyo perfil biológico (sexo, edad, ancestría) coincide con el perfil biológico del cráneo; en los casos de Pornografía infantil a partir de fotografías y videos se diagnostica la afinidad biológica de las y los menores de edad a través de las características fenotípicas que presenten las personas observadas macroscópicamente y valorados a través del análisis somatológico.
- Para realizar la reconstrucción escultórica facial con el fin de orientar y aportar información sobre las características físicas faciales de un sujeto del cual se desconoce su identidad. (Procuraduría General de la República, 2018).

En la investigación publicada por la Fiscalía General de Justicia del Distrito Federal y realizada por la perito en fotografía Loida Gómez González se menciona, a modo de recomendaciones, que hay que poner atención en la composición de la toma para enfatizar al sujeto/objeto que se está fotografiando, realizar tomas

abiertas para mostrar la ubicación y localización del lugar de intervención y toma los cuatro puntos cardinales que ilustren todos los ángulos del lugar para incluir dentro de la imagen todos los indicios o evidencias que se relacionen con el hecho que se investiga, también se debe realizar un mediano acercamiento para mostrar la relación indicio-punto geográfico y grandes acercamientos para mostrar las características macroscópicas de cada uno de los indicios, estas últimas tomas deben ir acompañadas del testigo métrico. También expresa que el perito en fotografía debe ingresar al lugar de investigación siguiendo las medidas de seguridad adecuadas, trabajar en coordinación con las otras áreas periciales y seguir los procedimientos de la cadena de custodia (Gómez González, 2016).

Metodología.

“Photography helps people to see”
(Berenice Abbott).

Muestra.

En los distintos experimentos realizados, se utilizaron 24 cráneos de sujetos adultos, 12 cráneos de sexo femenino y 12 cráneos de sexo masculino, todos ellos provenientes de la colección de la Universidad Nacional Autónoma de México del Laboratorio de Antropología Física, del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina.

Normatividad respecto al uso de la muestra.

La Colección-UNAM, ha sido conformada siguiendo la normatividad establecida en los artículos 4° y 5° del capítulo tercero del Reglamento de Seguridad y Coordinación en Materia de Investigación para la Salud en la UNAM. Dicho reglamento se deriva de la Ley General de Salud y el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de la Disposición de Órganos, Tejidos y Cadáveres de Seres Humanos que regulan la utilización de cadáveres con fines de docencia e investigación en donde se menciona que los cadáveres no pueden ser objeto de propiedad y siempre serán tratados con respeto, dignidad.

Para la utilización de cadáveres o parte de ellos con fines de docencia e investigación se requiere el consentimiento del disponente en caso de que el cuerpo sea de una persona conocida; en el caso de que el cadáver sea de una persona desconocida su disposición estará sujeta a lo que señale el Ministerio Público, y las

instituciones educativas o de investigación que obtengan un cadáver serán depositarias de éste durante diez días, con objeto de dar oportunidad al cónyuge, concubinario, concubina o familiares para reclamarlos. En este lapso los cadáveres permanecerán en las instituciones y únicamente recibirán el tratamiento para su conservación y el manejo sanitario que señalen las disposiciones respectivas. Una vez concluido el plazo correspondiente sin reclamación, las instituciones educativas podrán utilizar el cadáver. Sin embargo, las instituciones educativas estarán obligadas a entregar los cadáveres que hubieren recibido para investigación o docencia, aún después de concluido el plazo de depósito, cuando lo solicite la autoridad competente o exista reclamación del disponente secundario, siempre y cuando no se haya dado destino final al cadáver (Ley General de Salud, 2018; Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Control Sanitario de la Disposición de Órganos, Tejidos y Cadáveres de Seres Humanos, 2012).

El cráneo como modelo de análisis.

Se seleccionó el cráneo como objeto de estudio, por su importancia en la identificación antropológica, así como por ser una estructura compleja, es decir, presenta muchos accidentes anatómicos que deben ser plasmados en la toma fotográfica. Al presentar esta complejidad anatómica, la extrapolación de los resultados aquí obtenidos a otros huesos más sencillos no deberá tener mayor problemática. Finalmente, la tridimensionalidad del cráneo permite evaluar los parámetros de fotográficos de interés (ej. distancia anteroposterior), que quizás permita extrapolar los datos otras áreas de las ciencias forenses que intenten fijar estructuras de similar complejidad.

Protocolo de fotografía científica forense para los experimentos.

Para el montaje y la toma fotográfica de los cráneos se utilizaron los siguientes materiales:

- Cámara Nikon D3300.
- Lente Nikon AF 50 mm 1:1.8 D.
- Cámara Sony DSC-HX200V.
- Tableta marca iPad Air.
- Celular marca Nokia Lumia 520.
- Mesa de reproducción fotográfica.
- Nivel.
- Escala 10 cm.
- Soporte universal y pinzas.
- Fondo negro.
- Dona de tela.

Sobre los dispositivos con sensor de imagen.

Para la realización de los experimentos se eligieron cuatro dispositivos para trabajar, ellos fueron tomados en cuenta bajo un criterio de uso forense, una cámara semiprofesional de lente intercambiable sensor Dx, una cámara puente, la cámara de una *Tablet* y la cámara de un celular. A continuación, se describen las características de cada dispositivo (tabla 1):

Tabla 1. Generalidades de los dispositivos a emplear para la captura de fotografías en todos los experimentos planteados.

Nikon D3300	
Píxeles efectivos (megapíxeles): 24.2 millones	Tipo de pantalla: TFT LCD con amplio ángulo de visión
Tamaño del sensor: 23.5 mm x 15.6 mm	Aprox. Dimensiones (ancho x altura x profundidad): 124 mm x 98 mm x 75.5 mm
Formato del sensor de imagen: DX	Aprox. Peso: 395 g (solo el cuerpo de la cámara)
Sensibilidad ISO: ISO 100 - 25,600	
Tamaño de pantalla: 3.0 pulg. Diagonal	
Sony DSC-HX200V	
Píxeles efectivos (megapíxeles): Aprox. 18,2	ISO 100-12800(automático superior), ISO 100-1600 (program auto)

Tamaño del sensor (pulg.): Tipo 1/2,3 (7,76 mm) Tipo de sensor: Sensor cmos exmor r™ Sensibilidad iso (rei): Iso100-3200 (iauto),	Peso (g): Aprox. 531 g (1 libra, 2,7 onzas) Dimensiones (ancho x altura x profundidad): 121,6 mm x 86,6 mm x 93,3 mm
iPad Air	
Pantalla Retina Pantalla Multi-Touch retroiluminada por LED de 9,7 pulgadas (en diagonal) con tecnología IPS Resolución de 2.048 por 1.536 a 264 píxeles por pulgada (p/p) Cubierta oleófuga antihuellas Fotos de 5 Mpx Iluminación posterior	Filtro de infrarrojos híbrido Enfoque por toque en fotos y vídeo Control táctil de la exposición en fotos y vídeo Fotos HDR Peso (g): 469 g Dimensiones (ancho x altura x profundidad): 240 mm x 169,5 mm x 75 mm
Nokia Lumia 520	
Pantalla con un tamaño de 4 pulgadas Resolución: 480 x 800 px Densidad: 233 ppi (píxeles por pulgada)	Cámara de 5 MP (2592 x 1936 px)

Sobre los objetivos a utilizar.

Los equipos contaban con los siguientes objetivos:

Tabla 2. Generalidades de los objetivos a emplear para la captura de fotografías en todos los experimentos.

AF Nikkor 50mm f/1.8D (Para la Nikon D3300)	
Formato: FX/35 mm Dimensiones (diámetro x longitud): 63.5 x 39 mm Aprox. Peso:155 g	Distancia focal: 50 mm Apertura máxima: f/ 1.8 Apertura máxima: f/ 1.8
Sony DSC-HX200V	
Zoom óptico: 30x Zoom de imagen nítida: 60x	F: F2,8 (G)- 5,6 (T) Distancia focal (F= mm): 4,8-144

Zoom digital: 18 M aprox. 120x / 10 M aprox. 161x / 5 M aprox. 226x / VGA aprox. 459x / 13 M (16:09) aprox. 120x / 2 M (16:09) aprox. 306x	Distancia focal (F= Conversión de 35 mm): 27-810
iPad Air	
Apertura de $f/ 2,4$ Enfoque automático Enfoque por toque en fotos y vídeo Detección facial Lente de cinco elementos	
Nokia Lumia 250	
No hay objetivo descrito en las fuentes de la marca, sólo Zoom Digital 4X	

Montaje para la toma fotográfica científica.

Los cuatro dispositivos se montaron en una mesa de reproducción fotográfica *Bercher Copy Mate II*, cada uno de los dispositivos se colocaron a determinadas alturas (tabla 3), con la intención de que los cráneos quedaran encuadrados y fijados de manera adecuada dentro del plano de cada cámara para evitar la distorsión causada por la coplanaridad, la proyección del punto fotográfico de una escena 3D en un plano 2D (Zelditch, Swiderski, Sheets, & Fink, 2004; Stephan, 2017) al momento de realizar la digitalización. El cráneo a analizar se colocó descansando sobre una bolsa de semillas en forma de anillo y bajo esta, un fondo negro (Montaje del equipo, figura 4). Todas las tomas se realizaron de manera manual, no se utilizó algún tipo de disparador a distancia.

Tabla 3. Alturas en las que se colocaron las cámaras.

Dispositivo	Altura
Nikon	79 cm
Sony	39 cm
iPad Air	38.6 cm
Nokia	38 cm

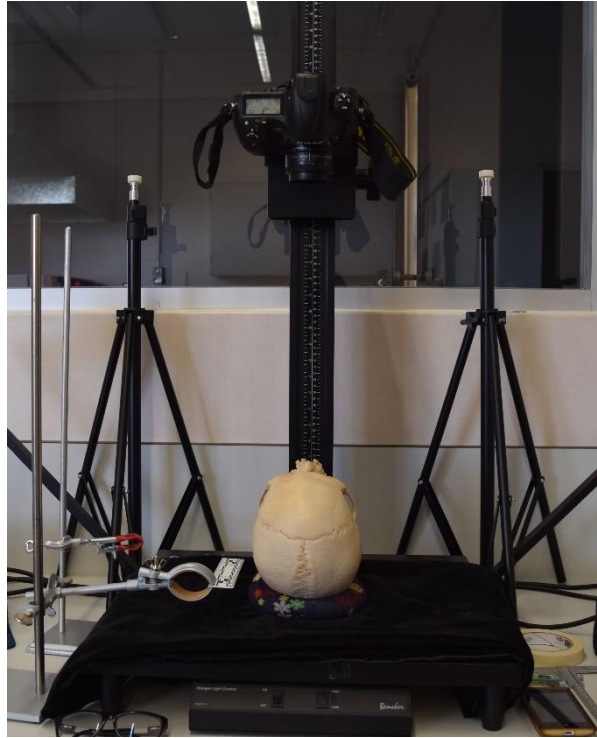


Figura 4. Montaje del equipo.

Fenotipado de los cráneos: Protocolo de *landmarks*.

Muchas de las herramientas para el análisis morfológico en antropología forense implican el uso de la morfometría geométrica, que comprende el estudio de la forma craneofacial a partir del desplazamiento en el plano (2D) o espacio (3D) de un conjunto de puntos morfométricos o *landmarks* (González-José, y otros, 2006). Las imágenes con una escala de referencia, tomadas usando un cefalómetro radiográfico o una cámara fotográfica pueden usarse como fuente para recolectar puntos de referencia (Lele & Richtsmeier, 2001).

Un *landmark* es un punto bidimensional o tridimensional que corresponde a la posición de una característica particular en un objeto de interés (Lele & Richtsmeier, 2001), es un *locus* anatómico que debe ser reconocido como el mismo en todos los organismos en estudio (Zelditch, Swiderski, Sheets, & Fink, 2004).

Una de las primeras decisiones que debe tomar un investigador es la selección de *landmarks* para abordar una pregunta de investigación (Lele & Richtsmeier, 2001), para seleccionarlos se debe considerar que los *landmarks* deberían:

- Ser loci anatómicos homólogos
- No alterar su topología de posición respecto de otros puntos
- Crear una adecuada cobertura de la morfología en estudio
- Deben poder ser hallados persistentemente y ser reproducibles
- Deben encontrarse en el mismo plano cuando se busca estudiar objetos tridimensionales en imágenes bidimensionales.

Para realizar los experimentos abajo descritos, se emplea las técnicas de digitalización de la morfometría geométrica. Para ello, las fotografías frontales y laterales se digitalizaron, escalaron y procesaron mediante los *softwares* gratuitos TPSUtil y TPSDig. TPSRelw se utilizó para convertir las fotografías tomadas en archivos .tps con los que se trabajarán en TPSDig, software utilizado para capturar las coordenadas de los *landmarks* sobre las fotografías (Rohlf, 2015).

Los experimentos realizados están estandarizados con un protocolo de 16 *landmarks* en la norma frontal (figura 5) y 10 *landmarks* en la norma lateral (figura 6). Los *Landmarks* seleccionados en este trabajo corresponden a puntos cronométricos, puntos específicos y establecidos que poseen una importancia anatómica (Lele & Richtsmeier, 2001).

Toma frontal.

No. Landmark	Punto
1	Bregma
2,8	Frontomalar anterior
3,7	Zygoorbitale
4,6	Dacryon
5	Nasion
9,16	Zygion
10,15	Zigomaxilare
11,13	Alare
12	Rhinion
14	Subspinale

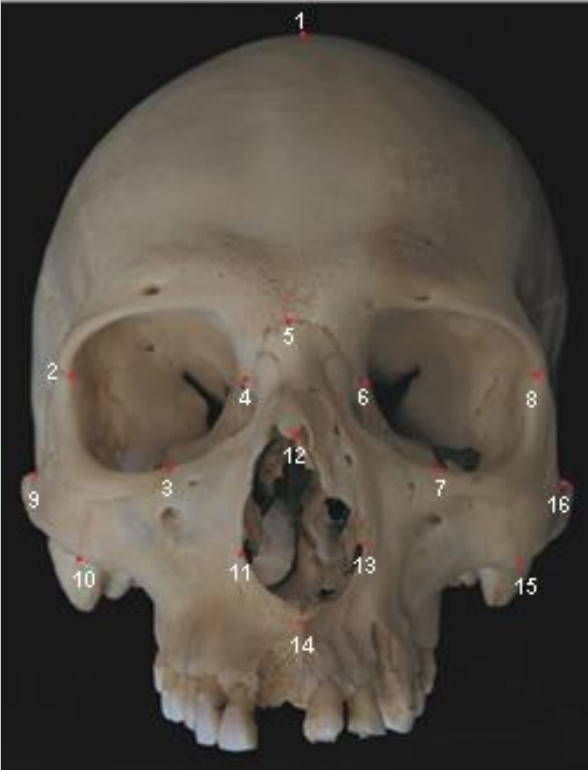


Figura 5. Protocolo de landmarks en norma frontal.

Toma lateral

No. Landmark	Punto
1	Subspinale
2	Zygoorbitale
3	Nasion
4	Bregma
5	Lambda
6	Asterion
7	Porion
8	Zigotemporal inferior
9	Zigotemporal superior
10	Zigomaxilare




Figura 6. Protocolo de landmarks en norma lateral.

Estudio de error intraobservador.

En los experimentos donde se evaluó el uso de testigos métricos o escalas, así como la profundidad de campo en la toma fotográfica, se realizaron tres rondas con un mes de diferencia entre ellas de cada uno de los 24 cráneos en norma frontal y lateral siguiendo el protocolo de *landmarks* (página 46). Mientras que en el experimento donde se evalúa la toma de medidas con fotografías y *Microscribe* y el uso de distintos dispositivos de captura, se realizaron dos rondas con un mes de diferencia entre ellas de cada uno de los 24 cráneos en norma frontal y lateral siguiendo el protocolo de *landmarks* (página 46). Este pequeño diseño asegura que entre las dos o tres iteraciones que se realizaron los resultados son similares en términos estadísticos, eliminando así cualquier evidencia sobre algún error dentro del proceso de fenotipado.

Diseño Experimental.

La presente tesis siguió cuatro experimentos en las que se probarán distintas variables y/o parámetros fotográficos, a continuación, se detallan cada uno de ellos.

Experimento 1: Estandarización del uso de testigo métricos o escalas.

Después de realizar el montaje fotográfico descrito anteriormente (página 45) y utilizando un cuerpo de cámara réflex Nikon D3300 con un objetivo Nikon AF 50mm 1:1.8 D, se colocó la escala o el testigo métrico a tres distancias distintas con relación al cráneo: en la parte anterior, media y posterior empleando un soporte universal con una pinza para sujeción de la escala (Colocación del testigo métrico o escala, figura 7), como un medio para controlar el movimiento y posición de esta.

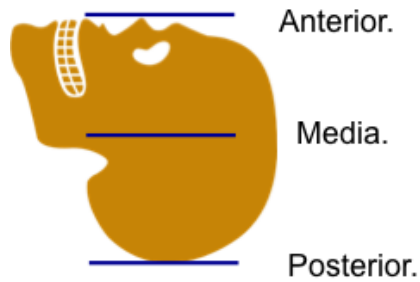


Figura 7. Colocación del testigo métrico o escala.

Se tomaron fotografías de los cráneos en norma frontal y lateral, cuidando que el cráneo a fotografiar se encontrara colocado respecto al plano de Frankfurt (plano que pasa por el punto infraorbitario y porion). Se realizaron dos sesiones fotográficas con un mes de diferencia para evaluar el grado de error asociado al montaje del equipo (Diagrama de flujo del experimento 1, figura 8). Una vez obtenidas las imágenes, se aplicó el protocolo de *landmarks* (página 46) con el software TPS DIG 2.

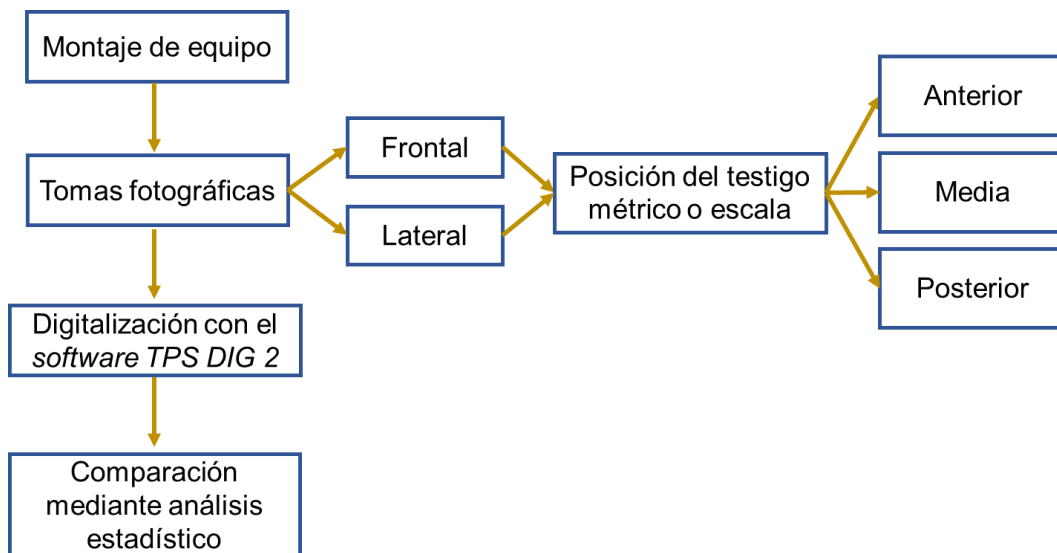


Figura 8. Diagrama de flujo del experimento 1.

Análisis estadístico.

La base de datos de *landmarks* se estandarizó por medio del ajuste de Procrustes (Rohlf & Slice, 1990) . Se integraron los datos al programa *MorphoJ* (Klingenberg, 2011) junto con un archivo de tres variables clasificatorias: Un número de identificación (ID), la colocación de la escala y el número de ronda.

Las variaciones morfológicas entre organismos se pueden trazar en un morfoespacio (espacio multivariante de análisis de formas biológicas) donde la distribución de individuos o grupos en dicho espacio proporcionan información útil sobre la complejidad estructural de la comunidad o fenómeno en estudio (Klingenberg, 2011; Farré, Tuset, Maynou, Recasens, & Lombarte, 2016) en este caso mediante las variables clasificatorias, se busca si hay alguna diferencia rastreada en el morfoespacio analizado, si el efecto de la escala o testigo es importante se espera verlo reflejado en alguno de los análisis a continuación planteados.

El programa *MorphoJ* obtiene la forma media de toda la muestra y calcula las coordenadas de Procrustes y *centroid size* (tamaño). Posteriormente, se generó la matriz de covarianza a partir de la cual se realizó un análisis de componentes principales (ACP), método algebraico-estadístico que trata de sintetizar y dar una estructura a la información contenida en una matriz de datos (Lozares Colina & López Roldán, 1991; Klingenberg, 2011). En este caso el ACP, permite caracterizar las principales fuentes de covariación entre los datos analizados, empleando los clasificadores de escala e iteración. Después, se aplicó un análisis de variación canónica (ACV), método estadístico que busca cuantificar la validez de la relación entre grupos conocidos *a priori*, por medio de la discriminación de conjuntos de variables múltiples (Badii, Castillo, Cortez, Wong, & Villalpando, 2007; Klingenberg, 2011), en este caso si la escala discriminaba entre los datos. Además se calcularon las distancias de Mahalanobis, medida introducidas por Mahalanobis en 1936, que tienen la función de determinar la similitud-diferencia entre dos o varios grupos o

variables respuesta (Escobedo Portillo & Salas Plata Mendoza, 2008; Klingenberg, 2011), es decir, permite cuantificar el parecido con respecto a la posición de la escala y si este efecto es significativo en términos estadísticos.

Experimento 2: Estandarización de la apertura del diafragma.

Después de realizar el montaje fotográfico descrito (página 45) y utilizando un cuerpo de cámara réflex Nikon D3300 con un objetivo Nikon AF 50mm 1:1.8 D, se calculó el número f óptimo mediante la calculadora *online* de profundidad de campo *DOFMaster* (<https://www.dofmaster.com/dofjs.html>). Para realizar dicho cálculo, en el *software* se debe señalar el modelo de la cámara, la longitud focal, el valor f seleccionado y la distancia del sujeto/objeto respecto a la cámara.

A partir de una base de datos conformada por 781 cráneos humanos (Quinto Sánchez, 2010), se obtuvieron los valores mínimo, medio y máximo de las distancias conformadas por los puntos craneométricos prosthion - opistocranion los cuales fueron de 16.3 cm, 19.2 cm y 22.4 cm respectivamente, así como las distancias conformadas por los puntos eurion izquierdo - eurion derecho los cuales fueron 11.3 cm, 13.3 cm y 15.6 cm, por lo que se seleccionaron los datos máximos para la obtención del número f . Para los parámetros obtenidos se determinó que el valor f óptimo es 22. Después se seleccionaron otros dos valores f para comprobar si la pérdida de profundidad de campo afectaba el modelo, esto es un el valor más bajo que el objetivo permitirá $f/1.8$ y $f/6.3$ (Establecimiento de los valores f , figura 9; Diagrama de flujo del experimento 2, figura 10).

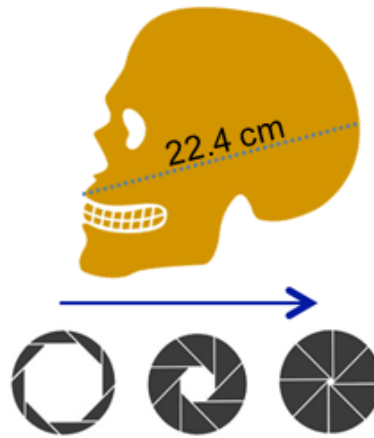


Figura 9. Establecimiento de los valores f .

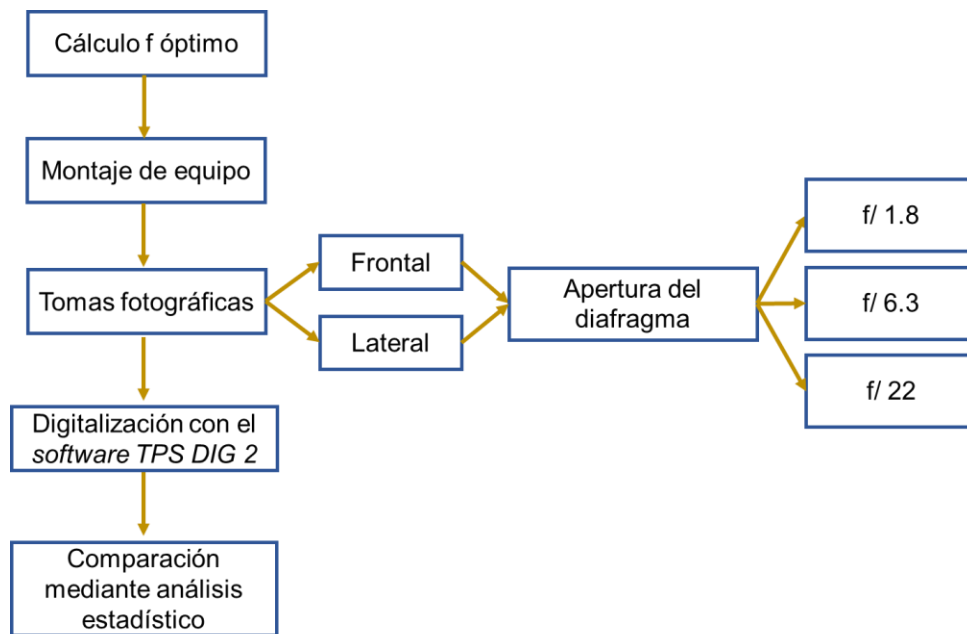


Figura 10. Diagrama de flujo del experimento 2.

Al igual que en el experimento 1, la base de datos de *landmarks* se estandarizó por medio del ajuste de Procrustes. Se integraron los datos al programa *MorphoJ* junto con un archivo de tres variables clasificatorias: Un número de identificación (ID), el número f (apertura del diafragma) y el número de ronda. El programa obtiene la forma media de la totalidad de los cráneos y calcula las coordenadas de Procrustes, *centroid size*, la matriz de covarianza, la suma de los cuadrados de Procrustes y la suma tangente de los mismos.

La secuencia de análisis fue la misma: 1) matriz de covarianza, 2) análisis de componentes principales (ACP) y 3) un análisis de variación canónica (AVC), ahora tomando en cuenta como clasificación a priori el número f . Es importante recordar que el patrón de similitud/diferencias se analizará mediante distancias de Mahalanobis y la significación estadística que arroja el programa.

Experimento 3: Comparación de la toma de medidas con fotografías y Microscribe.

Tomando las coordenadas de *landmarks* obtenidas por el Dr. Jorge A. Gómez-Valdés con el digitalizador *Microscribe* G2, de veinticuatro cráneos de la Colección UNAM se derivaron 12 distancias en norma frontal y nueve distancias en norma lateral por medio de la fórmula de distancia entre dos puntos (eliminando de la fórmula la variable Z para poder realizar las comparaciones requeridas).

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

El mismo set de distancias se obtuvieron con la digitalización en las fotografías para conocer la discrepancia entre las medidas obtenidas mediante fotografía y las medidas obtenidas mediante el digitalizador *Microscribe* (Diagrama de flujo del experimento 3, figura11).

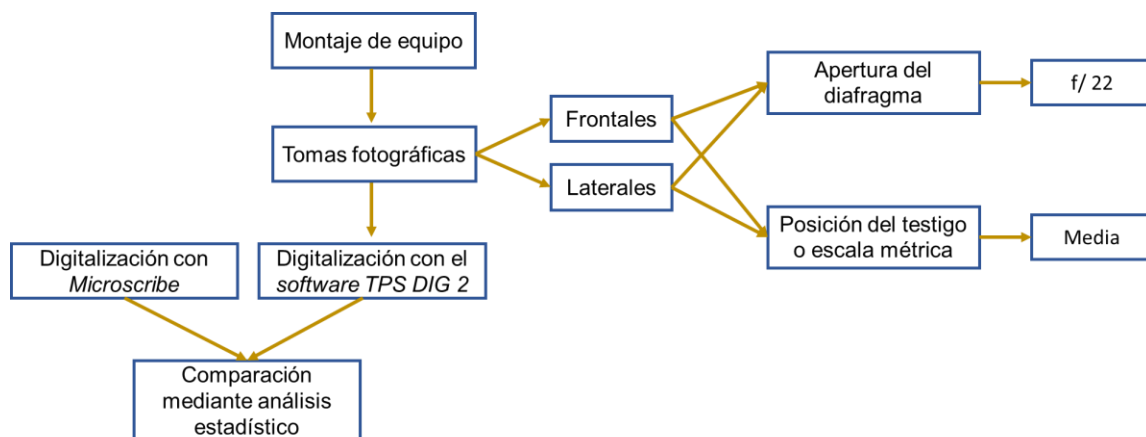


Figura 11. Diagrama de flujo del experimento 3.

La base de datos de las distancias obtenidas con el *Microscribe* y las distancias obtenidas digitalmente se compararon por medio de un análisis de varianza de una vía (ANOVA), método que se ha implementado en el *software JMP 11* (Jones & Sall, 2011).

Experimento 4: Comparación del uso de distintos dispositivos de captura.

En este experimento se pretende conocer la reproducibilidad de diversas cámaras semiprofesionales, tabletas y celulares en el marco de la obtención de imágenes para uso científico forense. De esta manera, se comparó el uso de un cuerpo de cámara réflex Nikon D3300 (con un objetivo Nikon AF 50mm 1:1.8 D), una cámara digital puente o *bridge* Sony DSC-HX200V, un iPad Air y un celular Nokia Lumia 520. Se tomaron fotografías de los cráneos en norma frontal y lateral, cuidando que el cráneo a fotografiar esté colocado respecto al plano de Frankfurt (plano que pasa por el punto infraorbitario y porion). Se realizaron dos sesiones fotográficas con un mes de diferencia para evaluar el grado de error asociado al montaje del equipo y el tiempo transcurrido (Diagrama de flujo del experimento 4, figura 12).

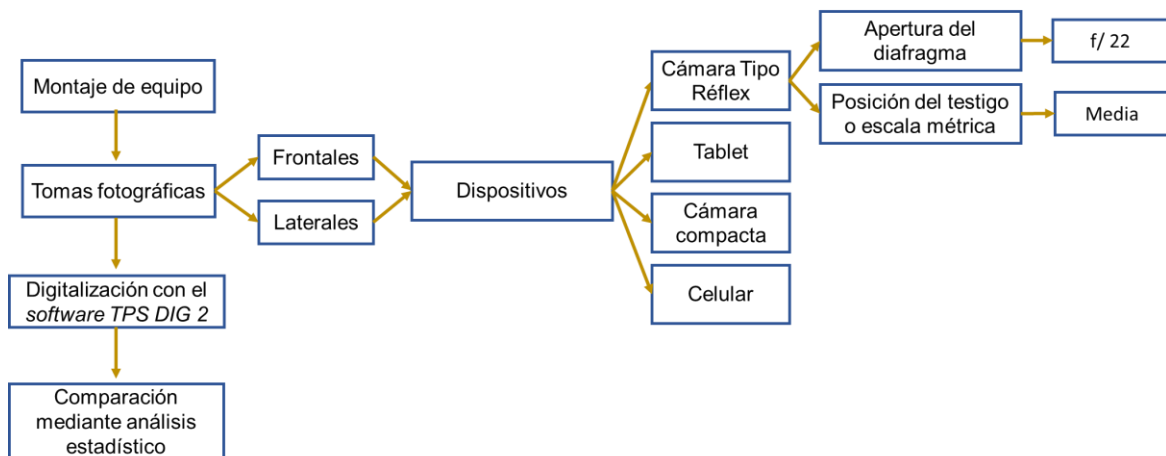


Figura 12. Diagrama de flujo del experimento 4.

Al igual que en el experimento 1 y 2, la base de datos de *landmarks* se estandarizó por medio del ajuste de Procrustes. Se integraron los datos al programa *MorphoJ* junto con un archivo de tres variables clasificatorias: Un número de

identificación (ID), el dispositivo fotográfico empleado y el número de ronda. El programa obtiene la forma media de la totalidad de los cráneos y calcula las coordenadas de Procrustes, *centroid size*, la matriz de covarianza, la suma de los cuadrados de Procrustes y la suma tangente de los mismos.

El flujo de análisis fue: 1) matriz de covarianza, 2) un análisis de componentes principales (ACP) y 3) un análisis de variación canónica (AVC) evaluando el patrón de similitud/diferencia con las distancias de Mahalanobis y el valor p .

Resultados.

“El éxito es una ciencia, si tienes las condiciones, obtendrás el resultado” (Oscar Wilde).

Experimento 1: Estandarización del uso de testigo métricos o escalas.

Análisis de componentes principales: norma frontal.

Una vez obtenidas las coordenadas se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el programa *MorphoJ* para observar las características de la variación respecto a la colocación de la escala o testigo métrico (Parte anterior, media o posterior). El ACP resultó en 14 componentes principales (tabla 4) para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto; en el componente principal nueve se logra el 95.062% de la varianza explicada generando un morfoespacio con una varianza total de 0.00296930.

Tabla 4. Resultados del ACP del experimento 1 en norma frontal. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.00104654	35.245	35.245
2	0.00054688	18.418	53.663
3	0.00029865	10.058	63.721
4	0.00028141	9.477	73.198
5	0.00023761	8.002	81.2
6	0.00015797	5.32	86.521
7	0.00010193	3.433	89.953
8	0.00008584	2.891	92.844
9	0.00006586	2.218	95.062
10	0.00005113	1.722	96.784

11	0.00003589	1.209	97.993
12	0.00002841	0.957	98.95
13	0.00002162	0.728	99.678
14	0.00000957	0.322	100

En la figura 13, se presenta el morfoespacio del CP1, CP2 y CP3 con un 63.721% de la varianza total de la muestra. Se puede observar que no existe una diferencia clara entre cada una de las diversas posiciones de las escalas o testigos métricos.

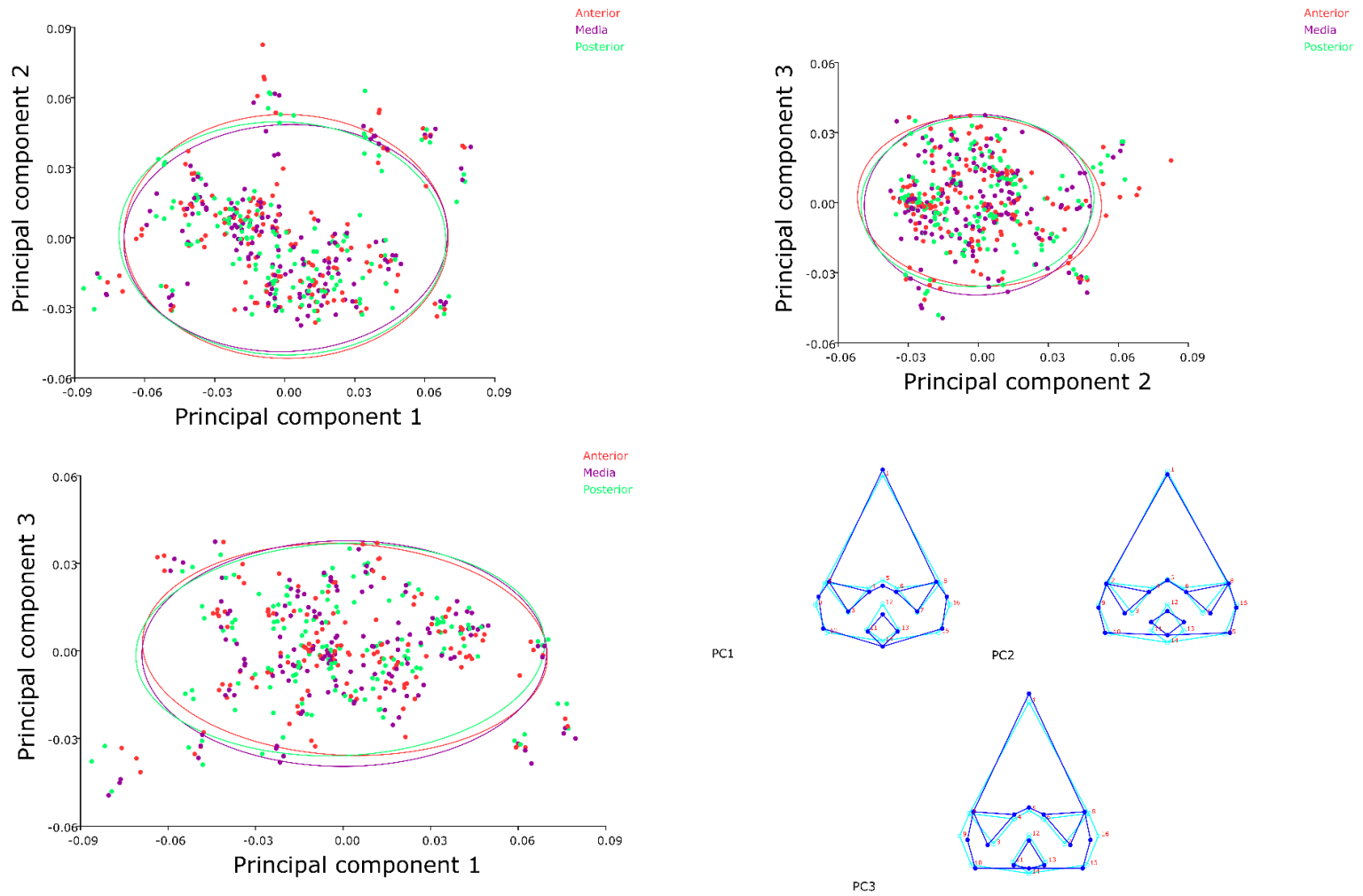


Figura 13. Análisis de componentes principales del experimento 1 en norma frontal. Se presenta gráficas de dispersión para CP1-2, CP1-3 y CP2-3. Además, los polígonos de cambio, de la forma media al eje positivo para cada CP (componente simétrico de la variación).

Análisis de variación canónica (AVC): norma frontal.

La generación del AVC resultó en dos ejes canónicos para explicar el 100% de la varianza entre grupos, es decir, testigos métricos (tabla 5; figura 14).

Tabla 5. Resultados del AVC del experimento 1 en norma frontal. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.0108556	64.23	64.23
2	0.0060456	35.77	100

La tabla 6, presenta las distancias de Mahalanobis entre cada pareo posible, resultando que no existen diferencias significativas entre estas (*valor-p* entre paréntesis).

Tabla 6. Distancias de Mahalanobis entre las diferentes posiciones empleadas en el experimento 1 para las fotografías en norma frontal, entre paréntesis se presenta el valor *p* de significación estadística.

Colocación de la escala	Anterior	Media
Media	0.1949 (0.9992)	
Posterior	0.2506 (0.9921)	0.2243 (0.9976)

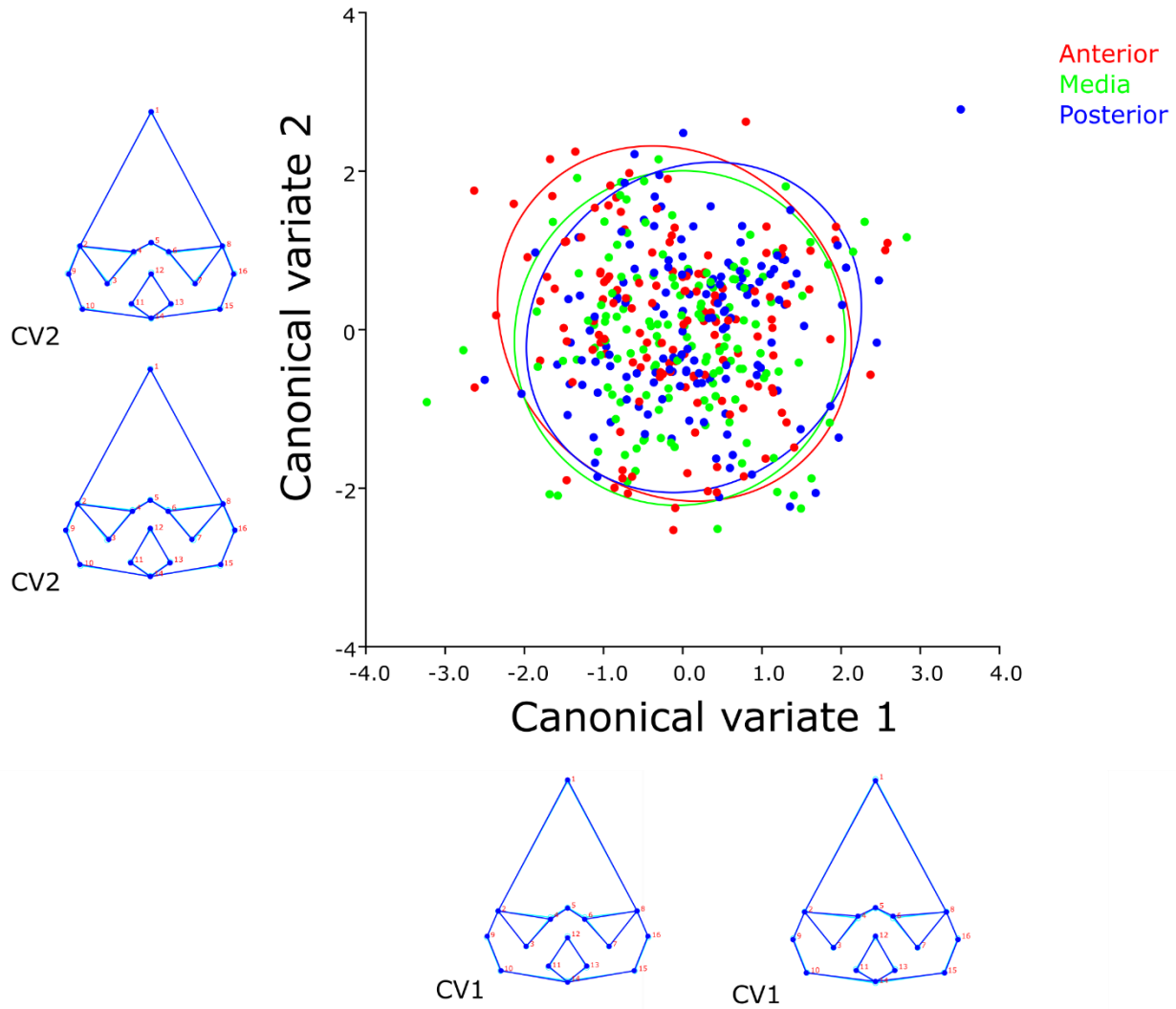


Figura 14. Análisis de Variación Canónica del experimento 1 en norma frontal. Se muestra la gráfica del CV1 vs Cv2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada ACV.

Análisis de Componentes Principales: norma lateral.

Una vez obtenidas las coordenadas se realizó un análisis de componente principales (ACP) con el programa MorphoJ para observar las características de la variación respecto a la colocación de la escala o testigo métrico (Parte anterior, media o posterior) ahora en norma lateral. El ACP resultó en 16 componentes principales (tabla 7) para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto; en el componente principal diez se logra el 94.958% de la varianza explicada generando un morfoespacio con una varianza total de 0.00323834.

Tabla 7. Resultados del ACP del experimento 1 en la norma lateral. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.0009978	30.812	30.812
2	0.00051805	15.997	46.81
3	0.00044415	13.715	60.525
4	0.00035891	11.083	71.608
5	0.00023563	7.276	78.884
6	0.00018562	5.732	84.616
7	0.0001114	3.44	88.056
8	0.00009563	2.953	91.009
9	0.00007471	2.307	93.316
10	0.00005315	1.641	94.958
11	0.00004758	1.469	96.427
12	0.00003758	1.161	97.587
13	0.00002855	0.882	98.469
14	0.00002461	0.76	99.229
15	0.000016	0.494	99.723
16	0.00000897	0.277	100

En la figura 16 se presenta el morfoespacio del CP1, CP2 y CP3 con un 60.525% de la varianza total de la muestra. Se puede observar que no existe una diferencia clara entre cada una de las diversas posiciones de las escalas o testigos métricos.

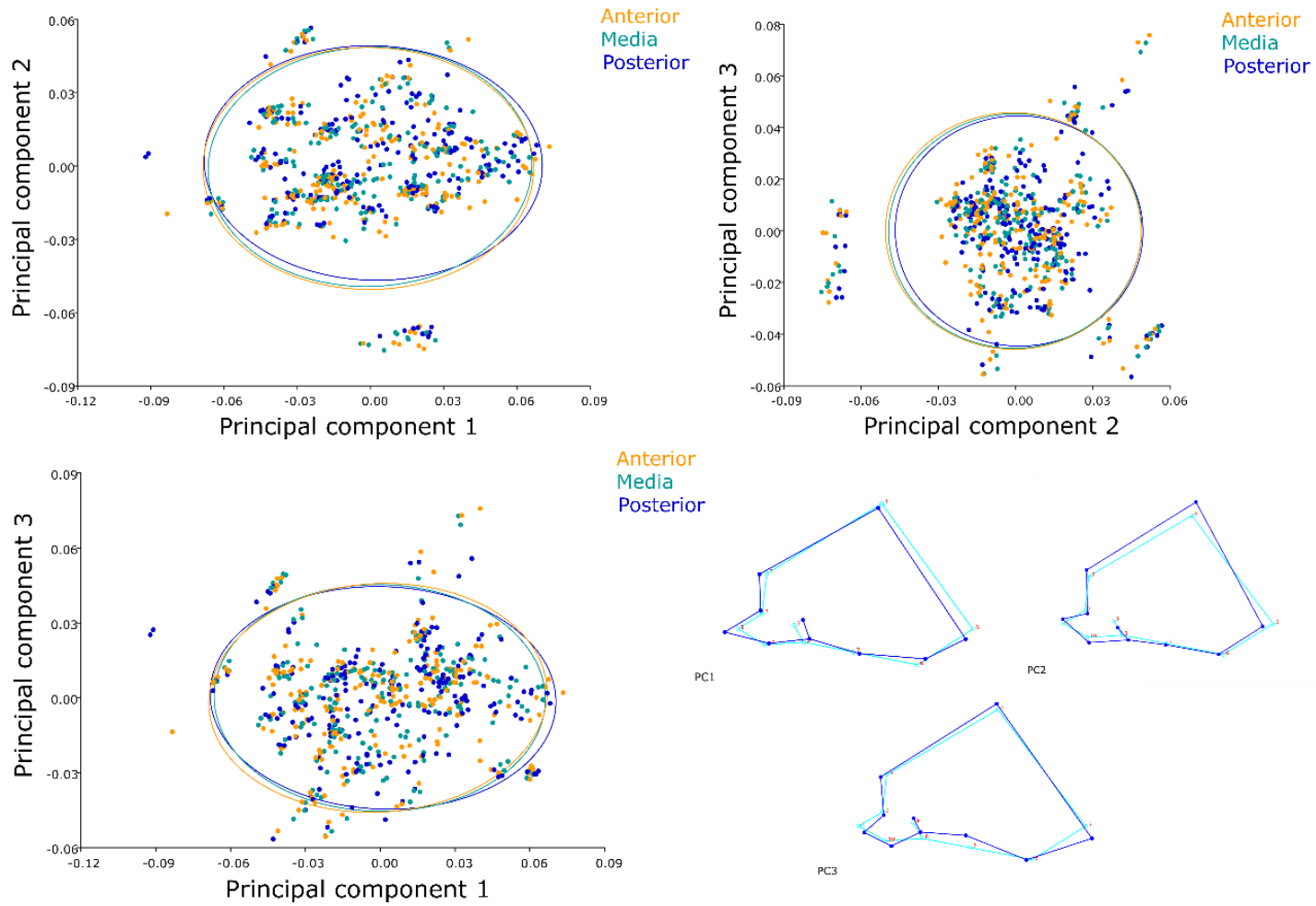


Figura 15. Análisis de componentes principales del experimento 1 en norma lateral. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente de la variación de forma, así como los polígonos de cambio de forma (wireframes).

Análisis De Variación Canónica: norma lateral.

El análisis del morfoespacio del AVC resultó en dos ejes canónicos para explicar el 100% de la varianza entre grupos (tabla 8; figura 16).

Tabla 8. Resultados del ACV del experimento 2 en norma lateral. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1.	0.00960106	88.223	88.223
2.	0.00128161	11.777	100.000

La tabla 9, presenta las distancias de Mahalanobis entre cada pareo posible, donde no existen diferencias significativas entre estas (valor p entre paréntesis).

Tabla 9. Distancias de Mahalanobis del experimento1 en norma lateral.

Posición de la escala	Anterior	Media
Media	0.0929 (1.0000)	
Posterior	0.2245 (0.9920)	0.1961 (0.9993)

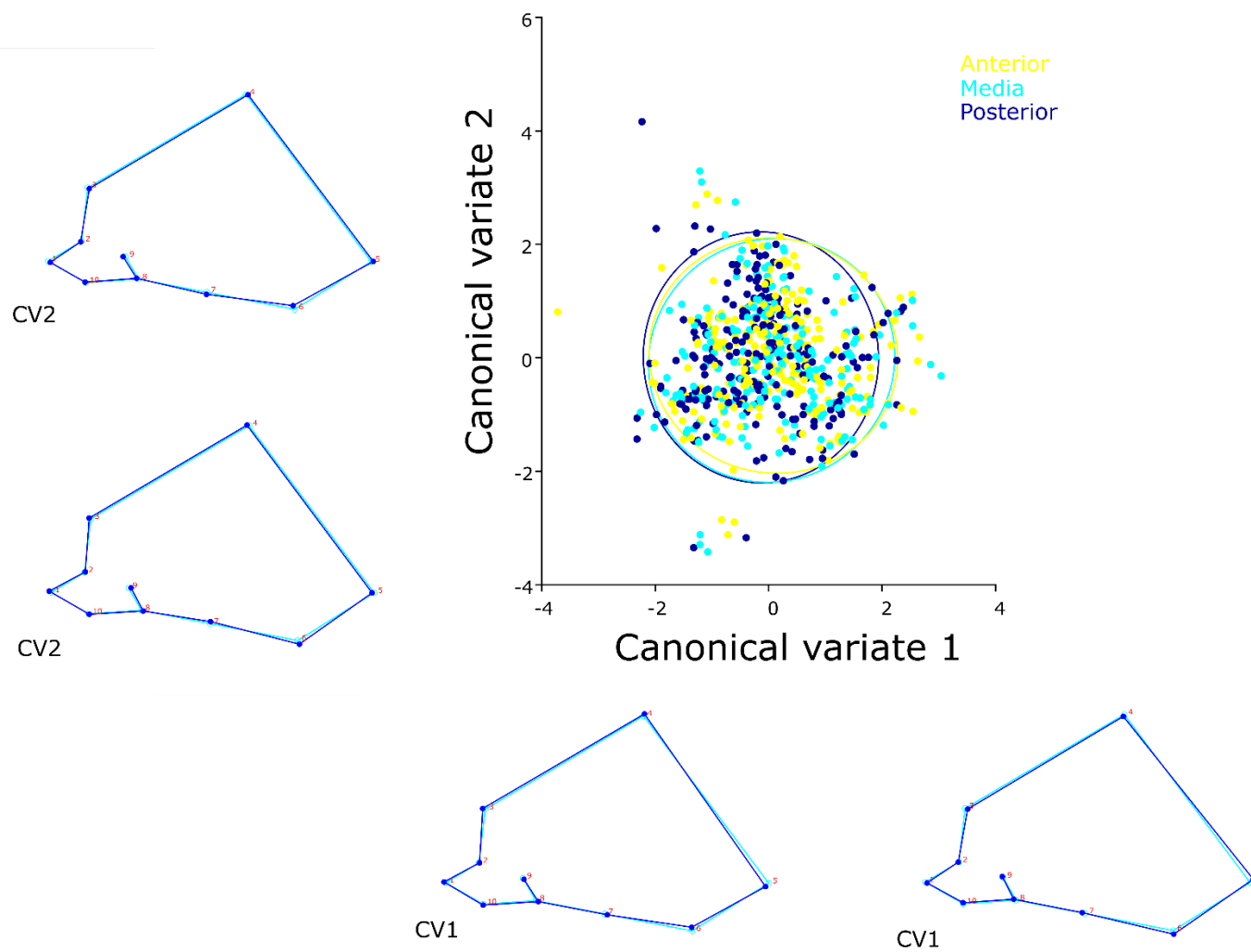


Figura 16. Análisis de Variación Canónica del experimento 1 en norma lateral. Se muestra la gráfica del CV1 vs CV2, así como los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos.

Experimento 2: Estandarización de la profundidad de campo en la toma fotográfica.

Análisis de componentes principales: norma frontal.

Una vez obtenidas las coordenadas se realizó un análisis de componente principales (ACP) con el programa *MorphoJ* para observar las características de la variación respecto a la profundidad de campo (f/ 1.8, f/ 6.5 y f/ 22). El ACP resultó en 14 componentes principales para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto; en el componente principal nueve se logra el 95% de la varianza explicada generando un morfoespacio con una varianza total de 0.00296930 (tabla 10).

Tabla 10. Resultados del ACP del experimento 2. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.00104654	35.245	35.245
2	0.00054688	18.418	53.663
3	0.00029865	10.058	63.721
4	0.00028141	9.477	73.198
5	0.00023761	8.002	81.2
6	0.00015797	5.32	86.521
7	0.00010193	3.433	89.953
8	0.00008584	2.891	92.844
9	0.00006586	2.218	95.062
10	0.00005113	1.722	96.784
11	0.00003589	1.209	97.993
12	0.00002841	0.957	98.95
13	0.00002162	0.728	99.678
14	0.00000957	0.322	100

Sobre el PC1 se describe un eje asociado a valor f (profundidad de campo) respecto de un cambio de forma o patrón de cambio morfológico, con valores de $f/1.8$ en extremos negativos del PC1 y $f/22$ en el positivo (figura 17).

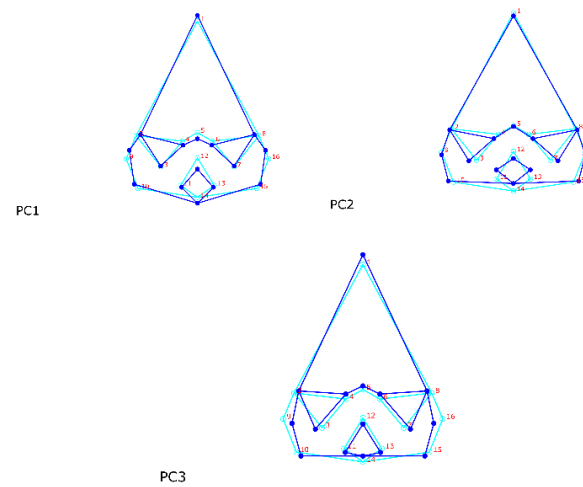
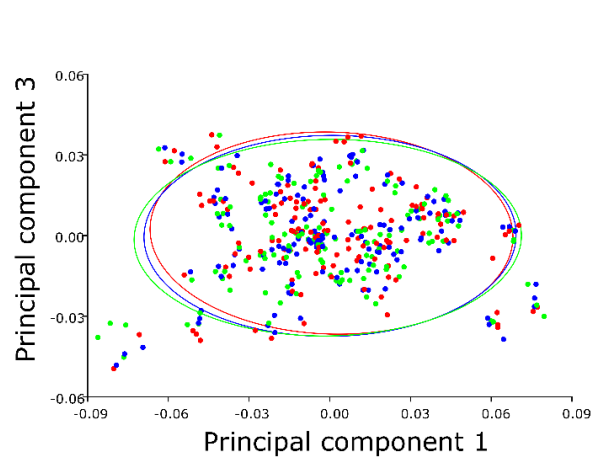
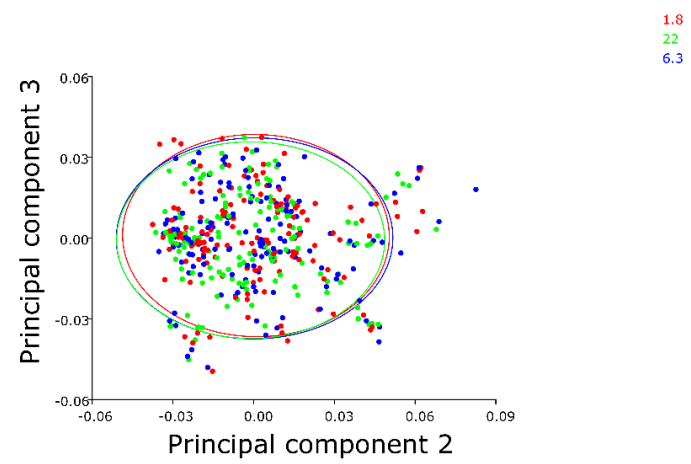
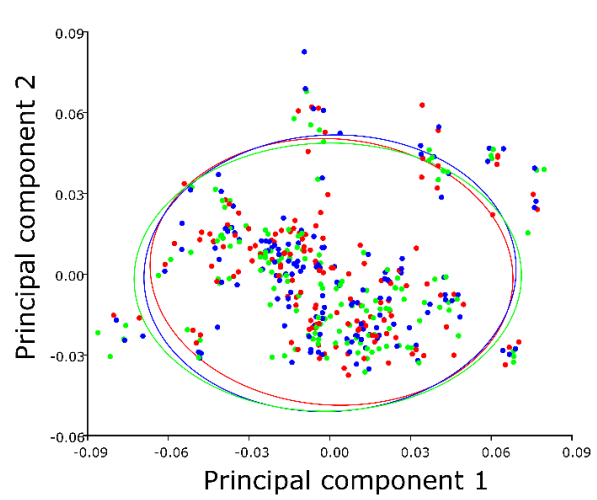


Figura 17. Análisis de componentes principales del experimento 2 en norma frontal. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.

Análisis de variación canónica (ACV): norma frontal.

Después se realizó un análisis de variación canónica (ACV). La técnica de ACV permite la discriminación entre grupos conocido *a priori*, en este caso, la profundidad de campo. La generación del ACV resultó en dos ejes canónicos para explicar el 100% de la varianza entre grupos (tabla 11; figura 18).

Tabla 11. Resultados del AVC del experimento 2 en norma frontal. Se presentan los eigenvalores y porcentaje de varianza.

		Eigenvalores	Porcentaje de varianza
1	0.0108556	64.23	64.23
2	0.0060456	35.77	100

La tabla 11 presenta las distancias de Mahalanobis entre cada pareo posible, donde no existen diferencias significativas entre estas (valor p entre paréntesis).

Tabla 12. Distancias de Mahalanobis del experimento 2 en norma frontal.

Apertura del diafragma	f/ 1.8	f/ 22
f/ 22	0.3589 (0.8210)	
f/ 6.3	0.2558 (0.9906)	0.1888 (0.9998)

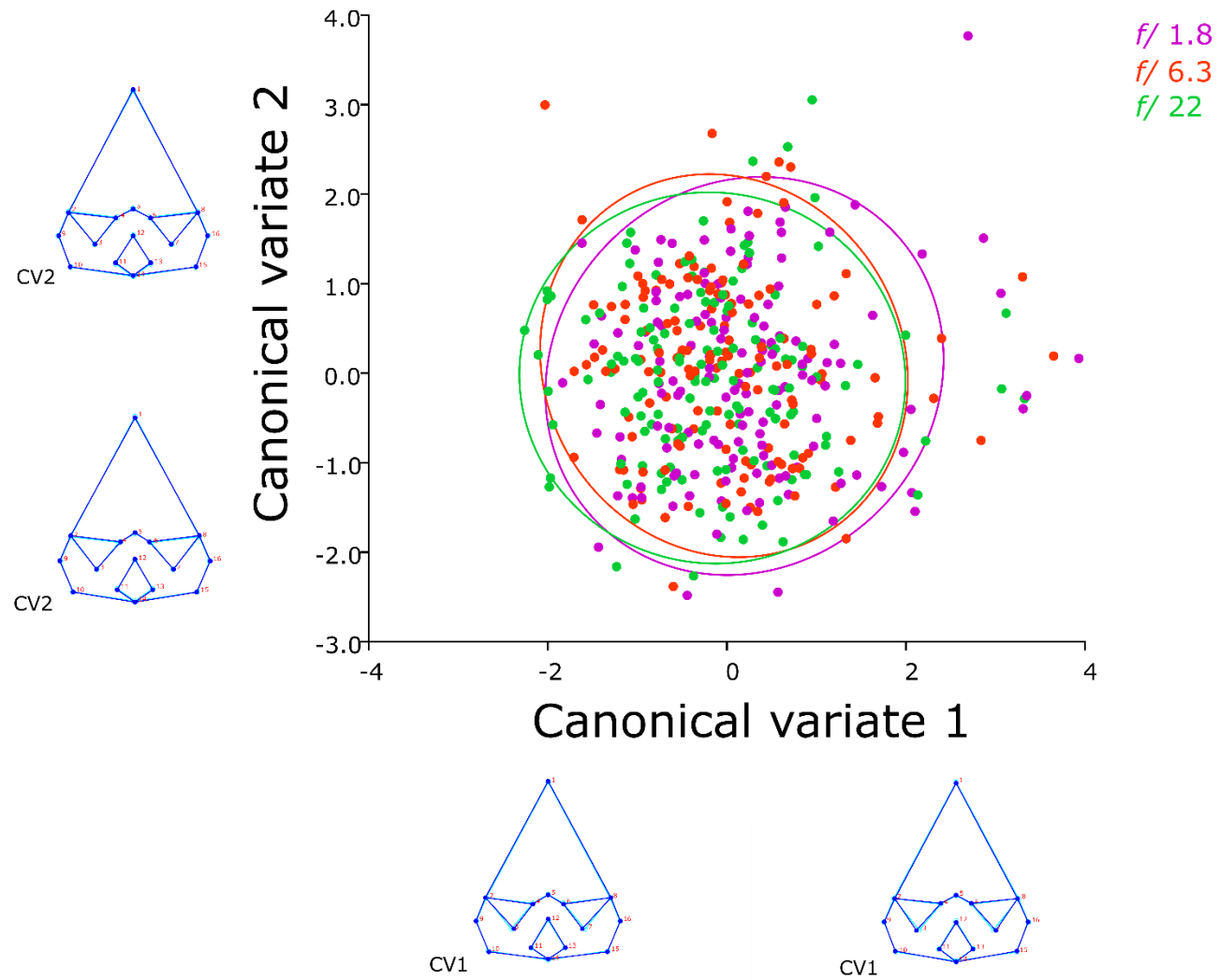


Figura 18. Análisis de Variación Canónica del experimento 2 en norma frontal. Se muestra la gráfica del CV1 vs CV2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (*wireframes*) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada ACV.

Análisis de componentes principales: norma lateral.

Una vez obtenidas las coordenadas se realizó un análisis de componente principales (ACP) con el programa *MorphoJ* para observar las características de la variación respecto a la profundidad de campo ($f/1.8$, $f/6.5$ y $f/22$) pero de la norma lateral. El ACP resultó en 16 componentes principales para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto; en el componente principal diez se logra el 94.958% de la varianza explicada generando un morfoespacio con una varianza total de 0.00323834 (tabla 13).

Tabla 13. Resultados del ACP del experimento 2 en norma lateral. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.0009978	30.812	30.812
2	0.00051805	15.997	46.81
3	0.00044415	13.715	60.525
4	0.00035891	11.083	71.608
5	0.00023563	7.276	78.884
6	0.00018562	5.732	84.616
7	0.0001114	3.44	88.056
8	0.00009563	2.953	91.009
9	0.00007471	2.307	93.316
10	0.00005315	1.641	94.958
11	0.00004758	1.469	96.427
12	0.00003758	1.161	97.587
13	0.00002855	0.882	98.469
14	0.00002461	0.76	99.229
15	0.000016	0.494	99.723
16	0.00000897	0.277	100

Sobre el PC1 se describe un eje asociado a valor f (profundidad de campo) respecto de un cambio de forma o patrón de cambio morfológico, con valores de $f/1.8$ en extremos negativos del PC1 y $f/22$ en el positivo (figura 19).

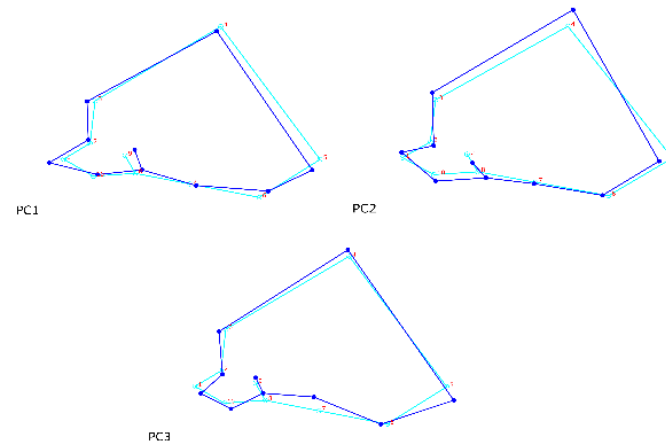
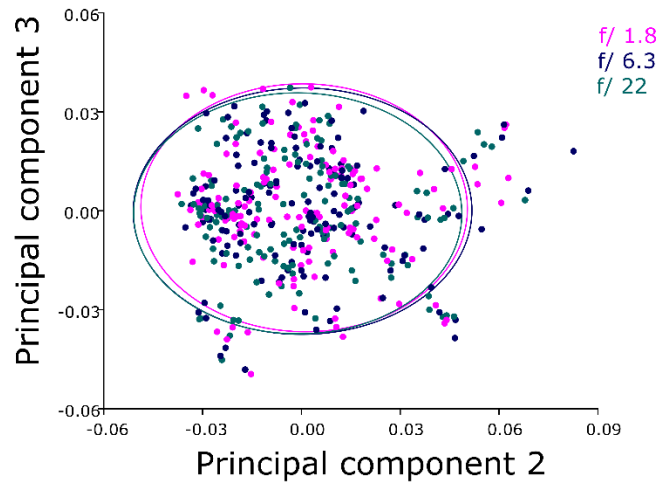
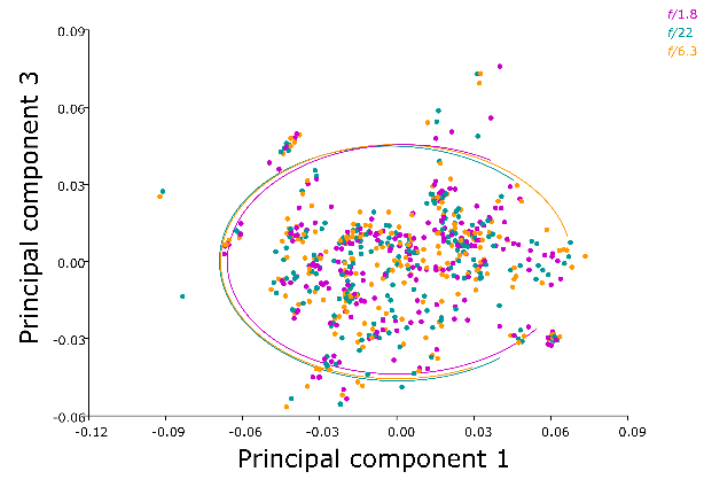
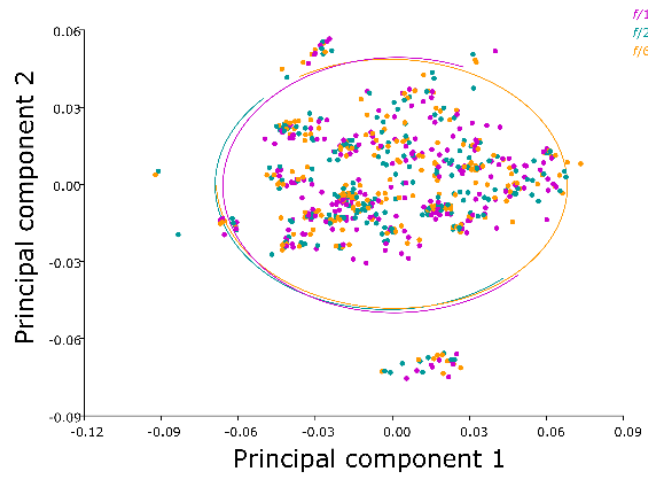


Figura 19. Análisis de componentes principales del experimento 2 en norma lateral. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.

Análisis de Variación Canónica: norma lateral.

La generación del ACV resultó en dos ejes canónicos para explicar el 100% de la varianza entre grupos (tabla 14; figura 20).

Tabla 14. Resultados del ACV del experimento 2 en la norma lateral. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.0449554	93.482	93.482
2	0.0031346	6.518	100

La tabla 15 presenta las distancias de Mahalanobis entre cada pareo posible, donde existe una diferencia significativa entre la apertura del diafragma $f/22$, establecida por la calculadora *DOF Master*, contra la apertura del diafragma $f/1.8$, el valor más alejado al “valor ideal” respecto al objeto y las características del equipo y el lente (valor p entre paréntesis).

Tabla 15. Distancias de Mahalanobis del experimento 2 en la norma lateral.

Apertura del diafragma	$f/1.8$	$f/22$
$f/22$	0.5009 (0.0438)	
$f/6.3$	0.3812 (0.4895)	0.186 (0.9990)

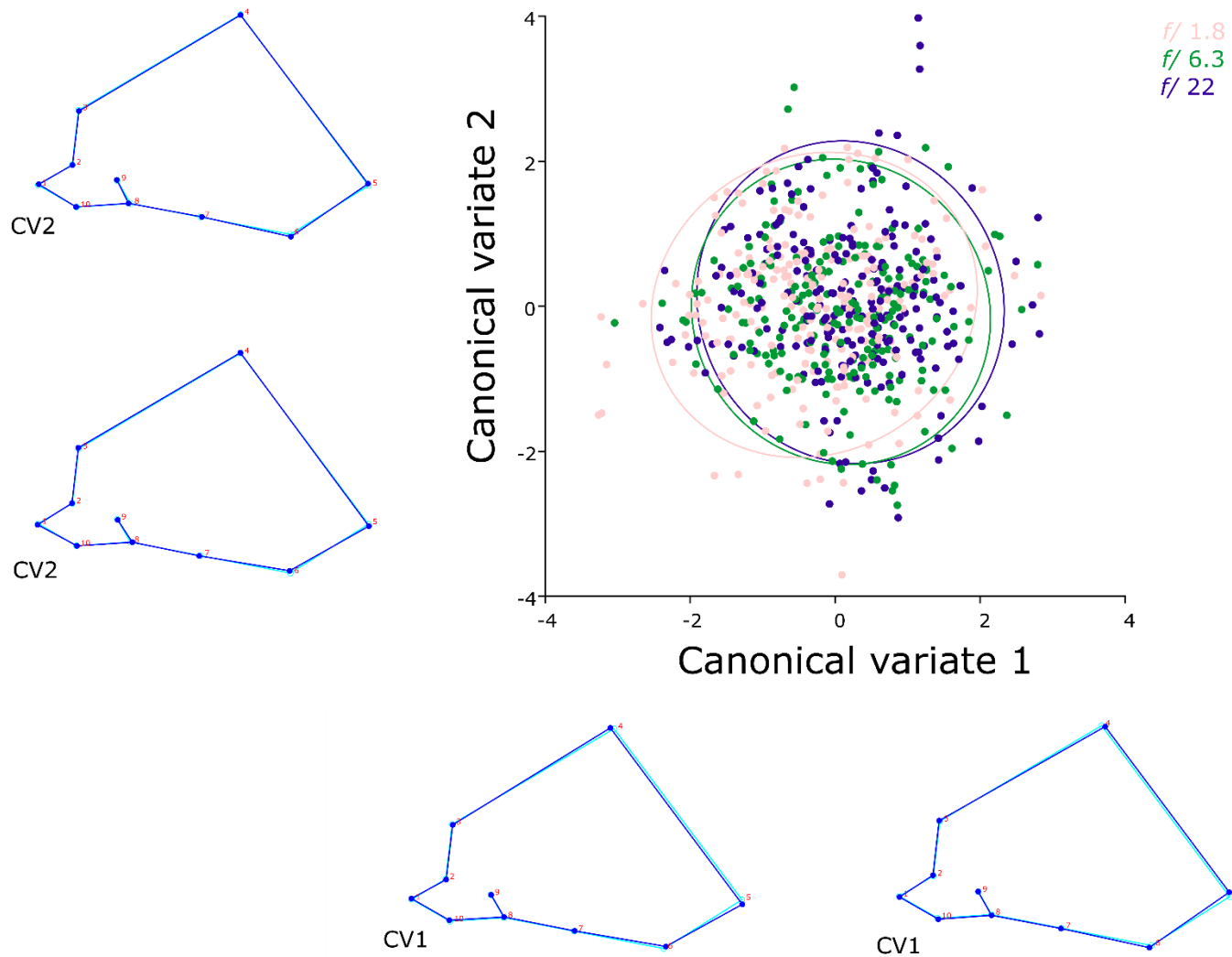


Figura 20. Análisis de Variación Canónica del experimento 2 en norma lateral. Se muestra la gráfica del CV1 vs CV2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada AVC.

Experimento 3: Comparación de la toma de medidas con fotografías y *Microscribe*.

Análisis de varianza de una vía (ANOVA): norma frontal.

La tabla 16 presenta los resultados del ANOVA de una vía donde un 100% resultó tener diferencias significativas entre las medias obtenidas a partir del *Microscribe* y la medición digital.

Tabla 16. Resultados del ANOVA del experimento 3 en norma frontal.

Frontal	Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Bregma - Frontomalare ant I	Ronda	1	8.525918	8.52592	15.9771	0.0002*
	Error	47	25.080711	0.53363		
	C. Total	48	33.606629			
Frontomalare ant I - Zygoorbitale I	Ronda	1	8.708254	8.70825	203.5142	<.0001*
	Error	47	2.011103	0.04279		
	C. Total	48	10.719357			
Zygoorbitale I - Nasion	Ronda	1	23.232578	23.2326	128.3103	<.0001*
	Error	47	8.510082	0.1811		
	C. Total	48	31.74266			
Nasion - Zygoorbitale r	Ronda	1	14.292913	14.2929	144.8433	<.0001*
	Error	47	4.637889	0.0987		
	C. Total	48	18.930801			
Zygoorbitale r - Frontomalare ant r	Ronda	1	9.233246	9.23325	260.2281	<.0001*
	Error	47	1.667624	0.03548		
	C. Total	48	10.90087			
Frontomalare ant r - Zygon I	Ronda	1	655.6037	655.604	1750.687	<.0001*
	Error	47	17.60073	0.374		
	C. Total	48	673.20443			
Zygon I - Zygomaxillare ant I	Ronda	1	12.323958	12.324	89.2715	<.0001*
	Error	47	6.488366	0.1381		
	C. Total	48	18.812324			
	Ronda	1	38.996798	38.9968	339.1955	<.0001*

Zygomaxillare anterior - Alare I	Error	47	5.40352	0.115		
	C. Total	48	44.400318			
Alare I - Nasion	Ronda	1	7.136475	7.13648	52.7715	<.0001*
	Error	47	6.355979	0.13523		
	C. Total	48	13.492454			
	Ronda	1	5.246826	5.24683	36.2614	<.0001*
Nasion - Alare r	Error	47	6.80064	0.14469		
	C. Total	48	12.047466			
Alare r - Zygomaxillare anterior	Ronda	1	38.511402	38.5114	354.8476	<.0001*
	Error	47	5.100882	0.1085		
	C. Total	48	43.612284			
	Ronda	1	17.721632	17.7216	139.2926	<.0001*
Zygomaxillare anterior - Zygon r	Error	47	5.97962	0.1272		
	C. Total	48	23.701252			

La tabla 17 presenta los resultados del Análisis de la varianza de una vía donde un 77.77% resultó tener diferencias significativas entre las medias obtenidas a partir del *Microscribe* y la medición digital. Del total únicamente 22.22% (dos casos) resultados no ser diferentes, estos son: Porion-Zygotemporal Inferior y Zygotemporal superior - Zygomaxilare anterior.

Tabla 17. Resultados del ANOVA del experimento 3 en norma lateral.

Lateral	Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Prob > F
Post nasal spine - Zygoorbitale I	Escala	1	36.179581	36.1796	272.4972	<.0001*
	Error	45	5.97467	0.1328		
	C. Total	46	42.154251			
Zygoorbitale I - Nasion	Escala	1	0.7669087	0.766909	8.0043	0.0069*
	Error	45	4.311527	0.095812		
	C. Total	46	5.0784357			
Nasion - Bregma	Escala	1	0.523005	0.523005	1.1099	0.2977
	Error	45	21.20533	0.47123		
	C. Total	46	21.728334			
Bregma - Lambda	Escala	1	24.023363	24.0234	50.6915	<.0001*
	Error	45	21.326086	0.4739		

	C. Total	46	45.349449			
Lambda - Asterion I	Escala	1	10.593408	10.5934	25.9418	<.0001*
	Error	45	18.375852	0.4084		
	C. Total	46	28.96926			
Asterion I – Porion	Escala	1	2.7447113	2.74471	17.6022	0.0001*
	Error	45	7.0168338	0.15593		
	C. Total	46	9.7615452			
Porion - Inf Zygo temp L	Escala	1	0.3043298	0.30433	2.1896	0.1459
	Error	45	6.2545182	0.138989		
	C. Total	46	6.558848			
Inf Zygo temp L - Sup Zygo temp L	Escala	1	0.4675473	0.467547	11.658	0.0014*
	Error	45	1.8047444	0.040105		
	C. Total	46	2.2722917			
Sup Zygo temp L - Zygomaxilare ant I	Escala	1	0.0589615	0.058962	0.7528	0.3902
	Error	45	3.5243246	0.078318		
	C. Total	46	3.5832861			

Experimento 4: Comparación del uso de distintos dispositivos de captura

Análisis de Componentes Principales: norma frontal.

Una vez obtenidas las coordenadas se realizó un análisis de componente principales (ACP) con el programa *MorphoJ* para observar las características de la variación respecto al uso de distintos dispositivos para realizar la toma fotográfica. El ACP resultó en 14 componentes principales (tabla 18) para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto; en el componente principal nueve se logra el 94.397% de la varianza explicada generando un morfoespacio con una varianza total de 0.00453820.

Tabla 18. Resultados del ACP del experimento 4. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.00155461	34.256	34.256

2	0.00085398	18.818	53.074
3	0.00058393	12.867	65.941
4	0.000386	8.506	74.447
5	0.00028545	6.29	80.737
6	0.0002484	5.473	86.21
7	0.00017646	3.888	90.098
8	0.00010603	2.336	92.435
9	0.00008903	1.962	94.397
10	0.00007745	1.707	96.103
11	0.00005319	1.172	97.275
12	0.00005148	1.134	98.41
13	0.00003955	0.872	99.281
14	0.00003262	0.719	100

En la figura 21 se presenta el morfoespacio del CP1, CP2 y CP3 con un 65.941% de la varianza total de la muestra. Se puede observar que existe una diferencia clara entre cada uno de los diversos dispositivos, independientemente de la ronda o iteración que fuera.

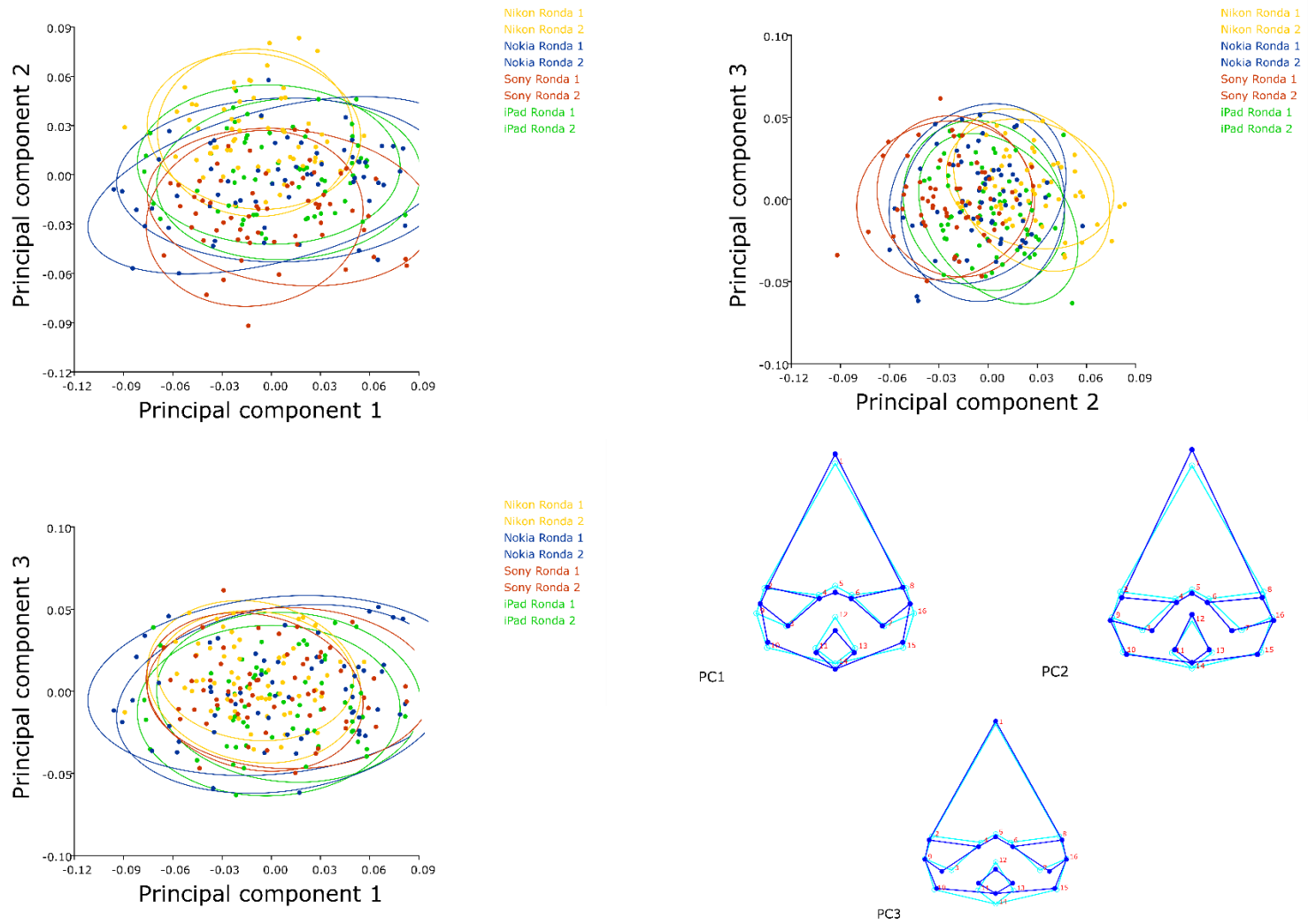


Figura 21. Análisis de componentes principales del experimento 4 en norma frontal. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.

Análisis de variación canónica (AVC): norma frontal.

El AVC resultó en siete ejes canónicos para explicar el 100% de la varianza entre grupos (tabla 19).

Tabla 19. Resultados del ACV del experimento 4 en norma frontal. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	% de varianza	Varianza acumulada
1	3.18552137	90.198	90.198
2	0.19024468	5.387	95.585
3	0.08988264	2.545	98.13
4	0.03410844	0.966	99.096
5	0.01959353	0.555	99.651
6	0.00938451	0.266	99.917
7	0.00294599	0.083	100

La tabla 20 presenta las distancias de Mahalanobis entre cada pareo posible, donde existen una diferencia significativa entre estas (valor p entre paréntesis). Cabe señalar que como parte de la prueba intraobservador (página 49), no existen diferencias significativas entre las repeticiones de cada dispositivo, es decir que la repetición no generó error.

Tabla 20. Distancias de Mahalanobis del experimento 4 en norma frontal.

	Nikon (Ronda 1)	Nokia (Ronda 1)	Sony (Ronda 1)	iPad (Ronda 1)	Nikon (Ronda 2)	Nokia (Ronda 2)	Sony (Ronda 2)
Nokia (Ronda 1)	3.4094 (<.0001)						
Sony (Ronda 1)	4.9898 (<.0001)	2.0637 (<.0001)					
iPad (Ronda 1)	3.4493 (<.0001)	1.029 (0.2822)	2.1997 (<.0001)				
Nikon (Ronda 2)	0.2497 (1)	3.4015 (<.0001)	4.9794 (<.0001)	3.4638 (<.0001)			
Nokia (Ronda 2)	3.3034 (<.0001)	0.7821 (0.8036)	1.9543 (<.0001)	1.247 (0.0442)	3.3004 (<.0001)		

Sony	4.711	1.7377	0.804	1.9661	4.7035	1.5726	
(Ronda 2)	(<.0001)	(<.0001)	(0.8481)	(<.0001)	(<.0001)	(0.0004)	
iPad	3.1853	0.5265	2.1483	0.9737	3.1749	0.6455	1.7722
(Ronda 2)	(<.0001)	(0.9953)	(<.0001)	(0.434)	(<.0001)	(0.9667)	(<.0001)

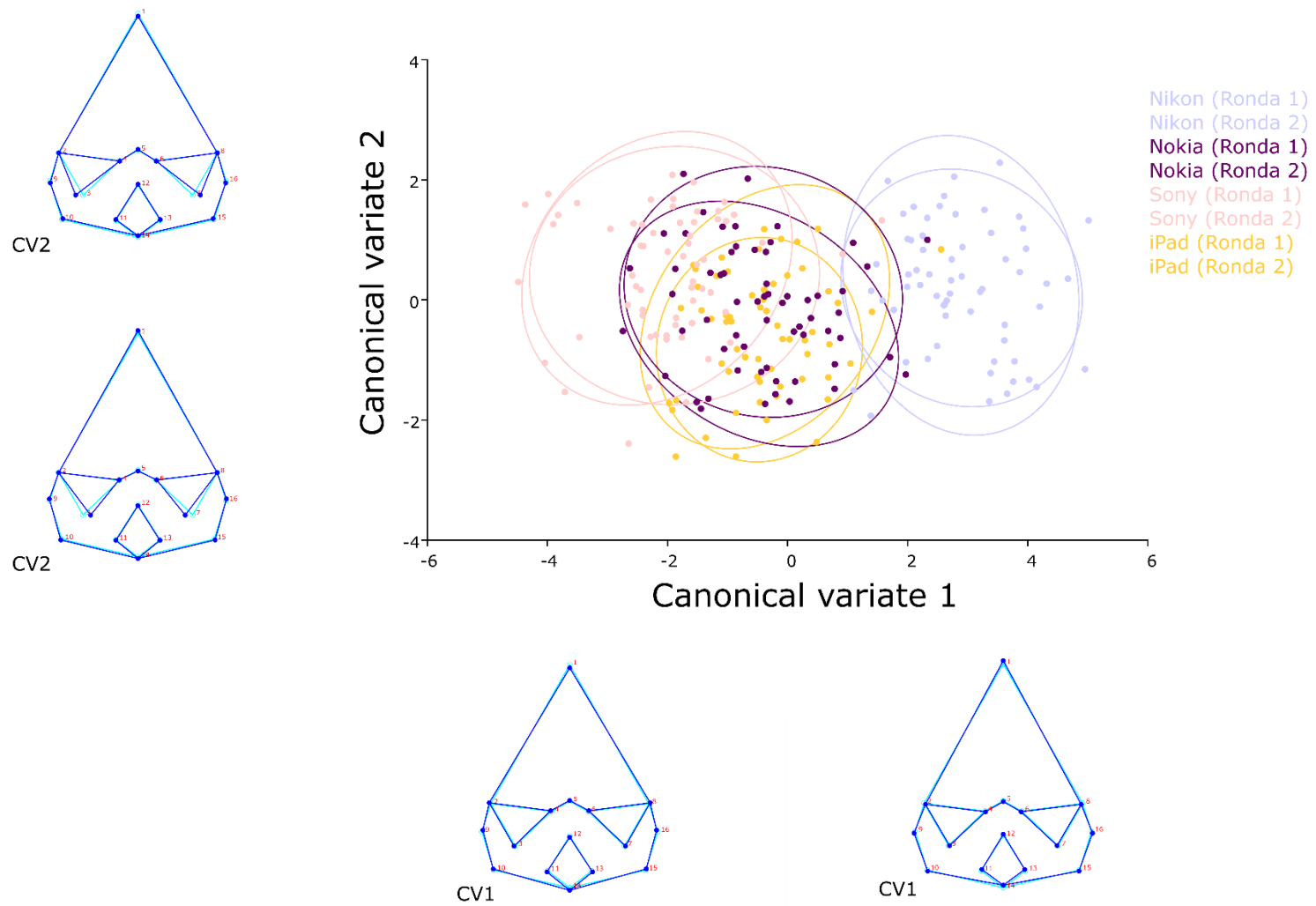


Figura 22. Análisis de Variación Canónica del experimento 4 en norma frontal. Se muestra la gráfica del CV1 vs Cv2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos (izq) y positivos (der) de cada ACV.

Análisis de Componentes Principales: norma lateral.

Una vez obtenidas las coordenadas se realizó un análisis de componente principales (ACP) con el programa *MorphoJ* para observar las características de la variación respecto al uso de distintos dispositivos para realizar la toma fotográfica, pero en norma lateral. El ACP resultó en 16 componentes principales (tabla 21) para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto; en el componente principal diez se logra el 94.852% de la varianza explicada generando un morfoespacio con una varianza total de 0.00596611.

Tabla 21. Resultados del ACP del experimento 4. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	0.00173195	29.03	29.03
2	0.00108507	18.187	47.217
3	0.00091349	15.311	62.528
4	0.00056902	9.538	72.066
5	0.00041735	6.995	79.061
6	0.00028455	4.769	83.831
7	0.00024031	4.028	87.859
8	0.00017369	2.911	90.77
9	0.00013018	2.182	92.952
10	0.0001134	1.901	94.852
11	0.00008796	1.474	96.327
12	0.00007001	1.173	97.5
13	0.00005597	0.938	98.438
14	0.00004784	0.802	99.24
15	0.00002837	0.476	99.716
16	0.00001696	0.284	100

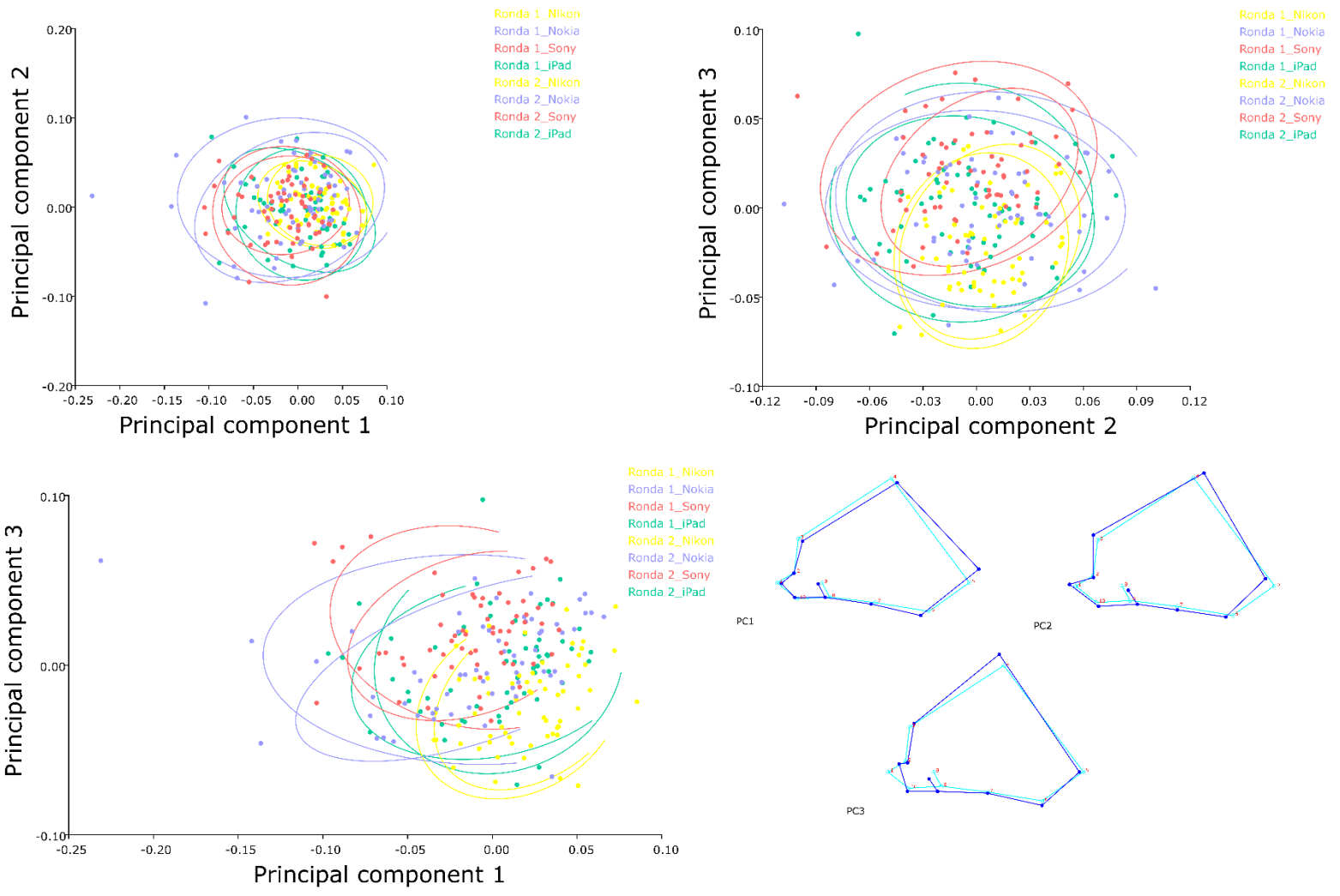


Figura 23. Análisis de componentes principales del experimento 4 en norma lateral. Gráficos de dispersión y transformaciones del componente simétrico de la variación de forma.

Análisis de variación canónica (AVC): lateral.

El AVC resultó en siete ejes canónicos para explicar el 100% de la varianza entre grupos (tabla 22).

Tabla 22. Resultados del AVC del experimento 4 en la norma lateral. Se presentan los eigenvalores, porcentaje de varianza y la varianza acumulada.

	Eigenvalores	Porcentaje de varianza	Varianza acumulada
1	1.58036608	81.452	81.452
2	0.19919731	10.267	91.719
3	0.06760203	3.484	95.203
4	0.04114727	2.121	97.323
5	0.02448121	1.262	98.585
6	0.01852151	0.955	99.54
7	0.00892931	0.46	100

La tabla 23 presenta las distancias de Mahalanobis entre cada pareo posible, donde existen una diferencia significativa entre estas (valor p entre paréntesis). El AVC y la matriz de distancias permiten asegurar, como parte de la prueba intraobservador (página 49), que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las repeticiones realizadas por el observador en los diferentes dispositivos, es decir que la repetición no generó error.

Tabla 23. Distancias de Mahalanobis del experimento 4 en norma lateral.

	Nikon (Ronda 1)	Nokia (Ronda 1)	Sony (Ronda 1)	iPad (Ronda 1)	Nikon (Ronda 2)	Nokia (Ronda 2)	Sony (Ronda 2)
Nokia (Ronda 1)	2.0899 (<.0001)						
Sony (Ronda 1)	3.5139 (<.0001)	1.8275 (<.0001)					
iPad (Ronda 1)	2.1652 (<.0001)	0.9816 (0.5662)	1.6437 (0.0002)				
Nikon (Ronda 2)	0.6006 (0.9716)	2.0632 (<.0001)	3.5479 (<.0001)	2.178 (<.0001)			

Nokia	2.2948	0.7679	2.0119	1.5231	2.2713		
(Ronda 2)	(<.0001)	(0.9492)	(<.0001)	(0.0053)	(<.0001)		
Sony	3.4811	1.7587	0.7043	1.5456	3.4889	2.0226	
(Ronda 2)	(<.0001)	(<.0001)	(0.9508)	(0.0009)	(<.0001)	(<.0001)	
iPad	2.2037	0.9134	1.7353	0.8605	2.1892	1.209	1.5413
(Ronda 2)	(<.0001)	(0.8454)	(<.0001)	(0.9036)	(<.0001)	(0.3016)	(0.0025)

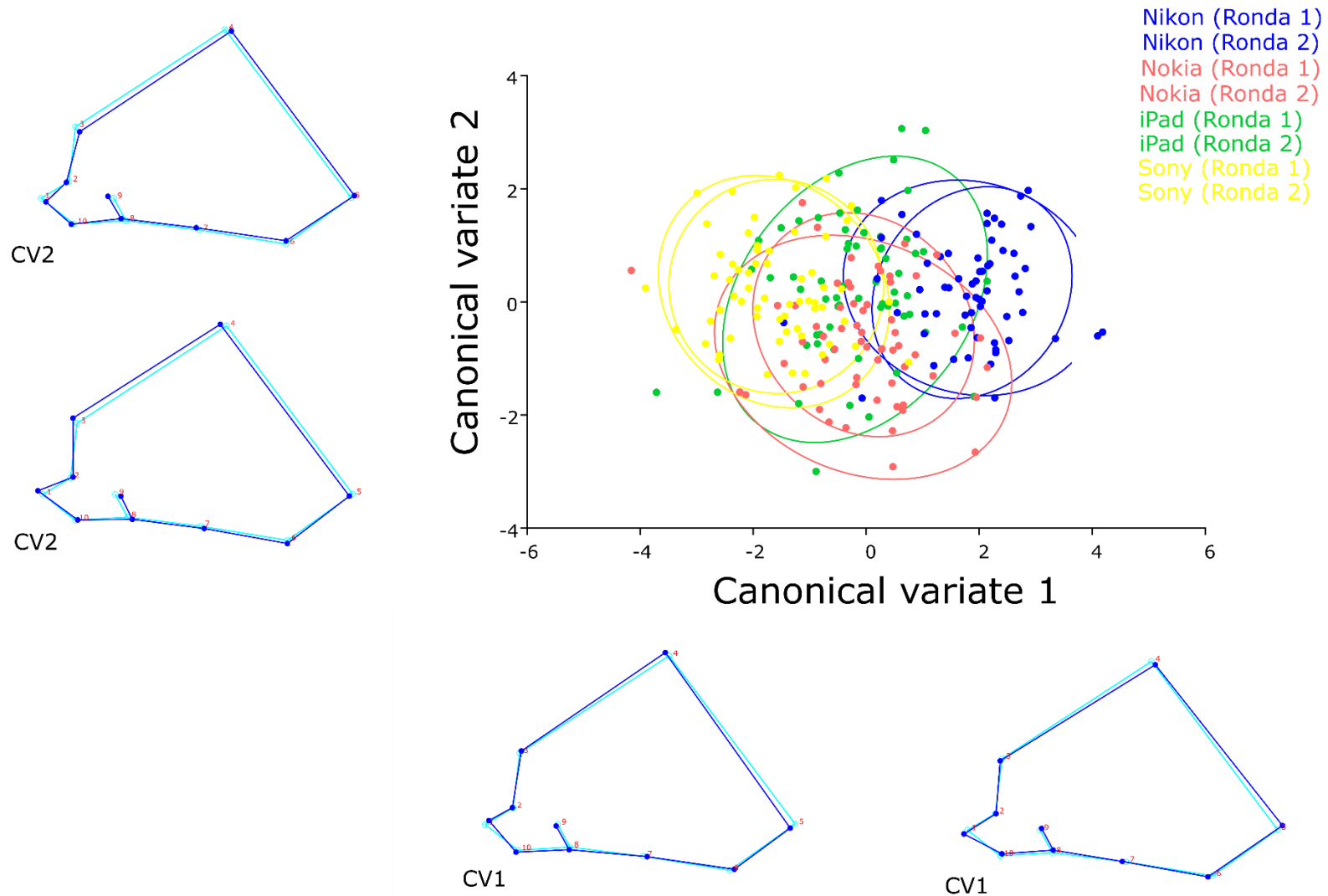


Figura 24. Análisis de Variación Canónica del experimento 4 en norma lateral. Se muestra la gráfica del CV1 vs Cv2, además se presentan los polígonos de cambio de forma (wireframes) que representan las formas extremas observadas en los puntajes negativos y positivos de cada ACV.

Discusión.

“La science, mon garçon, est faite d’erreurs, mais ce sont des erreurs qu’il est utile de faire, parce qu’elles conduisent peu à peu à la vérité”
(Jules Verne).

La identificación humana se basa en el análisis de un conjunto de características genéticas y epigenéticas para determinar que una persona es la misma que se supone o se busca (Lara Barajas, 2008) por tal motivo, es necesario contar con herramientas exactas y objetivas que permitan medir y analizar dichas características. Este trabajo buscó caracterizar intervalos o umbrales de error para diversos parámetros del equipo de fotografía, de toma fotográfica o de medición que permitan que la técnica fotográfica sea reproducible y repetible para los estudios antropológicos forenses, que bien se pueden extrapolar a otras áreas de la ciencia forense. Es un trabajo cuantitativo que sigue un modelo basado en evidencia y que se ha inspirado en las recomendaciones del Informe para el Fortalecimiento de las Ciencias Forenses en Estados Unidos donde se enfatiza la necesidad de caracterizar el error en diversas fuentes de los análisis forenses, sobre todo en las diversas metodologías. Es ese sentido los experimentos reportados en la sección anterior dan cuenta de la complejidad de la caracterización de los elementos que para el común de la pericia resultan familiares y por ende no sujetos a análisis, sin embargo, el empleo de algún dispositivo debe estar mediado por una validación científica, ya que de lo contrario se estaría restando confiabilidad a algún análisis forense.

Sobre la colocación de la escala o testigo métrico.

Como se mostró en el fundamento teórico, la inclusión de un testigo métrico en los estudios forenses es un requerimiento muy validado por diversos autores y protocolos en las instituciones públicas (página 33). Sin embargo, es notoria la falta

de reportes sobre sobre la posición y/o ortogonalidad a la cámara respecto del testigo, aunque por teoría es esperable un error en cualquier medición realizada si el plano de toma de todo no es ortogonal.

Los resultados presentados indican que no existe algún efecto (tabla 16 y 17) sobre la posición de la escala y que también es independiente a la norma empleada, incluso a través de todos los análisis realizados.

En un trabajo previo (Castro Martínez & Quinto-Sanchez), se midieron las distancias entre los puntos craneométricos: Zygion (Zy) -zygion (Zy), Nasion (n) - prostion (Pr), Nasion (n) - lamda (λ), Porion (Po) - bregma (b) y Orbital izquierdo (Or) - porion izquierdo (Po) a través del *software ImageJ*. Las medidas obtenidas se compararon con las distancias tomadas de manera directa con un vernier. La comparación se realizó mediante un ANOVA (*Analysis of variance*) y el análisis de componentes principales (ACP).

Con el modelo de ANOVA se relacionaron las posiciones del testigo métrico y se presentó una diferencia altamente significativa. Mientras que el ACP resultó en 5 componentes principales para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto. El CP1 y CP2 acumulan un 98.1% de varianza. El CP1, como se observa en la figura 25; esta explicado por la ubicación del testigo métrico, no generan agrupación alguna en el espacio multivariado y se observa que la medición directa (triángulo invertido, color azul) se acerca mucho a las medidas tomadas con el testigo métrico en el centroide (medio) del cráneo.

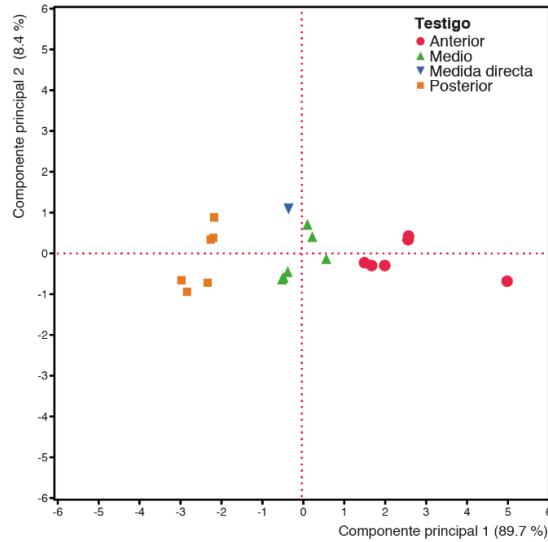


Figura 25. Comparación entre la toma de medida directa y las fotografías tomadas colocando el testigo métrico en distintas posiciones.

Se observó que se obtienen medidas más cercanas a la medición con un vernier, si se coloca el testigo o escala métrica en la parte media o más cercana al centroide del sujeto/objeto, ya que puede existir una pérdida de información si se coloca en la parte posterior o en la parte anterior, donde se observa un mayor sesgo. Es importante decir que, además de que se utilizaron otros métodos estadísticos (ACP- ANOVA en lugar de Morfometría Geométrica, Análisis de componentes principales y Análisis de variantes canónicas (MG-ACP-ACV), la prueba de validación se generó utilizando una cámara Nikon D4, mientras que para realizar esta tesis se utilizó una cámara Nikon D3300 y en un inicio sólo se evaluaron dos cráneos en lugar de 24 como se realizó posteriormente. Los resultados de las pruebas estadísticas realizadas en los experimentos de la presente tesis mostraron que esta variable no es un factor que afecte la captura de los *landmarks* de los cráneos y por ende la forma (*shape*), tanto en norma frontal como la lateral. Entonces, con la presente evidencia es aceptable pensar que dependiendo el tipo de información que pretenda obtener, se debe tener precaución al emplear las escalas métricas, afortunadamente no se mostró algún efecto para la morfometría geométrica, pero sí para las distancias lineales simples tomadas vía digital.

En cuanto a la posición del testigo métrico o escala, al momento de realizar una toma fotográfica, se debe considerar colocarlo dentro del área del encuadre sin que haga intrusión sobre el indicio (Duncan, 2010). La función del testigo métrico es mostrar el tamaño real del indicio, su ubicación será vertical u horizontal con respecto a la forma del indicio como se menciona en el Manual de fotografía forense de la Coordinación General de Servicios Periciales (Coordinación General de Servicios Periciales, 2015). Dicho manual no detalla el posible efecto de la posición del testigo y mucho menos que éste podría sesgar las mediciones digitales que se tomen, aun cuando, la ortogonalidad de la toma se mantenga. Lo que lleva a pensar que es una ventaja el uso de la morfometría geométrica para la fijación de la forma en algún análisis en fotografías digitales.

Cabe mencionar que existe una variedad de escalas de diversos materiales, colores, formas, así como de longitudes y la elección de estas depende de cada fotógrafo. En este caso se utilizó un testigo métrico recto de 10 cm. Por lo que sería necesario evaluar la confiabilidad de cada escala debido a que sólo se encontró en la bibliografía que las escalas ABFO No. 2 (escalas en forma de "L") cuentan con una estandarización establecida como se mencionó en un inicio de esta tesis y, aun cuando existe una estandarización, dentro de estas existe una falta de consistencia en calidad y precisión en la fabricación comercial, por lo que se ha convertido en una práctica común para algunos investigadores almacenar las escalas junto con la evidencia de la fotografía después de haber sido utilizadas (Theodore D. Doiron, 2013). Independientemente del tipo de escala seleccionada, se debe evitar el uso de las llamadas "escalas de desesperación", que son objetos como billetes, monedas, bolígrafos, etcétera que sirven como sustituto de una escala de medida real, pero que ponen en duda el profesionalismo del investigador quien sería severamente atacado en un juicio (Duncan, 2010).

Sobre la apertura del diafragma.

Los principales factores que afectan la nitidez de la imagen son: la calidad y condición de la lente; la precisión mecánica de la cámara; el movimiento, las características del sujeto/objeto y la iluminación. Es difícil tener un control total de todos estos factores, pero es importante utilizar los equipos y técnicas que minimicen las dificultades si se busca obtener una nitidez óptima (Langford & Bilissi, 2011).

En la prueba de valoración, igual que en el experimento anterior, se midieron las distancias que se forman entre los puntos craneométricos: Zygion (Zy) -zygion (Zy), Nasion (n) - prosthion (Pr), Nasion (n) - lambda (λ), Porion (Po) - bregma (b) y Orbital izquierdo (Or) - porion izquierdo (Po) a través del software ImageJ. Las medidas obtenidas se compararon con las distancias tomadas de manera directa con un vernier. Como en el experimento anterior, también se utilizó un ANOVA (*Analysis of variance*) y el análisis de componentes principales (ACP) para realizar la comparación.

En el modelo de ANOVA no se presentó una diferencia altamente significativa. Mientras que el ACP resultó en 5 componentes principales para explicar el 100% de la varianza en el diseño experimental propuesto. El CP1 y CP2 acumulan un 98.1% de varianza. El CP1, como se observa en la figura 27; esta explicado por el número f , no generan agrupación alguna en el espacio multivariado. La figura 26 también nos resume que no existe un patrón relacionado con el valor f .

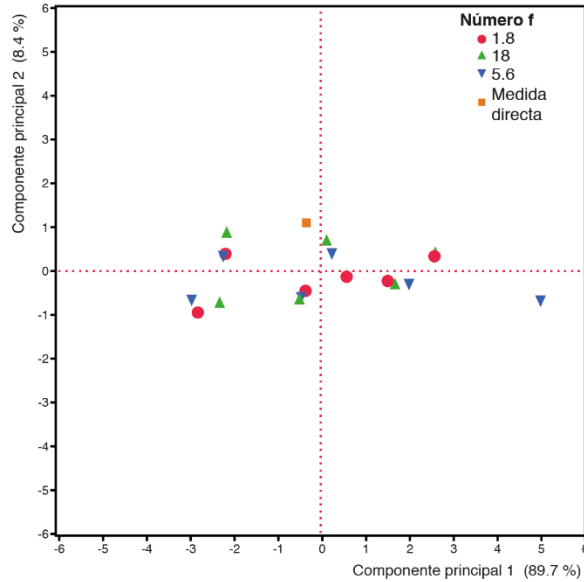


Figura 26. Comparación entre la toma de medida directa y las fotografías tomada con un valor f determinado.

En las pruebas de validación se mostró que la apertura del diafragma no es una variable que afecte dichas mediciones. Sin embargo, al aumentar el número de muestra de dos cráneos a 24 cráneos en ambas tomas y empleando técnicas de análisis de la forma (MG), los resultados de las pruebas estadísticas realizadas mostraron que existe una diferencia entre el uso de la profundidad de campo $f/1.8$ y la profundidad de campo “ideal” para el objeto de estudio $f/22$ colocando el cráneo en norma lateral. Según la teoría fotográfica, usar una profundidad de campo con un valor $f/1.8$ provoca que se pierda mucha nitidez y, por ende, información sobre las características de los cráneos. Por lo que se recomienda el uso de calculadoras de profundidad de campo y distancia hiperfocal, para capturar las características del objeto de manera nítida y en apego al “Principio de la cadena” o “*The True-Nature-Photography Principle*”, además de que su uso es accesible monetariamente hablando y es práctico en cuanto al manejo del programa.

Longford describe que la mayoría de las lentes dan su mejor calidad de imagen detenida aproximadamente a la mitad de su rango de número f . Cuanto más ancho se abre, menos aberraciones seguras se corrigen, pero al detenerse demasiado comienza a perder calidad debido a la difracción. Por lo tanto, los

extremos superior e inferior de la escala de número f están limitados por el diseño de la lente y lo que los fabricantes consideran los límites de la calidad de imagen aceptable. A veces, dos lentes de la misma marca y con distancias focales idénticas son radicalmente diferentes en estructura y precio, porque uno abre una parada adicional o cubre un área más grande (permitiendo movimientos de la cámara) sin empeorar la calidad (Langford & Bilissi, 2011), lo que es un aspecto que se debe considerar en la elección del equipo, accesorios y los valores en la apertura del diafragma que se utilizarán.

Sobre la comparación entre el uso de fotografías y la medición directa vía digitalización 3D.

Retomando el concepto de error de medición (Página 24), en todo proceso de medición existen limitaciones dadas por los instrumentos usados, el método de medición y/o el observador que realiza la medición. Estas limitaciones generan una diferencia entre el valor real y la cantidad obtenida al medir. Entonces, no hay mediciones reales con error nulo, sin embargo, estos errores se pueden disminuir (Jasen & González).

En el experimento tres (donde se compara la medición digital contra la medición con el *Microscribe*), los resultados arrojados del ANOVA mostraron datos no favorables en un gran número de distancias comparadas. Existieron diferencias significativas del 100% de las distancias de la norma frontal y el 77.77% en el caso de la norma lateral, solamente en las distancias que comprenden los puntos Porion - Zygotemporal Inferior y Zygotemporal superior - Zygomaxilare anterior no se encontraron diferencias significativas. Esto puede ser explicado por lo manifestado por Stephan (2017) respecto a que la proyección del punto fotográfico de una escena 3D en un plano 2D genera una vista distorsionada de la estructura 3D del mundo real, lo que tiene consecuencias importantes para la visualización morfológica (efecto de coplanaridad), algo que se buscó evitar colocando los cráneos de bajo de la cámara y acomodándolos respecto al plano de Frankfurt. Sin

embargo, se tendría que hacer una mejor evaluación y estandarización de los puntos cronométricos o de referencia (*landmarks*) y las distancias que se forman entre ellos se ven menos afectados por este cambio de dimensión y entonces poder protocolizar los puntos de mejor uso para MG, así como realizar una evaluación más detallada respecto al hecho de que se haya eliminado la información de la z en cada coordenada de los datos 3D obtenidos con el *Microscribe*. Así que ¿Por qué recurrir a metodologías bidimensionales?, la fotografía 2D ofrece una captura rápida de imágenes lo que es importante tomar en cuenta por el corto tiempo que se tiene para la captura de datos y el tratamiento de indicios en el ámbito forense, también permite una retención casi permanente y la oportunidad de realizar repetidas mediciones (Galantucci, Percoco, & Di Gioia, 2009) y aun cuando existan técnicas para obtener y analizar puntos de referencia tridimensionales, estos siguen en desarrollo y son muy costosos (Zelditch, Swiderski, Sheets, & Fink, 2004). Siempre hay que tener en cuenta que en ambas digitalizaciones se necesita la intervención humana de manera considerable (Galantucci, Percoco, & Di Gioia, 2009).

Sobre el uso de distintos dispositivos fotográficos.

Finalmente, con los avances tecnológicos, se debe plantear el uso de celulares y tabletas como herramienta para la toma de la fotografía. Los teléfonos móviles son aparatos accesibles de usar, de transportar y que a lo largo del tiempo se han ido mejorando para proporcionar una mejor calidad. Sin embargo, es importante analizar si son dispositivos útiles en el ámbito forense, por tal motivo en el experimento cuatro se planteó la realización de una prueba de reproducibilidad respecto de distintos dispositivos que pueden generar una fotografía que podría entenderse como forense y/o científica.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de componentes principales, permiten decir que la variación entre los distintos dispositivos es diferente especialmente entre la cámara Réflex Nikon D3300 y la cámara puente o *bridge* Sony DSC-HX200V. Para detallar un poco más las diferencias y como un punto extra de análisis, se tomaron 20 distancias con el programa *ImageJ* sobre las

fotografías tomada con estos dos dispositivos y se realizó un ANOVA con el programa estadístico *JMP*.

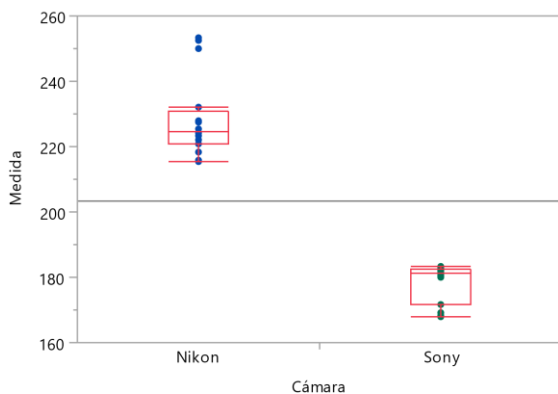


Figura 27. Anova de una vía con respecto a Cámara en norma frontal.

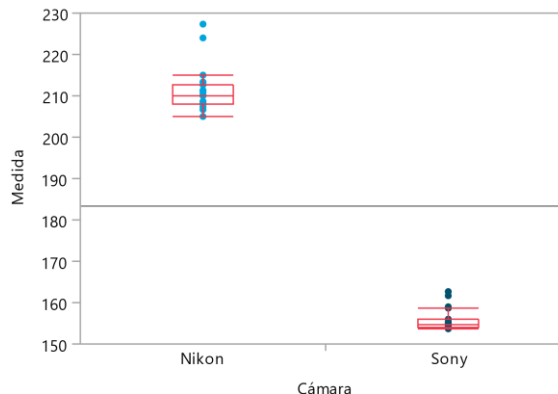


Figura 28. Anova de una vía de Medida con respecto a Cámara en norma lateral.

En las figuras 27 y 28 se muestra que hay una gran diferencia entre las medidas obtenidas con la cámara Nikon y la cámara Sony que directamente se observa en las fotografías pues en la cámara Sony se muestra una deformación clara de los cráneos (figura 29 y 30). Lo que quiere decir que, a comparación de los otros dispositivos empleados, con la cámara Réflex se consiguen tomas que se apegan al “Principio de la cadena” o “*The True-Nature-Photography Principle*” para buscar retratar las características propias de los cráneos fotografiados. Este dato es importante ya que aun cuando en las procuradurías se hace uso de un cuerpo de Cámara Digital Réflex, cuando hay fotografías que no fueron tomadas por peritos de la Fiscalía, se hace una fijación de dichas imágenes y se reproducen en el laboratorio de fotografía forense (Coordinación General de Servicios Periciales, 2015) sin considerar que estas pudieron ser tomada con un dispositivo que no refleja las características propias del sujeto/objeto, lo que afecta en el análisis de las imágenes. Sin embargo, es necesario evaluar otras variables que también intervienen como el uso de lentes y la aberración que puedan causar cada uno de ellos ya que con base a la bibliografía se seleccionó el lente de 50 mm pues se usa como lente estándar o primario, debido a que se cree que es equivalentes en

distancia focal al ojo humano y es útil para crear imágenes de aspecto natural (Třebický, Fialová, Kleisner, & Havlíček, 2016). También es importante considerar que la cámara D3300 tiene un sensor Dx (recortado) por lo cual aplica un factor de recorte 1.5x, es decir que la distancia real de la toma es 75mm, por ello es de importancia valorar el uso de dispositivos *full frame*.



Figura 29. Cráneo fotografiado con la Cámara Réflex Nikon 3300.



Figura 30. Cráneo fotografiado con la Cámara Bridge Sony DSC-HX200V

Con el fin de facilitar el manejo a los usuarios no profesionales, las funciones de las cámaras de los celulares y tabletas son reducidas y el tratamiento de la imagen se realiza mediante un *software* o programa externo a la cámara, lo que implicaría una modificación del material probatorio y la posible pérdida de información. A diferencia de las cámaras Réflex, en las cámaras de celular o tabletas no se pueden modificar variables fotográficas como el obturador, apertura, ISO, profundidad del campo y exposición, factores que son necesarios para producir fotografías adecuadas y profesionales. Por lo que aun cuando las ventajas de los aparatos móviles son la facilidad de manejo, su movilidad y rapidez de disparo, las imágenes resultantes no tendrán la misma calidad de imagen y al igual que con las “escalas de desesperación” carecerán de profesionalismo y su pericia se pondrá en

duda durante el interrogatorio. Aunado a esto, de las cámaras Réflex se puede obtener un archivo llamado “RAW” que significa "crudo" en inglés, y se refiere a lo que no ha sufrido ninguna transformación o corrección, es la información que ha captado la lente sin ningún tipo de estructura o procesado automático, lo que en el ámbito forense es muy importante ya que se garantiza que no hubo una manipulación de la imagen (García Holgado, 2020).

En este trabajo se evaluó diferentes variables que son importantes en la toma fotográfica forense: el uso y la ubicación de la escala o testigo métrico en el plano fotográfico, la profundidad de campo, el tipo de dispositivo, así como la medición con digitalizador 3D y por fotografía, encontrando que es indispensable el uso de escalas estandarizadas al momento de fotografiar un indicio; que es importante el cálculo de la profundidad de campo “ideal” respecto al objeto/sujeto que se está fotografiando para evitar la pérdida de nitidez y por ende, la pérdida de información en la imagen; así como la necesidad de utilizar cámaras tipo Réflex que proporcionan mayor exactitud, calidad y profesionalismo. Sin embargo, existen áreas en las que se puede profundizar los estudios para en un punto obtener los parámetros adecuados que permitan una calibración completa de las tomas fotográficas (Remondino & Fraser, 2006), como por ejemplo la evaluación de los distintos tipos de escalas o testigos métricos y la evaluación del efecto de coplanaridad. También faltó la evaluación de otras variables como el uso y comparación de distintos lentes; la comparación del tipo de sensor (Sensor *Full Frame* comparado con el sensor APS-C) y el efecto de recorte; la exposición; y el ISO. Asimismo, es necesario realizar más pruebas en las que varios operadores obtengan los mismos resultados en distintos momentos, el aumento de muestras, la aplicación de otros métodos estadístico como la estimación robusta para el análisis de resultados y el estudio de otros materiales osteológicos.

En el ámbito pericial se tiene la idea que la fotografía forense es un conjunto de conocimientos técnicos para fijar imágenes que señalen las particularidades originales de un lugar de intervención y que siempre acompaña e ilustra todo lo que

la Criminalística estudia (Gómez González, 2016). Sin embargo, la fotografía forense debe ir más allá de ser un tipo de fijación que se anexa e ilustra las descripciones que los peritos en criminalística plasman en sus dictámenes. Debe ser considerada como una herramienta útil en el desarrollo del conocimiento forense, en la identificación de personas y en la investigación de delitos, eliminando la idea de que la investigación que se realiza en las fiscalías o en otras instituciones de gobierno y la investigación académica no pueden converger con el fin de lograr el desarrollo de la Ciencia Forense.

Este es un primer paso para comenzar a estandarizar herramientas como la fotografía que son muy utilizadas y útiles en el ámbito forense para obtener resultados más confiables y objetivos en el análisis antropométrico, lo que conlleva a lograr una identificación y/o establecer una reconstrucción de los hechos en una investigación forense. Además, este tipo de investigaciones dan pie a crear nuevo conocimiento e instrumentos aplicados específicamente al área forense o aplicar conocimiento ya establecido en otras ramas de la ciencia para el estudio alrededor de los delitos.

Conclusiones.

*“Once you eliminate the impossible, whatever remains,
no matter how improbable, must be the truth.”*

(Sir. Arthur Conan Doyle).

- Se requieren más estudios para establecer los intervalos de error de los parámetros fotográficos que permitan que permitan que la técnica fotográfica sea reproducible y repetible para los estudios antropológicos forenses. Como lo evidencia esta tesis, la fotografía científica aplicada a las ciencias forense es un campo de amplia perspectiva, como una línea de investigación que es necesaria para los estándares de la ciencia forense moderna.
- Respecto al uso de testigos métricos y los experimentos realizados se observó que no existe una diferencia clara entre cada una de las diversas posiciones de las escalas o testigos métricos. Sin embargo, es indispensable el uso de testigos métricos o escalas en el proceso de obtención de mediciones digitales en cráneo. Estos se deben colocar dentro del encuadre de la toma, alineándolos con el sujeto/objeto que se pretende fotografiar.
- Es importante el cálculo de la profundidad de campo respecto al sujeto/objeto que se pretende fotografiar para evitar la pérdida de información en la imagen (falta de nitidez).
- Respecto a la obtención de medidas a partir del *Microscribe* y la medición digital se observó una diferencia significativa en la mayoría de las distancias seleccionadas, por lo que se requieren mayores estudios sobre el efecto de coplanaridad con el fin de establecer los *landmarks* que proporcionen un menor grado de error de medición y que la técnica fotográfica sea reproducible y repetible para los estudios antropológicos forenses.
- La variación entre las tomas realizadas con un mes de diferencia no fue significativa, por lo que se puede afirmar que la fotografía es una herramienta útil para la fijación de objetos/sujetos tanto en campo, como en el laboratorio.

- Respecto al dispositivo a emplear, se observó una diferencia significativa entre los dispositivos evaluados, especialmente entre la cámara *bridge* marca Sony y la cámara Réflex marca Nikon, también se observó una clara distorsión en las fotografías tomadas con la cámara *bridge*. Es necesario el uso de cámaras Réflex en la fotografía forense para conseguir imágenes de alta calidad y evitar la inversión de la imagen que conlleva a una alteración que nos aleja del “Principio de la cadena” o “*The True-Nature-Photography Principle*”.

Declaratoria de no conflicto de interés.

La autora, director, revisores y personal de la Licenciatura en Ciencia Forense reconocen que no tienen ningún interés financiero, ni afiliaciones actuales con ninguno de los fabricantes de productos utilizados, recomendados o mencionados en este documento.

Referencias.

Libros y artículos.

- Badii, M., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación. *UANL*, 405 - 422.
- Bailey, R. C., & Byrnes, J. (1990). A new, old method for assessing measurement error in both univariate and multivariate morphometric studies. *Oxford Academic*, 124-130.
- Balaji, N., Senapati, S., & Sumathi, M. (SEPT - OCT de 2014). Forensic Digital Photography: A Review. *Int J Dent Med Res*, 1(3), 132-135. Obtenido de http://www.ijohmr.com/upload/23_Forensic%20Digital%20Photography.pdf
- Cardini, A., & Elton, S. (2007). Sample size and sampling error in geometric morphometric studies of size and shape. *Zoomorphology*, 121–134.
- Cuevas Martín, J. (2006). Fotografía, voluntad e incertidumbre. *Área abierta*, 1-11. Obtenido de <https://www.researchgate.net>

- Díaz Rodríguez, V. (2013). Sistemas biométricos en materia criminal: un estudio comparado. *SciELO*.
- Duncan, C. D. (2010). *Advanced Crime Scene Photography*. Boca Ratón: Taylor & Francis Group.
- Escobedo Portillo, M. T., & Salas Plata Mendoza, J. A. (2008). Mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística . *Culcyt*, 13-20.
- Farré, M., Tuset, V. M., Maynou, F., Recasens, L., & Lombarte, A. (2016). Selection of landmarks and semilandmarks in fishes for geometric morphometric analyses: a comparative study based on analytical methods. *Scientia Marina*, 175-186.
- Ferrucci, M., Doiron, T. D., Thompson, R. M., Jones, J. P., Freeman, A. J., & Neiman, J. A. (2016). Dimensional Review of Scales for Forensic Photography. *Journal of Forensic Sciences*. Obtenido de <http://doi.org/10.1111/1556-4029.12976>
- Fruciano, C. (2016). Measurement error in geometric morphometrics. *Springer*.
- Galantucci, L. M., Percoco, G., & Di Gioia, E. (2009). Photogrammetric 3D Digitization of Human Faces Based on Landmarks. *IMECS*, 819-824.
- Gestring, B. J. (2007). A forensic scientist's guide to photography. Obtenido de www.criminalistics.com
- Golden, G. (2011). Standards and practices for bite mark photography. *Forensic Odontostomatol*, 29-37.
- González-José, R., Martínez-Abadías, N., González-Martín, A., Neves, W., Pucciarelli, H. M., & Hernández, M. (2006). Análisis morfogeométrico de cuatro cráneos antiguos del Valle de México: Peñón III, Metro Balderas, Chimalhuacán y Cueva del Tecolote. *Redalyc*, 14, 105–127. doi:<http://www.redalyc.org/html/351/35103706/>
- Gouse, S., Karnam, S., Girish, H. C., & Murgod, S. (2018). Forensic photography: Prospect through the lens. *Forensic Dent Sci*, 2–4.
- Jacobson, R. E., Ray, S. F., Attridge, G. G., & Axford, N. R. (2000). *The Manual of Photography*. Oxford: Ninth.
- Jaramillo, N. (2014). Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo. *Instituto de Biología: Universidad de Antioquia* .

- Jones, B., & Sall, J. (Mayo/Junio de 2011). JMP statistical discovery software. *WIREs Computational Statistics*, 3.
- Klingenberg. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 353-357.
- Lagunas Rodríguez, Z., & Reyes Vázquez, A. M. (2009). Apuntes para la historia de la antropología física forense en México. *Revista Criminalidad*, 51(2).
Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-31082009000200005
- Langford, M., & Bilissi, E. (2011). *Langford's Advanced Photography*. Focal Press.
- Lara Barajas, I. D. (2008). *Fundamentos de antropología forense Técnicas de prospección, exhumación y análisis de restos óseos en casos forenses*. México : Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Lele, S. R., & Richtsmeier, J. T. (2001). *An Invariant Approach to Statistical Analysis of Shapes*. Chapman and Hall/CRC .
- Lozares Colina, C., & López Roldán, P. (1991). El análisis de componentes principales: Aplicación al análisis de datos secundarios. *Universidad Autónoma de Barcelona*, 31-63.
- Marsh, N. (2014). *Forensic Photography: A Practitioner's Guide*. UK: Wiley.
- Martínez M., A. (1989). La fotografía científica en la investigación taxonómica. *Revista UNAM*. Obtenido de <http://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/viewFile/11014/10340>
- Mellado, J. M. (2013). *Fotografía de alta calidad: las técnicas y métodos definitivos CS6*. Anaya multimedia.
- Naranjo, J. (1998). Fotografía y antropología: los inicios de una relación fructífera. *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares*, 9-22.
- National Forensic Science Technology Center. (2013). A Simplified Guide To Crime Scene Photography. *A Simplified Guide To Forensic Science*, 1-19.
- Neale, W. T., Hessel, D., & Terpstra, T. (2011). Photogrammetric Measurement Error Associated with Lens Distortion. *SAE Technical Paper*, 1-50.

- Pompeyo, M. S., & López Orozco, R. E. (2014). Intervención del perito en el nuevo sistema penal acusatorio. *Nova Iustitia*, 6.
- Prieto, F., & Salazar, A. (2019). Antropometría de la boca a partir de dos vistas. Stereo and colorbased mouth antropometry. 225-234.
- Remondino, F., & Fraser, C. (2006). Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. *ETH Zurich Research Collection*, 266-272.
- Rodríguez Navarro, P. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 17(20), 100-111. doi:10.4995/ega.2012.1408
- Rohatgi, R., & Kapoor, A. (2015). Importance of Still Photography at Scene of Crime: A Forensic vs. Judicial Perspective. *Crime scene investigaton*.
- Rohlf, F. J. (19 de May de 2015). The tps series of software. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 1-4. Obtenido de <http://www.italian-journal-of-mammalogy.it/article/view/11264/pdf>
- Rohlf, F. J., & Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Systematic Zoology*.
- Rosewarne, G. J., & Sánchez Criado, D. (2017). *Iniciación a la Individualización Facial*. Independently published.
- Russo, P., Gualdi-Russo, E., Pellegronelli, A., Balboni, J., & Furini, A. (2017). A new approach to obtain metric data from video surveillance Preliminary evaluation of a low-cost stereo-photogrammetric system. *Elsevier*, 271, 59–67.
- Sánchez, J. M., & Fernández, B. (2005). La fotografía como documento de identidad. *Facultad de Ciencias de La Información*, 28, 189–195.
- Serrano, C., María, V., Luy, J., Link, K. F., & Romano Pacheco, A. (1998). Los rasgos faciales del mexicano y losretratos hablados por computadora. *Revista de la Universidad de México*, 61-63. Obtenido de https://pdfs.semanticscholar.org/ff4a/ea9d5eb04cd1ea552cf3e2b9f8f55e270b1c.pdf?_ga=2.145337718.370971873.1597942950-1389788826.1597942950
- Sevilla, F. A. (28 de octubre de 2009). Imágenes producidas en la cámara oscura.

- Stephan. (2017). Estimating the Skull-to-Camera Distance from Facial Photographs for Craniofacial Superimposition. *Journal of Forensic Sciences*, 1–11. doi:10.1111/1556-4029.13353
- Suarzo Galsames, I., López Cortés, X., & Márquez Miranda, V. (2008). Software Antropmeter, una Nueva Herramienta para Análisis Facial. *Int. J. Morphol*, 26(4), 973–974.
- Terrence R., N. (2016). Photography science. *Salem Press*, 1–6.
- Theodore D. Doiron, R. T. (2013). Dimensional Review of Scales for Forensic Photography. *Massimiliano Ferrucci*, .
- Toro Ibacache, M. V., Manriquez Soto, G., & Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *SciELO*, 977-990.
- Třebický, V., Fialová, J., Kleisner, K., & Havlíček, J. (2016). Focal length affects depicted shape and perception of facial images. *PLoS ONE*, 1–14. Obtenido de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0149313>
- Yezerinac, S. M., Loughheed, S. C., & Handford, P. (1992). Measurement error and morphometric studies: Statistical power and observer experience. *Oxford Academic*, 471- 482.
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D., & Fink, W. L. (2004). Geometric Morphometrics for Biologists. *Elsevier*.

Leyes y documentos gubernamentales.

- Coordinación General de Servicios Periciales. (2015). *Manual de Fotografía Forense*. México: Procuraduría General de la República.
- Diario Oficial de la Federación (Última reforma publicada el 12 de julio de 2018). *Ley General de Salud*. Modificación del listado de Sustancias de la Ley por acuerdo DOF 24-12-2018. Artículos: 346, 349, 350, 350 bis 3 y 350 bis 4.
- Diario Oficial de la Federación (viernes 27 de enero de 2012). *Reglamento de la Ley General de Salud en materia de Control Sanitario de la Disposición de Órganos, Tejidos y Cadáveres de Seres Humanos*. DOF: 26-11-1987. Artículos: 12, 14, 19, 60, 79, 81, 84 y 88.

Gómez González, L. (2016). *Fotografía Forense*. Ciudad de México: Coordinación General de Servicios Periciales.

Procuraduría General de la República. (2015). Protocolo para el Tratamiento e Identificación Forense. *PGR*, 123. Obtenido de <http://www.pgr.gob.mx/>

Procuraduría General de la República. (13 de agosto de 2018). Guía de especialidades periciales federales. *Biblioteca de Publicaciones Oficiales del Gobierno de la República*. Obtenido de <https://www.gob.mx/publicaciones/es/articulos/guia-de-especialidades-periciales-federales?idiom=es>

The United Nations Office on Drugs and Crime. (2009). La escena del delito y las pruebas materiales. *Naciones Unidas*.

Tesis y disertaciones.

Ananenko, Y. (2016). La cámara fotográfica y la cámara móvil. *Universitat Politècnica de Catalunya*.

Castro Martínez, K., & Quinto-Sanchez, M. (s.f.). *Fotografía Científica aplicada a la antropología Forense: Estandarización de testigos métricos o escalas*. Obtenido de Laboratorio de Antropología y Odontología Forense, UNAM: <https://laofunam.com/publicaciones/>

Guerrero González-Valerio, B., & Caballo Méndez, D. (2018). Técnica fotográfica: Aprendiendo a utilizar la cámara Réflex. *Universidad de San Pablo*.

Jasen, P., & González, E. (s.f.). Introducción a la Teoría de Errores de Medición. *Universidad Nacional del Sur*.

Quinto Sánchez, M. E. (2010). Morfometría Geométrica Cranreofacial de México: Procesos microevolutivos y contextos históricos. *Universidad Nacional Autónoma de México*.

Quinto Sánchez, M. E. (2016). Asimetría facial : un estudio de bioantropología integrativa en poblaciones cosmopolitas latinoamericanas. *Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo*.

Rodríguez Luevano, Á. (agosto de 2014). Miradas y rostros : transferencias técnicas y culturales de la fotografía judicial entre Francia y México 1880-1910.

Instituto *Mora.* Obtenido de
<https://mora.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1018/285/1/Miradas%20y%20rostros.pdf>

Recursos electrónicos.

García Holgado, A. (2020). Conceptos generales sobre el tratamiento de imágenes: Resolución, color y RAW. *GRIAL*. Obtenido de <http://tutoriales.grial.eu/conceptosGeneralesFotografia/index.php>

Fleming, D. (2005). *DOFMaster*. Obtenido de Circles of Confusion for Digital Cameras: http://www.dofmaster.com/digital_coc.html

Licenciatura en Ciencia Forense. (25 de enero de 2013). *Presentación ejecutiva de la LCF-UNAM*. Obtenido de Página Oficial de la Licenciatura en Ciencia Forense: <http://www.cienciaforense.facmed.unam.mx>

Wineland, B. (01 de 05 de 2017). *Photography concepts: ISO*. Obtenido de Blogs BGSU: <https://blogs.bgsu.edu/brettmw/2017/05/01/photography-concepts-iso/>