



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DOCTORADO EN ANTROPOLOGÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS/ INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
ANTROPOLÓGICAS / INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

**“VARIABILIDAD DE LAS IMPRESIONES DACTILARES EN
IDENTIFICACIÓN
FORENSE. UN ESTUDIO PARA SU APLICACIÓN EN LA
POBLACIÓN MEXICANA”**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORA EN ANTROPOLOGÍA

PRESENTA:
MIRIAM GARCÍA CUEVAS

TUTOR PRINCIPAL
DR. CARLOS SERRANO SÁNCHEZ
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS (UNAM)
CO-TUTORA
DRA. ESPERANZA GUTIÉRREZ REDOMERO
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ MADRID (ESPAÑA)

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
DRA. LORENA VALENCIA CABALLERO
FACULTAD DE MEDICINA (UNAM)

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICO ESTA TESIS:
A TI, mi compañero, amigo y cómplice de toda la vida,
a USTEDES, mis pequeñas, el motor de mi vida y
a mis PADRES que tanto amo.

AGRADECIMIENTOS

Mi enorme agradecimiento a mi universidad, institución que me ha hecho crecer por brindarme el apoyo necesario para la realización de este trabajo, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que a través del programa de becas CONACYT pude realizar mis estudios de Doctorado, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de esta investigación.

En primer lugar al Dr. Carlos Serrano Sánchez Investigador Titular del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM y tutor principal de esta tesis, a quien admiro y respeto mucho y muy especialmente por ser el principal pilar en esta trayectoria académica, por brindarme su confianza y parte del tiempo de su vida por compartirme sus conocimientos admirables y experiencias académicas, su dedicación y esfuerzo por eso y muchas más razones, no me cansaré de agradecer su apoyo en este camino de logros y éxitos conseguidos, gracias por su dirección y paciencia, por haber elegido ser mi mentor, por haberme enseñado tan bien y prepararme con actitudes y repuestas hacia la vida.

A la Dra. Esperanza Gutiérrez Redomero del Dpto. Ciencias de la Vida, de la Universidad de Alcalá (UAH). Madrid, España. Por su cotutoría en la dirección de tesis y brindarme su valioso tiempo, su apoyo incondicional para la realización y culminación de esta investigación en este arduo trabajo, por su dedicación, dirección, paciencia y valiosos consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis, por ser tan entregada para formarme en esta línea de investigación al compartirme sus enseñanzas, conocimientos y experiencias de vida, muchísimas gracias por todo lo aprendido y compartido, por haberme permitido el desarrollo de esta tesis y por ser una ilustre y admirable persona, que día a día me instruye en diversidad y calidad de conocimientos. Por enseñarme tan bien, por su amistad y compañerismo y sobretodo por demostrarme y ser un ejemplo con actitudes y repuestas hacia la vida.

A la Dra. Lorena Valencia Caballero, por sus cálidas y valiosas asesorías por sus acertados comentarios y recomendaciones, por invertir su tiempo y esfuerzo en esta tesis, además de su colaboración en este trabajo y toda su actitud positiva en todo momento, muchas gracias.

A la Dra. Abigail Meza, por sacrificar su tiempo para leer este trabajo y darme sus recomendaciones, por su disponibilidad y aportes académicos pero sobre todo, por apoyarme a hacer este camino más fácilmente.

Al Dr. Bernardo Adrian Robles Aguirre, por su apoyo incondicional y asesorías en todo momento, por sus actitudes siempre tan acertadas, por su compañía en esta inmensa trayectoria que cada día ha dado frutos y por cosechar todo el sin fin de aventuras y encuentros en este camino tan exitoso, por compartir su conocimiento, tiempo y sobre todo su gran inteligencia, gracias por estar.

Al Posgrado y la Coordinación de Antropología por su constante apoyo en el programa de Doctorado del cual forme parte, por su paciencia en todo este tiempo, especialmente a Luz María Tellez, por ser tan dedicada y llena de energía y entusiasmo, sin ti no hubiese sido fácil llevar a cabo todo este proceso, gracias por conocerte y mostrar tu apoyo en todo momento.

Gracias a la Universidad de Alcalá, Madrid, España y a todas las personas que me permitieron conocerlas, para alcanzar un exitoso camino en este arduo trabajo, por ser participes y acompañarme en este proceso tan lejos de mi hermoso país, lo cual no lo hubiese conseguido sin su amistad, apoyo y compañía incondicional, en primer lugar al Departamento de Ciencias de la Vida donde conocí a Noemí Rivaldería, pilar importante para el desarrollo de este trabajo, a Vicente Otuño, que también me animó en los momentos más difíciles lejos de mi gente, gracias por tus enseñanzas y tan atinados comentarios, a Angeles y Virginia, por hacerme más grato el lugar de trabajo y no menos importante a mis amigas, Juani, Emi y Laura muchas gracias a todos por hacer mucho más grata mi estancia en su país y por mostrarme su apoyo en cada momento.

Gracias a mis padres, que fueron los mayores promotores de mis sueños y durante este proceso, mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin rendirme, a ellos

asimismo les agradezco con todo mi ser. Gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre y padre por estar dispuestos a acompañarme, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron y me han hecho más fuerte durante mi vida. A mis hermanas Aide, Brenda y Karla pilares importantes en mi vida, las cuales amo y que siempre han estado ahí, con unas palabras de ánimo, o con una sonrisa me han ayudado con sus aportes, lo complicado de lograr se ha alcanzado. Les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

Agradezco a mis queridas hijas por los momentos sacrificados en nuestras vidas, que requirió el cumplimiento de esta tesis, gracias por ir intentando entender el significado del sacrificio, gracias por siempre estar presentes a mi lado, gracias Africa hija mía por ser la fuente de mi esfuerzo y todas las energías requeridas en este, gracias Alika por ser el motor de mi vida, el motor que siempre está encendido, a ambas, las amo y adoro siendo la recompensa y la causa de mi felicidad, el motor que impulsa mi vida hacia el éxito.

A ti Adrian gracias por entenderme en todo, gracias porque en todo momento fuiste un apoyo incondicional en mi vida, por enseñarme a estar dispuesta a enfrentar todo y en todo momento, jamás podré terminar de agradecerte por tantas ayudas, por cada detalle y momento dedicado, por tu apoyo incondicional, por la caridad y exactitud con la que me enseñaste a ser tan tenaz y luchar para conseguir lo que quiero, por creer en mí y disfrutar mis logros, por compartir y aceptar mis sueños y siempre estar ahí, con unas palabras de ánimo, de orgullo o con una sonrisa, por acompañarme cada día, por esos bellos y hermosos momentos de tu tiempo, por darme esa fuerza en mi vida y por tu infinito cariño que me ánimo a culminar este trabajo, quererme y amarme tanto, gracias por ser tu y estar a mi lado pero sobre todo por querer caminar conmigo.

A mis amigos que han permanecido durante este proceso de vida, por ser pilares de confianza, integridad y seguridad hacia el éxito, por compartirme tantas cosas lindas y bellas, por su gran labor de todos aquellos que estuvieron presentes durante toda o la mayor parte de la realización y el desarrollo de esta tesis, gracias a aquellos que realizaron aportes a esta, especialmente a Jessica Garrido por su colaboración y ayuda, a Rocío Hernández, Judith Ruíz, Jatziri, a Paty y Karina, gracias a todos.

El desarrollo de esta tesis no fue algo fácil, pero lo que sí puedo hacer, es afirmar que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento, realizado dentro de ésta, lo disfruté mucho.

En general agradezco a todas las Intituciones, organismos, bibliotecas, archivos, que de alguna manera contribuyeron a facilitarme acceso a la información requerida para alcanzar los objetivos planteados en esta tesis.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a, todas aquellas personas, amigos y colegas que me brindaron su tiempo e información para el logro de este trabajo, que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

Por todo el trabajo sembrado, sé, que el tiempo permitirá disfrutar de una agradable cosecha, por eso estoy y cualquier cosa es posible...

ÍNDICE

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Lista de figuras y tablas	ix
Introducción	1
1. Consideraciones generales sobre los dermatoglifos	8
1.1. Bases biológicas de la dermatoglia	9
1.1.1. Características de la piel, forma y función	9
1.1.2. Desarrollo ontogenético de los dermatoglifos	13
1.1.3. Variaciones evolutivas y de herencia genética	20
1.2. Aplicación de los estudios de dermatoglifos	23
1.2.1. Antropología	23
1.2.2. Medicina-clínica	27
1.2.3. El ámbito forense	30
1.3. Marco histórico y actual en la identificación forense	31
1.3.1. Procesos de identificación y la identificación personal: contexto histórico	36
1.3.2. Identificación morfológica y estado actual de la dactiloscopia	37
2. Material y métodos	53
2.1. Caracterización de la muestra	54
2.2. Técnica de registro de muestra	57
2.3. Registro y análisis del tipo de figura principal	58
2.4. Registro y análisis de la densidad de crestas	60
2.5. Registro y análisis de <i>minutiae</i>	62
2.6. Análisis estadístico	66
3. Resultados	70
3.1. Tipos de figura principal en relación a los dedos	71
3.2. Variabilidad topológica, dactilar, bimanual y sexual de la densidad de crestas.	73
3.2.1. Densidad de crestas por dedo, área y sexo	73
3.2.2. Inferencia sexual. Estimaciones <i>likelihood ratio</i> (LR)	79
3.3. Variabilidad de los diferentes tipos de <i>minutiae</i>	82
3.3.1. Variabilidad individual y sexual por áreas	82
3.3.2. Variabilidad dactilar y sexual por áreas	89
3.3.3. Variabilidad por tipo de figura principal	102
3.4. Variabilidad de la densidad de <i>minutiae</i> por sectores, dedos y sexo	110
3.4.1. Variabilidad individual y sexual por sectores	110

3.4.2. Variabilidad dactilar y sexual por sectores	112
3.4.3. Variabilidad por tipo de figura principal	120
3.5. Comparación interpoblacional	124
3.5.1 Tipo de figura principal	124
3.5.2 Densidad de crestas	125
3.5.3 Tipos de <i>minutiae</i>	128
4. Discusión y conclusiones	133
5. Anexo 1	155
6. Anexo 2	169
7. Bibliografía	174

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras

Figura 1. Pictografía indígena, Nueva Escocia (Cummins y Midlo, 1943).

Figura 2. Corte histológico comparativo entre la piel gruesa (a) y la piel fina (b). Imágenes modificadas de la página web: <http://www.wesapiens.org>.

Figura 3. Corte histológico de las tres capas de la piel, mostrándose detalladamente la epidermis. Imágenes modificadas de la página web: <http://www.wesapiens.org>. (Rivalderia, 2016).

Figura 4. Almohadillas volares, palmares y digitales, de una mano fetal vista al microscopio electrónico (imagen de Carlson, 1999). Crecimiento progresivo de la mano: (a) mano en forma de remo, (b) separación de los dedos de la mano, (c) aparición de las almohadillas volares, (d) estado de la mano a las 8 semanas de gestación (imagen de Cummins, 1929) (Modificado Gutierrez-Redomero 2014).

Figura 5. Los dermatoglifos empiezan a formarse una vez que se desarrolla la mano distinguiéndose las caras dorsal y ventral, denominadas “almohadillas”, superficies anatómicas convexas localizadas en las yemas de los dedos. (modificado de Rivalderia, 2016).

Figura 6. Cortes histológicos de la piel, donde se muestra la formación de las crestas primarias y secundarias (a) (imagen de Babler, 1991).

Figura 7. (a) Dibujo esquemático de la formación de las almohadillas en los tres tipos de figura. (b-e) Esquema que representa los distintos lugares de inicio de formación de las crestas epidérmicas, y su posterior desarrollo en la superficie del dedo: (b) en un torbellino con recuento de crestas bajo, (c) dibujo lateral la formación de los deltas, (d) en un torbellino con recuento de crestas alto, (e) en un arco (imagen de Wertheim y Maceo, 2002) Rivalderia, 2016.

Figura 8. Proliferaciones celulares antes de la formación de crestas entorno a la semana 10.5 de gestación. Ilustración de minucias que surgen de la expansión de la superficie durante la etapa crítica a aumentar de tamaño después de la formación secundaria de la cresta Wertheim y Maceo (2002), (Wertheim, 2011).

Figura 9. Patrones dermatoglíficos palmares de Langur, Babuino y humano.

Figura 10. Ubicación geográfica del área de muestreo, Ciudad de México.

Figura 11. Metodología para la obtención de las impresiones dactilares. a) Aplicación del polvo de grafito a la yema del dedo. b) Rodamiento del dedo en sentido ulnar-radial. c) Impresión dactilar en la etiqueta adhesiva. d) Depósito de las etiquetas en la lámina de acetato transparente. e) Ficha con los datos y las diez impresiones dactilares del individuo. (Fuente: Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013a).

Figura 12. Sistemas de crestas en una impresión dactilar. En rosa el sistema basilar, en azul el sistema nuclear y en verde el sistema marginal (tomado de Rivaldería, 2016).

- Figura 13. Ejemplo de figura o patrón principal de tipo arco en tienda (a) y arco (b).
- Figura 14. Ejemplos de figura o patrón principal tipo presilla. Conociendo que el dedo de la impresión es de la mano derecha, (a) es una presilla ulnar y (b) una presilla radial.
- Figura 15. Ejemplos de figura o patrón principal tipo torbellino, simétrico (a), asimétrico (b) y núcleo en espiral (c).
- Figura 16. Localización de las tres aéreas de recuento de crestas (radial, ulnar y proximal) en los tres tipos de figura principal (torbellino, presilla y arco), sobre impresiones dactilares tomadas de dedos de la mano derecha (imagen tomada de Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013).
- Figura 17. Numeración de los diez dedos de las manos, identificación de las áreas topológicas. (R: Radial; U: Ulnar; P: Proximal) y localización de las áreas sobre una impresión de un dedo de la mano derecha (de izquierda a derecha: área radial (verde), área ulnar (azul) y área proximal (rojo) (Taduran *et al.*, 2017).
- Figura 18. Sectorización de la impresión dactilar en ocho áreas de recuento en los tres tipos de figura principal (torbellino, presilla y arco) (modificado de Rivaldería 2016). RDD: radial distal dentro; UDD: ulnar distal dentro; RDF: radial distal fuera; UDF: ulnar distal fuera; RPD: radial proximal dentro; UPD: ulnar proximal dentro; RPF: radial proximal fuera; UPF: ulnar proximal fuera.
- Figura 19. Tipos de *minutiae* valorados (tomado de Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2012).
- Figura 20. Frecuencias relativas por sexo (V. varones, M: mujeres) y dedo para los cuatro tipos de figura principal valorados (A: arcos, PU: presillas ulnares, PR: presillas radiales, T: torbellino).
- Figura 21. A) Frecuencias del tipo de figura para todos los dedos (Dedos 1-5, mano derecha; Dedos 6-10, mano izquierda). B) Análisis de correspondencias significativo entre el tipo de figura principal y los distintos dedos.
- Figura 22. Densidad de crestas media por mano (derecha e izquierda), área (U: ulnar; R: radial; P: proximal) y sexo.
- Figura 23. Densidad de crestas media por área, dedo ($D_i = 1, \dots, 10$) y sexo. Áreas: U: ulnar; R: radial; P: proximal.
- Figura 24. Distribución de las frecuencias en la densidad de crestas para ambos sexos.
- Figura 25. Frecuencias relativas por área (dentro y fuera del círculo) para las abruptas (A), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por sexo (a) varones (b) mujeres.
- Figura 26. Frecuencias relativas por área (D: dentro, F: fuera el círculo) de los tipos de *minutiae* de baja frecuencia, en varones (a) y mujeres (b).

- Figura 27. Análisis de Correspondencia entre los tipos de minucias, ambos sexos y áreas (dentro y fuera) del círculo para los 10 dedos.
- Figura 28. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (A_i), abruptas finales (A_f), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por área (dentro y fuera del círculo) y dedo (D_1, \dots, D_{10}) en la muestra de **varones**.
- Figura 29. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (A_i), abruptas finales (A_f), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por área (dentro y fuera del círculo) y dedo (D_1, \dots, D_{10}) en la muestra de **mujeres**.
- Figura 30. Frecuencias relativas por sexo para abruptas iniciales (A_i), abruptas finales (A_f), bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro del círculo y dedo (D_1, \dots, D_{10}).
- Figura 31. Frecuencias relativas por sexo para abruptas iniciales (A_i), abruptas finales (A_f), bifurcaciones (B) y convergencias (C) fuera del círculo y dedo (D_1, \dots, D_{10}).
- Figura 32. Frecuencias relativas para los tipos de *minutiae* menos frecuentes por dedo y área (dentro y fuera del círculo) en los varones. FG: fragmento grande, FP: fragmento pequeño, I: interrupción, OG: ojal grande, OP: ojal pequeño, PE: punto entre crestas, PD: punto dentro de crestas, D: desviación, T: transversal, E: empalme, S: secante, CU: cuña, TFB: trifurcación bifurcante, TFC: trifurcación convergente, MB: M bifurcante, MC: M convergente, VI: vuelta insólita.
- Figura 33. Frecuencias relativas para los tipos de *minutiae* menos frecuentes por dedo y área (dentro y fuera del círculo), en las mujeres. FG: fragmento grande, FP: fragmento pequeño, I: interrupción, OG: ojal grande, OP: ojal pequeño, PE: punto entre crestas, PD: punto dentro de crestas, D: desviación, T: transversal, E: empalme, S: secante, CU: cuña, TFB: trifurcación bifurcante, TFC: trifurcación convergente, MB: M bifurcante, MC: M convergente, VI: vuelta insólita.
- Figura 34. Análisis de Correspondencia entre los tipos de minucias en el área central del dactilograma y los dedos (D_1, \dots, D_{10}) (a), y dedos (1, ..., 10) y sexo (V: varones, M: mujeres) (b).
- Figura 35. Análisis de Correspondencia entre los tipos de minucias en el área periférica del dactilograma y los dedos (D_1, \dots, D_{10}) (a), y dedos (1, ..., 10) y sexo (V: varones, M: mujeres) (b).
- Figura 36. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (A_i), finales (A_f) bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro del círculo para presilla ulnares y torbellinos en varones y mujeres.
- Figura 37. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (A_i), finales (A_f) bifurcaciones (B) y convergencias (C) fuera del círculo para las presilla ulnares en varones y mujeres.
- Figura 38. Análisis de correspondencia para los tipos de minucias, por dedo (D_1, \dots, D_{10}) y tipo de figura, presilla ulnar (PU) y torbellino (T) para las áreas dentro y fuera del dactilograma, por sexos, varones dentro del círculo (a), varones fuera del círculo (b), mujeres dentro del círculo (c) y mujeres fuera del círculo (d).

- Figura 39. Densidad media de minucias, a partir de los diez dedos, por sector y sexo.
- Figura 40. Media de las *minutiae* por sectores, distales (radial RD, ulnar UD) y proximales (radial RP y ulnar UP), dentro y fuera del círculo, para ambas manos y ambos sexos.
- Figura 41. Análisis de componentes principales (PCA) por área de recuento, dedos y sexo. Dedos (D1, ..., D10); v: varón, m: mujer; sectores: RDD (radial distal dentro), RDF (radial distal fuera), UDD (ulnar distal dentro), UDF (ulnar distal fuera), RPD (radial proximal dentro), RPF (radial proximal fuera), UPD (ulnar proximal dentro) y UPF (ulnar proximal fuera).
- Figura 42. Medias de los tipos de *minutiae* por dedo, sexo y por sectores, RD: radial distal; UD: ulnar distal; RP: radial proximal; UP: ulnar proximal.
- Figura 43. Medias de los tipos de *minutiae* por dedo, sexo y por área del dactilograma dentro y fuera del círculo.
- Figura 44. Análisis de Cluster basado en la densidad de minucias en los diez dedos (D1,...,D10) para los varones (a) y mujeres (b).
- Figura 45. Medias de densidad de minucias por tipo de figura: arco-A; presilla ulnar-PU; presilla radial, sexo, y sectores (RDD: radial distal dentro; UDD: ulnar distal dentro; RDF: radial distal fuera; UDF: ulnar distal fuera; RPD: radial proximal dentro; UPD: ulnar proximal dentro; RPF: radial proximal fuera; UPF: ulnar proximal fuera). * diferencias significativas entre los tipos de figura $p < 0,05$.
- Figura 46. Medias de densidad de minucias por tipo de figura: arco-A; presilla ulnar-PU; presilla radial, sexo, y sectores (RD: radial distal; UD: ulnar distal; RP: radial proximal; UP: ulnar proximal).
- Figura 47. Medias de la densidad de *minutiae* por tipo de figura; arco (A), presilla ulnar (PU), presilla radial (PR) y torbellino (T), dentro y fuera del círculo y de ambos sexos, varones y mujeres.
- Figura 48. Frecuencia por tipo de figura principal para tres poblaciones.
- Figura 49. Análisis de correspondencia entre los tipos de figura principal y las poblaciones.
- Figura 50. Frecuencia relativas, a partir de las obtenidas en los diez dedos, de abruptas (A), bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro (D) y fuera (F) del círculo, para ambos sexos, de las muestras de población española, mexicana y argentina.
- Figura 51. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias) y las poblaciones.
- Figura 52. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias), dentro (D) y fuera (F) del círculo, y las poblaciones.
- Figura 53. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias), dentro (D) y fuera (F) del círculo, por sexo (v: varones, m: mujeres) y las poblaciones.

Figura 54. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias), por tipo de figura (A: arco, PR: presilla radial, PU: presilla ulnar, T: torbellino) y las poblaciones.

Tablas

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la densidad de crestas por área y sexo.

Tabla 2. Comparación entre sexos de la densidad de crestas, por mano y área de recuento mediante la *t* de Student. V, varones; M, mujeres. D.T., desviación típica.

Tabla 3. Valores del grosor de crestas en milímetros por área y sexo.

Tabla 4. Comparación bimanual (D, derecha; IZ, izquierda) por sexo, para la densidad de crestas media en cada área de recuento (ulnar, radial y proximal). Test *t* de Student para muestras relacionadas. D.T., desviación típica.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la densidad de crestas (DC) por dedo, área de recuento y sexo. D1...D5, dedos de la mano derecha; D6...D10, dedos de la mano izquierda; R, radial; U, ulnar; P, proximal; D.T., desviación típica.

Tabla 6. Comparación entre sexos de la densidad de crestas media por dedo y área de recuento mediante el test *t* de Student para muestras independientes.

Tabla 7. Comparación entre las dos áreas de recuento distal (radial y ulnar) en cada dedo mediante la prueba Wilcoxon para dos muestras relacionadas. D1...D5, dedos de la mano derecha; D6...D10, dedos de la mano izquierda.

Tabla 8. Comparación entre las tres áreas de recuento (radial, ulnar y proximal) en cada dedo mediante la prueba de Friedman para muestras relacionadas. D1...D5, dedos de la mano derecha; D6...D10, dedos de la mano izquierda.

Tabla 9. Diferencias significativas para la media de densidad de crestas entre los dedos, comparados dos a dos, para las áreas ulnar y radial en ambos sexos (azul, varones y rojo, mujeres). * $p < 0,05$; valor si $p > 0,05$.

Tabla 10. Probabilidad de la densidad de crestas y su diferenciación sexual en el área radial (C: varones; C': mujeres).

Tabla 11. Probabilidad de la densidad de crestas y su diferenciación sexual en el área ulnar (C: varones; C': mujeres).

Tabla 12. Probabilidad de la densidad de crestas y su diferenciación sexual en el área proximal (C: varones; C': mujeres).

Tabla 13. Número total de *minutiae* localizadas sobre las áreas del dactilograma por sexo.

Tabla 14. Frecuencias relativas de los tipos de *minutiae* por sexo y área.

Tabla 15. Frecuencias relativas sobre el total de abruptas, de los tipos iniciales(Ai) y finales(Af) por sexo y área.

Tabla. 16. Valores de significación ($p < 0,05$) encontradas entre la distribución de abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro y fuera del círculo para la muestra total y por sexos de los 10 dedos. n.s.: no significativo.

Tabla 17. Diferencias significativas entre sexos, dentro y fuera del círculo, para los 10 dedos. n.s.: no significativo.

Tabla 18. Diferencias significativas de ambas mano del dedo 1 (D1,..., D10), para la muestra total (T), hombres (♂) y mujeres (♀). * $p \leq 0.05$, ** $p < 0.001$.

Tabla 19. Diferencias significativas entre los sexos por área (total, dentro y fuera del círculo) y dedo (D1,..., D10). Abruptas iniciales (Ai), Abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C).
** $p < 0.001$, * $p \leq 0.05$.

Tabla 20. Diferencias significativas en la distribución de frecuencias dentro y fuera del círculo en las Presillas ulnares, para las abruptas iniciales (Ai), finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C), por dedo (D1, ..., D10), para la muestra total (T), para la de varones (♂) y para las mujeres (♀).
** $p < 0.001$, * $p \leq 0.05$.

Tabla 21. Diferencias significativas en la distribución de frecuencias dentro y fuera del círculo en los torbellinos, para las abruptas iniciales (Ai), finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C), por dedo (D1, ..., D10), para la muestra total (T), para la de varones (♂) y para las mujeres (♀).
** $p < 0.001$, * $p \leq 0.05$.

Tabla 22. Medias de las *minutiae* por sector (radial R, ulnar U), por zona (distal D, proximal P), dentro y fuera del círculo para generalizar las ocho áreas de recuento: RD (radial distal), RDD (radial, distal, dentro), RDF (radial, distal, fuera), UD (ulnar distal), UDD (ulnar, distal, dentro), UDF (ulnar, distal, fuera), RP(radial proximal), RPD (radial, proximal, dentro), RPF (radial, proximal, fuera), UP (ulnar proximal), UPD (ulnar, proximal, dentro) y UPF (ulnar, proximal, fuera), para varones y mujeres.

Tabla 23. En esta tabla se muestra el valor de las medias de las *minutiae* por sector (radial R, ulnar U), por zona (distal D, proximal P), dentro y fuera del círculo para generalizar las ocho áreas de recuento: RDD (radial, distal, dentro), RDF (radial, distal, fuera), UDD (ulnar, distal, dentro), UDF (ulnar, distal, fuera), RPD (radial, proximal, dentro), RPF (radial, proximal, fuera), UPD (ulnar, proximal, dentro) y UPF (ulnar, proximal, fuera). Del dedo (D1, ..., D10) y para varones (♂) y mujeres (♀).

Tabla 24. Diferencias sexuales significativas para la media de minucias dentro del círculo, por sectores (RDD: radial distal dentro, UDD: ulnar distal dentro, RPD: radial proximal dentro, UPD: ulnar proximal dentro) y fuera del círculo, por sectores (RDF: radial distal fuera, UDF: ulnar distal fuera, RPF: radial proximal fuera, UPF: ulnar proximal fuera) y para los diez dedos (D1, ..., D10). * $p < 0.05$, ** $p < 0,001$.

Tabla 25. Diferencias sexuales significativas para la media de minucias por sectores (RD: radial distal, UD: ulnar distal, RP: radial proximal, UP: ulnar proximal), para los diez dedos (D1, ..., D10). * $p < 0.05$, ** $p < 0,001$.

Tabla 26. Diferencias sexuales significativas para la media de minucias por sectores por área (dentro y fuera del círculo) por dedo. * $p < 0.05$, ** $p < 0,001$.

Tabla 27. Comparación entre las diferentes poblaciones que siguen la misma metodología mediante el test t de Student para muestras independientes.

Tabla 28. Estudios de densidad de crestas del área radial, ulnar y proximal de varones y mujeres. Valores: Media (desviación estándar).

INTRODUCCIÓN

La presente investigación plantea el estudio de los rasgos dermatoglíficos; son éstos los patrones formados por los relieves dérmicos en las regiones palmar y plantar de manos y pies, respectivamente, los cuales tienen una base genética y un significado evolutivo propios de nuestra especie (Pons, 1963; Newman, 1970; Serrano, 1979). Ya que están determinados genéticamente, son útiles como “marcadores” para establecer diferencias entre los grupos humanos. El término de dermatoglifos fue acuñado por Cummins y Midlo en 1926, derivado de los vocablos griegos “*derma*”, piel, y “*glyphe*”, dibujo o grabado. (figura 1).

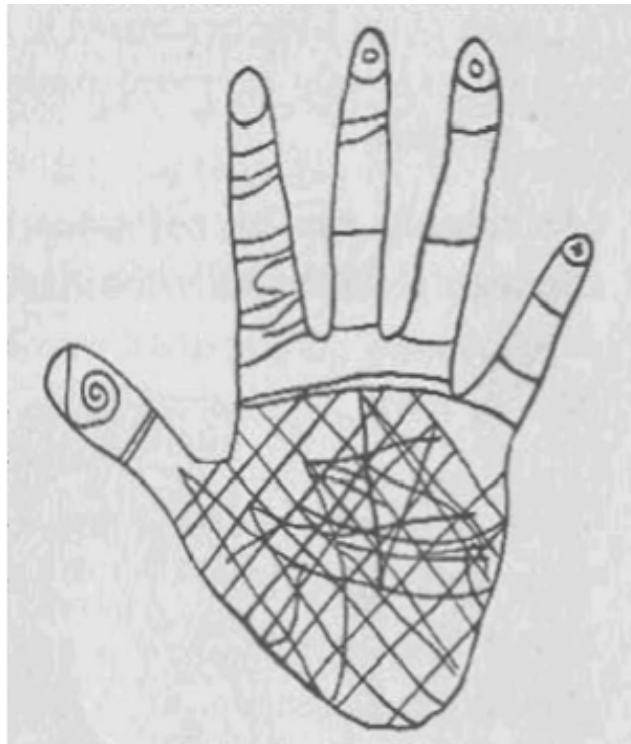


Figura 1. Pictografía indígena, Nueva Escocia (Cummins y Midlo, 1943).

Los dermatoglifos tienen una importancia relevante dentro de las manifestaciones morfológicas de las poblaciones humanas, siendo muy variables. Su estudio comparativo trasluce el parentesco biológico de las poblaciones que tiene que ver con los antecedentes históricos de las mismas. Es por ello, que las características de las crestas papilares, debido a su gran variedad de formas de expresión y por su propiedad de ser caracteres no adaptativos y no modificables por el medio ambiente, son una valiosa herramienta para ampliar el conocimiento de la diversificación del poblamiento humano.

Actualmente, disciplinas como la Antropología Física, la Genética Humana y la Clínica han estudiado las crestas papilares, en particular de los dedos y palmas. Los estudios implican analizar la frecuencia de los tipos de patrones generales digitales (arco, presilla y torbellino), la cantidad total o parcial de crestas, su variabilidad, la herencia en familias y poblaciones y su manifestación en diversos síndromes y patologías, así como en el ámbito forense para la identificación personal, por lo que el estudio de los dermatoglifos se considera en la actualidad una ayuda valiosa en la evaluación de estas áreas. Se trata de una línea de estudio que goza de un amplio reconocimiento internacional, considerando que es necesario desarrollar sistemas que tengan como base el perfil antropológico de la población de que se trate, como es el caso ahora de la población mexicana.

Uno de los principales usos de estos estudios, está relacionado con la identificación de personas en el medio policial y, por ende, son utilizados en los laboratorios de criminalística y en la Subdirección de identificación humana a través de las áreas de dactiloscopia, y a nivel mundial en investigaciones que tienen su principal aplicación en los casos de identificación. Esta forma de identificación se basa en dos premisas: que las huellas son permanentes porque no se modifican con el paso del tiempo y, segundo, en que son únicas para cada individuo.

En México la práctica de la antropología forense, esta relacionado con la actividad pericial, se ha venido aplicando a la problemática de la identificación de personas vivas o de cadáveres en estado de putrefacción, de incineración o que han muerto en desastres masivos. En el caso de identificación personal en sujetos vivos, la antropología forense guarda estrecha relación con la criminalística, en la que destaca el análisis de huellas digitales, las cuales, han sido usadas de forma sistemática durante más de un siglo para identificar a las personas, y aún continúan siendo un método fácil, económico y confiable para la identificación, ya que tienen un alto valor como evidencia para identificar al sospechoso involucrado en un hecho delictivo, siendo usual encontrar las huellas en el sitio donde se ha cometido el delito o bien a la víctima que se encuentra en calidad de desconocido.

El inicio de esta práctica forense en México fue gracias a la necesidad de mantener un acervo institucional de registros, basados en información proveniente de dermatoglifos,

siendo pioneros en la materia el profesor Don Carlos Roumagnac, autor de los primeros tratados de Policía Científica y Criminología aparecidos en México (1907); y D. Benjamín Martínez, fundador del Gabinete de Identificación Judicial y del Laboratorio de Criminalística de la Jefatura de la Policía del Distrito Federal (1926) [López, 2017]. A partir de los años treinta, se fue consolidando la práctica de incluir en los expedientes carcelarios, impresiones dermatoglíficas, básicamente dactilares, para establecer una oficina de dactiloscopia y así contener un registro y acervo carcelario. En años recientes, a pesar del desarrollo de la identificación mediante técnicas de ADN, considerada como paradigma de la investigación criminal, las huellas digitales continúan siendo un método confiable y económico para la identificación personal. Las técnicas lofoscópicas y, dentro de ellas, la dactiloscopia es una de las más antiguas, pero no por ello queda invalidada por otras más recientes o evolucionadas; y debido a su bajo costo, al tiempo que requiere el estudio y su elevada precisión, hace que sea la técnica más utilizada en identificación.

La identificación tanto si hablamos de personas vivas, sospechosas de un delito, como de cadáveres, es un proceso tremendamente delicado ya que no debe existir la mínima posibilidad de error, que difícilmente se podría enmendar. Cuando hay que identificar al sospechoso involucrado en un delito, esta tarea suele plantear grandes dificultades y resultar complicada. Sin embargo, la aplicación formal de las particularidades individuales de los relieves dérmicos, que posibilitan la identificación, se ha dado desde los tiempos más remotos y ha adquirido en la actualidad un reconocimiento generalizado en los sistemas de identificación personal, en los cuales se aplican avances tecnológicos muy sofisticados como son los sistemas automatizados de búsqueda de fichas dactiloscópicas, que son ya consustanciales a las practicas criminalísticas y policiales. Es una realidad totalmente aceptada, que las huellas dactilares constituyen una forma de identificación absoluta de un individuo y que se han transformado en el indicio físico más valiosa que pueda encontrarse en el escenario de un delito.

Planteamiento del problema

Este trabajo tiene el objetivo de definir los rasgos dermopapilares que son conocidos como puntos característicos o minucias¹, en latín, *minutiae*², término acuñado por Galton, y que se han venido empleando de manera general para la identificación personal; las minucias son así todos los detalles producidos en el recorrido de las crestas papilares, cuyos relieves originan las huellas dactilares. En los dibujos papilares hay, asimismo, partes más menudas como los poros, las crestas incipientes y las formas en línea. Con ellas se identifican las huellas dactilares.

A partir de las huellas digitales se estudiará la variabilidad, frecuencia y localización mostrada en los tipos de patrón principal, por las *minutiae*, y por la densidad de crestas sobre la superficie topológica de los dedos, para así valorar las diferencias interdigitales, bimanuales, sexuales y geográficas. Todo ello, con la finalidad de aportar datos científicos que sirvan de apoyo, en nuestro caso, en el proceso de identificación a los servicios de criminalística en México, que puedan contribuir al cálculo probabilístico de la identidad, para establecer patrones característicos que coadyuven a obtener mejores resultados en la identificación forense.

Actualmente se han realizado numerosos estudios sobre diferentes poblaciones para definir la presencia de puntos característicos o minucias, ya que son de vital importancia en el ámbito forense, por su contribución decisiva al proceso de identificación humana por medio de la dactiloscopia, por dar cuenta de la configuración, distribución y frecuencia de patrones de minucias. Por ejemplo, los estudios recientes de Gutiérrez-Redomero (Gutiérrez *et al.*, 2005, 2007, Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2008, 2011, 2012, 2013), son ejemplos del avance en esta línea de investigación, que ayudan a su estudio, al estandarizar la metodología utilizada para el recuento de crestas y el análisis de la variabilidad de las minucias. Por ello, se ha realizado el siguiente estudio sistemático, para conocer la variabilidad y distribución de las frecuencias de *minutiae* que aparecen a

¹ Las crestas papilares no son normalmente líneas regulares, generalmente sufren irregularidades, accidentes o anomalías conocidas como *puntos característicos* (Ibáñez, 2010).

² Pequeños detalles. The American Heritage ®Diccionario de la Lengua Inglesa, cuarta edición © 2000 por Houghton Mifflin Company. Actualizado en 2009. Publicado por Houghton Mifflin Company. 1751, pl. *minucias*, de minucias L. “pequeñez” (pl. minucias, en LL “bagatelas”), de *minutus* “pequeños”.

lo largo de la huella, las diferencias por sexo y su relación con el diseño del patrón digital en la población mexicana.

Hipótesis

1. Existen diferencias significativas topológicas, interdigitales, bimanuales y sexuales en la distribución y tipos de minucias, así como en la densidad de crestas.
2. Existen diferencias significativas en las *minutiae* y la densidad de crestas a nivel intra e inter-poblacional.
3. El análisis de los detalles dérmicos registrados como minucias, permiten llegar a un nivel más confiable de identificación personal.

Objetivo general

Abordar el estudio de la variabilidad presentada por los principales rasgos morfológicos de las crestas dermopapilares empleados en la identificación forense, a partir de las huellas dactilares de una muestra de población mexicana.

Objetivos particulares

1. Estudiar la variabilidad mostrada por los tipos de patrón principal, por las *minutiae*, y por la densidad de crestas sobre la superficie topológica de los dedos.
2. Valorar las diferencias interdigitales, bimanuales y sexuales.
3. Obtener de datos que sirvan de apoyo en el proceso de identificación a los Departamentos de criminalística e Identificación humana de México, y que también puedan contribuir al cálculo probabilístico de la identidad en diferentes países.

Los resultados que se obtengan serán novedosos en el ámbito científico, y ampliarán el conocimiento sobre la variabilidad y caracterización dermatoglífica de la población mexicana, al mismo tiempo que permitirán mejorar, mediante su aplicación, la elaboración de los informes periciales de identificación dactiloscópica. Para ello, se intentará la vinculación con los servicios periciales, que puedan ensayar y hacer uso de la variabilidad de los patrones de minucias encontrada en esta investigación.

El desarrollo de esta investigación se organizó en diversos capítulos. En el primero, se pretende dar al lector un mayor conocimiento sobre el desarrollo histórico del tema y los antecedentes actuales que motivan esta investigación. En el segundo capítulo, se expone la metodología planteada, el material y técnicas empleadas, la integración de la muestra seleccionada y el registro que nos llevó a obtener los resultados que se presentan en el tercer capítulo, en el que se muestran los resultados basados en el análisis estadístico y su interpretación. En el cuarto capítulo, se integra la discusión, comparando los resultados obtenidos con los de otras poblaciones, finalmente se presentan las conclusiones obtenidas. El quinto capítulo corresponde a la sección de referencias bibliográficas, y el sexto y último, a los Anexos 1 y 2 que se refieren a las tablas del la 1.1 a la 1.10 y la tabla 2.1 de morfología, abreviaturas y definición de minucias y la hoja de recuento.

Capítulo 1

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LOS DERMATOGLIFOS

1. 1. Bases biológicas de la dermatoglífa

La dermatoglifia es el estudio de las configuraciones de las líneas dermopapilares que están presentes en las regiones digital, palmar y plantar de manos y pies, respectivamente, únicamente en los primates incluyendo al hombre se reconocieron desde tiempos muy antiguos, con los estudios de Marcelo Malpighi, Purkinje, Henry Faulds, Herschel, hasta los realizados por Galton. En las últimas décadas algunos investigadores de diversas especialidades han mostrado interés por el estudio de los dermatoglifos, Meier (1980) ofrece un panorama sintético de la diversidad dermatoglífica de las poblaciones humanas a nivel mundial, siendo su aporte, inspiración para diversas obras que han abordado los aspectos biológicos involucrados en la expresión de estas configuraciones dermopapilares, abordadas desde la anatomía, fisiología, herencia y ontogenia (Figueroa, 1990; Testut, 1969; Holt, 1968; Schaumann y Alter, 1976).

Las líneas o crestas dermopapilares aparecen en los inicios de la vida fetal. Los pliegues de flexión de las palmas de las manos y plantas de los pies se han estudiado en conjunto con los patrones dermatoglíficos, y aunque no forman parte de los dermatoglifos, el término ha sido generalmente adoptado para englobar también el estudio de los pliegues (Cummins y Midlo, 1943). Los patrones de los dermatoglifos no cambian desde su aparición en el cuarto mes de gestación, no sufren alteraciones morfológicas postnatales, en contraste con los caracteres antropométricos y otros rasgos somáticos; son caracteres poligénicos, y como tales, menos susceptibles de alteraciones a través de la deriva genética; parecen poseer valores selectivos mínimos y por lo tanto son relativamente no adaptativos, se les puede considerar como marcadores genéticos (Newman, 1970).

1.1.1. Características de la piel, forma y función

Esencialmente se conocen dos tipos de piel, que pueden identificarse por su consistencia y por su localización en el cuerpo (Leeson y Leeson, 1970). Estos dos tipos son conocidos como piel gruesa y piel delgada; la primera se encuentra en las palmas de las manos y plantas de los pies y la segunda en todo lo que resta del cuerpo (Wertheim, 2012). En las regiones palmares y plantares la piel es llamada por su forma, piel volar,

por ser la membrana que posee una organización a base de crestas y surcos, relacionada con el medio ambiente (figura 2).

Histológicamente estos dos tipos de piel se diferencian en la cantidad de queratina superficial, en el grosor de la capa dérmica, por la presencia y el número de papilas o pliegues y, superficialmente, por la presencia o ausencia de vello superfluo, así como la presencia de surcos epidérmicos en las zonas de piel gruesa. Estas crestas y surcos se desarrollan durante los meses tercero y cuarto de la vida fetal y la distribución en que se establecen ya no cambia, sino que sólo aumenta de tamaño; sus características están determinadas por factores hereditarios (Figuroa, 1990).

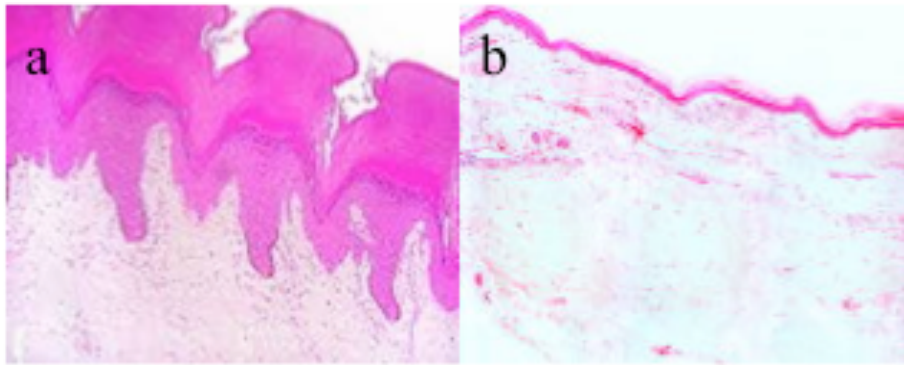


Figura 2. Corte histológico comparativo entre la piel gruesa (a) y la piel fina (b). Imágenes modificadas de la página web: <http://www.wesapiens.org>.

Ambos tipos de piel se encuentran formados por tres capas de tejido completamente diferentes, las cuales se hallan unidas y que son la epidermis, dermis e hipodermis. (Tortora y Grabowski, 1993; Figuroa 1990) (figura. 3).

La epidermis está constituida por epitelio pavimentoso estratificado el cual se encuentra queratinizado en su parte superficial, compuesta por diferentes tipos celulares: queratinocitos, melanocitos, células de Langerhans y células de Merkel, siendo fundamental la comunicación entre ellas para el correcto funcionamiento de la piel, que se renueva constantemente, su origen es ectodérmico y su pigmentación está dada por células llamadas melanocitos, encargadas de producir el pigmento melanina, es la capa más externa de la piel y actúa como una barrera protectora. Las células de Merkel son células que se asocian con las terminaciones nerviosas libres de la dermis a través de sus microvellosidades, cuya función es mecano-receptora (Dillon *et al.*, 2001), estando

localizadas en lugares con sensibilidad táctil muy intensa, y por eso aparecen en mayor concentración en la piel gruesa (Chu *et al.*, 2003; Jablonski, 2004). Algunos autores (Dell y Munger, 1986; Moore y Munger, 1989; Morohunfolá *et al.*, 1992; Irmak, 2010; Wertheim, 2011; Kücken y Champod, 2013), han sugerido que este tipo celular juega un papel importante en el establecimiento de los patrones de la piel gruesa, puesto que alrededor de la 10ª semana de gestación, las células de Merkel comienzan a organizarse en líneas, sirviendo de guía para las crestas primarias que surgirán posteriormente (Kim y Holbrook, 1995).

La dermis está formada por tejido conectivo denso y regular, está situada entre la epidermis y la hipodermis y subdividida en dos estratos: la capa papilar superficial y la capa reticular; ésta es una capa de tejido conectivo formada por una red de células, fibras, vasos sanguíneos y materiales gelatinosos cuya función principal es participar en la recepción sensorial y regulación de la temperatura (Freinkel y Woodley, 2001; Figueroa, 1990: 27).

La hipodermis corresponde al tejido celular subcutáneo o capa basal de la piel y está formada por células grasas, separada por tabiques de tejido conjuntivo que forman numerosos lóbulos conectándose con la dermis a través de fibras, vasos sanguíneos y redes neuronales (Freinkel y Woodley, 2001; Figueroa, 1990).

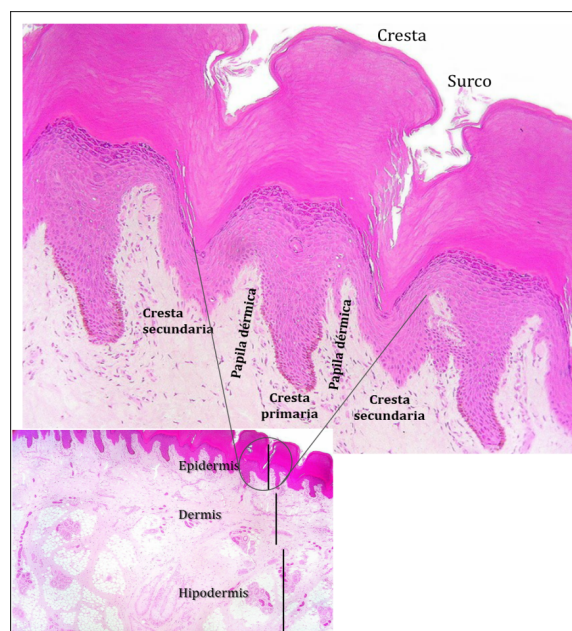


Figura 3. Corte histológico de las tres capas de la piel, mostrándose detalladamente la epidermis. Imagen modificada de la página web: <http://www.wesapiens.org> (Rivalderia, 2016).

La función de la piel como órgano cutáneo tiene funciones muy variadas y complejas que están relacionadas con otros aparatos y sistemas (Figuroa, 1990).

I. Función de protección. La piel es una barrera que protege al individuo de las agresiones externas, dadas varias de sus cualidades: por su integridad, o cohesión y elasticidad, por sus propiedades eléctricas, ya que tiene una carga negativa y por lo tanto permite el paso de partículas de carga contraria y rechaza las de la misma carga. Por el manto ácido que la cubre e impide el desarrollo de hongos y bacterias (ibid.: 32).

II. Función sensorial. Su inmensa inervación la hace ser el órgano receptor de la sensibilidad por excelencia, tanto el tacto como de la temperatura y el dolor (ibid.: 32).

III. Función de termorregulación. La capa cornea, el sebo superficial y el tejido celular subcutáneo son malos conductores del calor y por lo tanto muy buenos aislantes para evitar su pérdida en el organismo. La piel responde al aumento de temperatura con un incremento de sudoración que por evaporación hace bajar la temperatura (ibid.: 32).

IV. Función en el metabolismo en general. La piel interviene en varios procesos metabólicos ya que almacena agua; por lo tanto, interviene en su regulación. En la piel se elimina CO₂ y se absorbe oxígeno, pero en forma mínima ya que no es una verdadera respiración sino una simple difusión de gases. La piel puede absorber agua por la epidermis y el componente pilosebáceo, grasa y sustancias hidro y liposolubles. Por el sudor se elimina urea y creatinina como un sistema de excreción verdadero, pero limitado (ibid.: 32-33).

V. Función sebácea. El sebo es producto de las glándulas sebáceas, interviene en la lubricación de la piel y formación del manto ácido ya que está formado de ácidos grasos libres o combinados y colesterol, tiene propiedades fungicidas y germicidas. Es más abundante en el recién nacido y en el adolescente (ibid.: 33).

VI. Función melanógena. En la piel existen dos clases de pigmentos: la melanina y los pigmentos sanguíneos. La melanina es una proteína compleja de color apizarrado, derivada de sustancias aminadas, principalmente de la tirosina que, mediante una reacción química muy complicada y la intervención de la tirosinasa y otras enzimas, da origen a la dioxifenilalanina (DOFA) y ésta, a su vez, a la melanina. Este pigmento se forma en los melanocitos situados entre las células basales de donde lo toman los

melanóforos para repartirlo. Los pigmentos de la sangre son la hemoglobina y la oxihemoglobina, también intervienen los carotenos en la piel amarilla, la tricosiderina que da color rojo al cabello y al llamado melanoide (ibid.: 33).

VII. Función queratogena. La capa córnea y las faneras están constituidas por queratina que es una proteína fibrosa formada de cadenas polipeptídicas paralelas y alargadas de lo cual dependen su elasticidad y flexibilidad (ibid.: 33-34).

1.1.2. Desarrollo ontogenético de los dermatoglifos

Las figuras o líneas formadas en los relieves de las manos se hacen visibles, al iniciarse la vida fetal, cuando tiene lugar la organogénesis. Estas líneas se complementan durante el quinto mes, correspondiendo casi con el fin de la organogénesis y la diferenciación de las partes fetales. Una vez terminado el desarrollo de las líneas dermopapilares y los patrones que formaron, son permanentes e invariables. Las configuraciones dermopapilares son el resultado inmediato de fuerzas físicas y topográficas que influyen sobre el desarrollo de la piel volar por estar determinadas genéticamente; éstas son útiles como “marcadores” de la presencia de factores genéticos, Cummins y Midlo (1961).

En la actualidad se acepta que la presencia y organización de los surcos y crestas epidérmicas están determinados por dos factores: uno genético y otro ambiental, los que actúan conjuntamente durante el periodo de conformación en la etapa de embriogénesis. Las crestas dérmicas o configuraciones aparecen en las regiones de los cojinetes volares, las cuales son áreas de desarrollo diferencial en el feto (Mulvihill y Smith, 1969). Por lo tanto, aparecen los patrones dérmicos que sólo estarán presentes en ciertas áreas específicas de la palma y de la planta. Aunado a esto, existen los pliegues de flexión de éstas, que han sido relacionados con los dermatoglifos, estudiándose al mismo tiempo, pero no forman parte del sistema dermatoglífico. Para la formación de los pliegues palmares interviene la flexión de la piel fetal de estas regiones, por lo que aparecen antes de la formación de los huesos y músculos al mismo tiempo que los surcos. Estas áreas corresponden a la posición de adherencia de la piel superficial a las capas más profundas de la piel.

Desarrollo de las extremidades y almohadillas volares

En resumen, podemos describir tres etapas del desarrollo de las líneas dermopapilares según Mulvihill y Smith, (1969):

Primera etapa: en el primer semestre de gestación, alrededor de la 3ª semana se genera la gastrulación, proceso donde se forma la distinción del tejido primario ectodermo, endodermo y mesodermo. Con la formación del ectodermo se dará paso a la piel de las crestas de fricción. Alrededor de la 4ª semana las extremidades se desarrollan rápidamente, durante este tiempo la mano cambia es el momento en que las extremidades pierden su apariencia de paleta y se forman los dedos y tiene lugar la rotación del pulgar en torno a la 5ª o 6ª semana de gestación. También se da una inflamación de mesénquima, las llamadas “almohadillas”, estas elevaciones están formadas de tejido mesenquimatoso que se localiza en cada esbozo de dedo, sobre el extremo distal de las palmas de las manos y plantas de los pies, entre cada par de dedos y sobre el área hipotenar. En torno a la 7ª-8ª semana de gestación, éstas aparecen en los dedos, siguiendo la dirección radial-ulnar, comenzando así por el dedo pulgar (coincidiendo en el tiempo con su rotación) y finalizando en el meñique; entorno a la 8ª semana de gestación éstos empezarán a separarse y las articulaciones comenzarán a formarse (figura 4).

Hasta la 9ª semana las almohadillas volares se mantienen bien redondeadas durante el rápido crecimiento de las manos y pies, y a partir de ese momento empiezan a variar tanto en posición como en forma, expresándose que existe un proceso de regresión de las almohadillas, el cual no es tal, ya que la almohadilla realmente no disminuye su tamaño, sino que su tamaño es superado por la mayor velocidad de crecimiento de las superficies circundantes (Lacroix *et al.*, 1984). Las extremidades comienzan a moverse, los esbozos de lo cojinetes aparecen durante la sexta y séptima semana de gestación, y las crestas de fricción comienzan a formarse a partir de la 10ª a la 11ª semanas y continúan madurando (Wertheim, 2011), comenzando la formación, el retroceso, el tamaño y la altura de las almohadillas volares, que van a tener un papel fundamental en la formación de los tipos de figura principal (Cummins, 1929) (figura 5a y 5b).

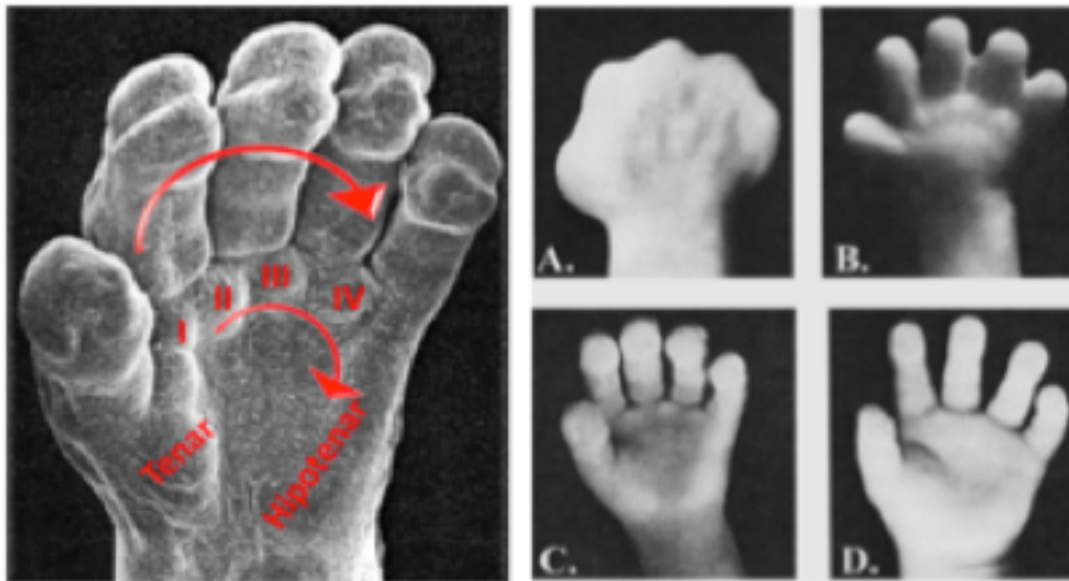


Figura 4. Almohadillas volares, palmares y digitales, de una mano fetal vista al microscopio electrónico (imagen de Carlson, 1999). Crecimiento progresivo de la mano: (a) mano en forma de remo, (b) separación de los dedos de la mano, (c) aparición de las almohadillas volares, (d) estado de la mano a las 8 semanas de gestación (imagen de Cummins, 1929) (Modificado Gutierrez-Redomero, 2014).

Segunda etapa: segundo trimestre, es durante la 12^a y 13^a semanas de gestación, cuando los cojinetes sufren un proceso de regresión, es entonces cuando las crestas empiezan a desarrollarse sobre la unión dermis-epidermis, mientras que la superficie permanece lisa. Estas crestas primarias se subdividen para formar más líneas paralelas durante la aparición de la mano, formada por una estructura plana con pequeñas protuberancias que darán lugar a los dedos (Seidenberg-Kajabova *et al.*, 2010; Wertheim, 2011). Alrededor de la semana 16^a las almohadillas han fusionado completamente, comenzando a retroceder y las crestas de fricción crecen, siendo importante resaltar que es el momento cuando las minucias se fijan (Wertheim, 2011) (figura 5).

En torno a la 18^a semana de gestación éstos empezarán a separarse y las articulaciones comenzarán a formarse. Las primeras almohadillas volares aparecen progresivamente sobre las áreas interdigitales 2^a, 3^a y 4^a, seguidas de las almohadillas ternar e hipotenar. (figura 4). Ahora bien, de acuerdo con estas observaciones el patrón dermatoglífico está completo a nivel de la semana 19^a de gestación, cuando las almohadillas volares se mantienen bien redondeadas durante su rápido crecimiento y a partir de ese momento empiezan a variar tanto en posición como en forma.

Tercera etapa: el tercer trimestre de gestación ya los patrones resaltan y se reflejan de manera idéntica sobre la superficie de la piel (Babler, 1991), es principalmente un periodo de crecimiento.

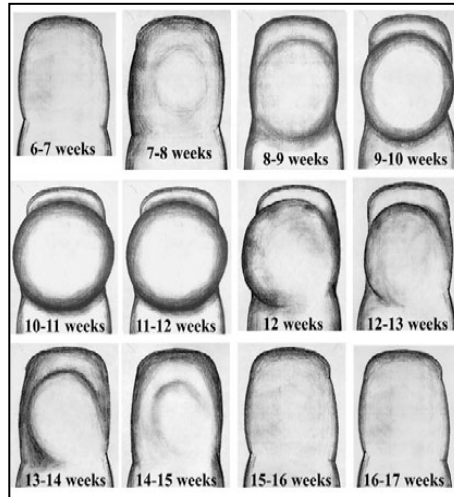


Figura 5. Los dermatoglifos empiezan a formarse una vez que se desarrolla la mano distinguiéndose las caras dorsal y ventral, denominadas “almohadillas”, superficies anatómicas convexas localizadas en las yemas de los dedos (modificado de Rivaldería, 2016).

Desarrollo de las crestas de fricción

Las células basales de la epidermis comienzan a dividirse rápidamente para formar crestas permanentes superficiales que delinearán la forma del patrón general (Babler, 1991, Hale, 1952). En el momento de la formación de crestas de fricción embrionaria, los sistemas nervioso central y cardiovascular están atravesando un periodo crítico del desarrollo (Hirsch, 1964), y la inervación en los sitios de formación de la cresta sugiere ser el mecanismo de activación para el inicio de la proliferación (Bonnievie, 1924; Dell y Munger, 1986; Moore y Munger, 1989). De forma sincronizada con la regresión de las almohadillas volares, se produce la rápida proliferación de las células basales de la epidermis, originando ondulaciones que empezarán a ser rápidamente pronunciadas, desembocando, alrededor de la 10 a 11ª semanas de gestación, en la formación de las crestas primarias, que profundizan en la dermis; su formación finaliza a las 16ª semana de gestación con la fusión completa de los contornos de los dedos, palmas y plantas pudiéndose observar ya toda la superficie palmar completamente estriada (Okajima, 1982).

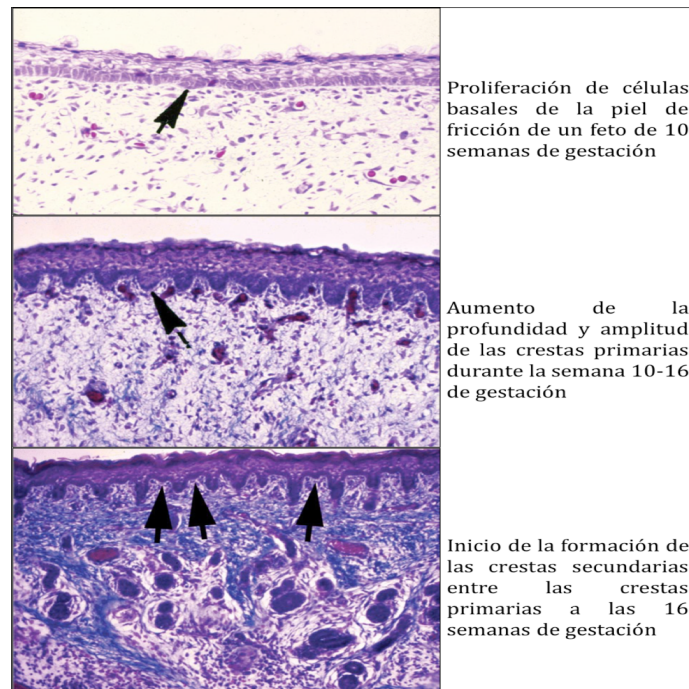


Figura 6. Cortes histológicos de la piel, donde se muestra la formación de las crestas primarias y secundarias (imagen de Babler, 1991).

De manera que las crestas epidérmicas se alinean de acuerdo con la forma y simetría de la almohadilla volar, ocurriendo muchos acontecimientos, ya que el dedo se expande, nuevas crestas primarias se forman a través del dedo y las crestas existentes comienzan a separarse debido al crecimiento del dígito para formar nuevas crestas (Bonnieve, 1924; Seidenberg-Kajabova *et al.*, 2010) (figura 7).

Las crestas secundarias, aparecen entre las crestas primarias en torno a la 15^a-17^a semana de gestación (figura 7), y continúan madurando hasta que están completamente formadas a las 24^a semana de gestación (Babler, 1991). Son proliferaciones celulares de la epidermis basal que se pliegan, causando invaginaciones de las capas epidérmicas que aumentan la superficie de unión con la dermis (Hale, 1952). Como resultado de la formación de las crestas primarias y secundarias, se forman las papilas dérmicas que irán aumentando su desarrollo a lo largo de la vida del individuo (Okajima, 1975).

Las crestas epidérmicas aparecen progresivamente sobre las superficies de la piel de las crestas de fricción de los dedos, palmas y plantas, debido a la proliferación celular que las origina y comienza de forma independiente en distintas zonas. Este fenómeno se observa en el flujo de crestas a través de las falanges, por ejemplo, en las almohadillas volares que aparecen en tres áreas: central, distal, y proximal. La formación de las

crestas epidérmicas, que se origina a partir de tres zonas distintas, acabará convergiendo y dará lugar a configuraciones características denominadas deltas o trirradios (*trirradii*) (Bonnevie, 1927; Schaeuble, 1933; Gould, 1948; Wertheim y Maceo, 2002). Además, la distinción entre el tamaño, altura y forma de la almohadilla palmar, afecta los patrones de las crestas de fricción (Bonnevie, 1924), estas crestas no se producen de forma simultánea en todas las superficies volares, las crestas fluyen de una forma compleja a través de estas estructuras tridimensionales.

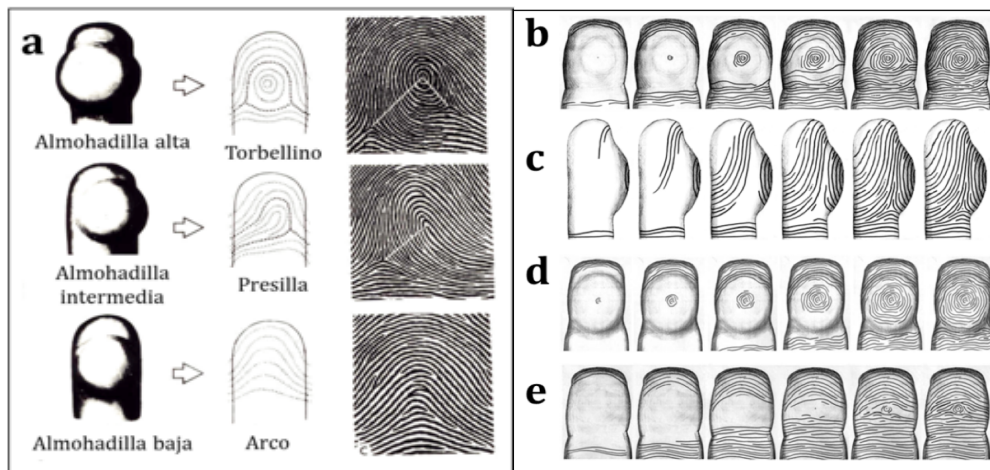


Figura 7. (a) Dibujo esquemático de la formación de las almohadillas en los tres tipos de figura. (b-e) Esquema que representa los distintos lugares de inicio de formación de las crestas epidérmicas, y su posterior desarrollo en la superficie del dedo: (b) en un torbellino con recuento de crestas bajo, (c) dibujo lateral la formación de los deltas, (d) en un torbellino con recuento de crestas alto, (e) en un arco (imagen de Wertheim y Maceo, 2002) Rivaldería, 2016.

Las crestas no son continuas, sino que sufren diferentes modificaciones, quedando fragmentadas, para la formación de pequeños detalles que no están muy claros, finalizando de forma abrupta o uniéndose a otras crestas, y formando así lo que Galton denominó *minutiae*, también conocido como puntos característicos o simplemente puntos. El conocimiento sobre las causas de estas formaciones es limitado. Esta cuestión fue abordada por A.C Hale, el cual explicó que una posible razón podría ser una tasa de crecimiento mayor de la mano en comparación con la anchura de las crestas, el dedo se expande rápidamente, nuevas crestas primarias se forman y las crestas primarias existentes comienzan a separarse (Wertheim, 2011) (figura 8).

El patrón de las crestas se podría establecer como resultado de un proceso de plegado, inducido por la proliferación celular de la capa basal de la epidermis que, finalmente, como resultado del estrés, se pliegan hacia la dermis dando lugar a las crestas primarias

(Kollmann, 1883; Abel, 1936, 1938; Steffens, 1938). Estos autores proponen que, la dirección de las crestas está en gran medida determinada por el estrés de crecimiento y las compresiones en el desarrollo de la piel.

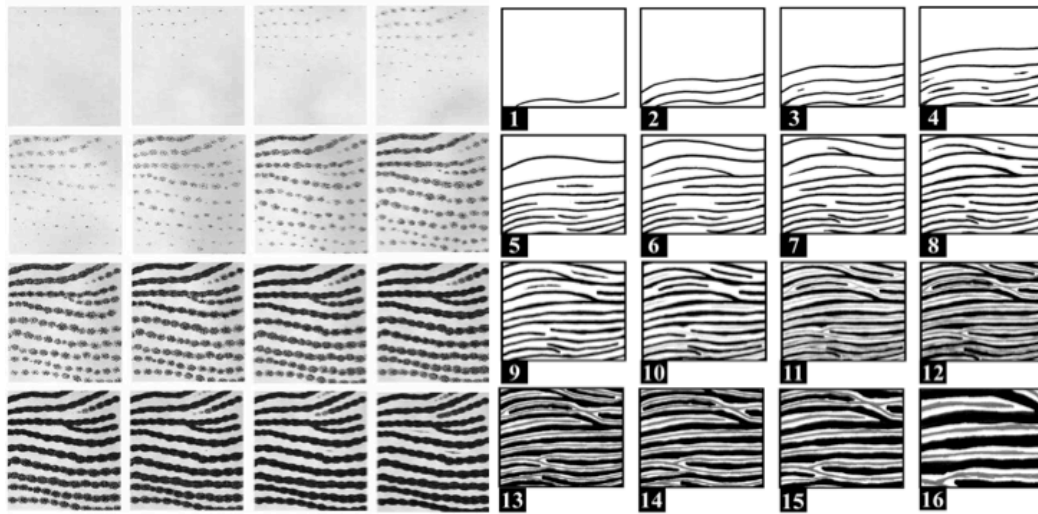


Figura 8. Proliferaciones celulares antes de la formación de crestas entorno a la semana 10.5 de gestación. Ilustración de minucias que surgen de la expansión de la superficie durante la etapa crítica a aumentar de tamaño después de la formación secundaria de la cresta Wertheim y Maceo (2002) (Wertheim, 2011).

Por otra parte, Babler (1978) indica que la forma de la almohadilla condiciona el tipo de figura. En cualquier caso, existe un acuerdo en el hecho de que el tamaño, forma y tiempo de desarrollo de la almohadilla volar están asociados al tipo de patrón epidérmico que forman las crestas. Así, una almohadilla simétrica y alta, durante su formación, dará como resultado un torbellino, mientras que, si es simétrica y baja, el tipo de figura que formará será un arco; sin embargo, si la almohadilla volar formada es asimétrica, ésta dará lugar a una presilla como tipo de figura principal (Babler, 1978; Cummins, 1926; Kücken y Newell, 2005).

Las clasificaciones de los tipos de patrones, o figuras principales, se han basado en la presencia y número de deltas, aunque éstas difieren en el número de tipos clasificados, siendo la más utilizada la que se refiere a cuatro tipos de figuras: arcos (sin deltas), presillas radiales y presillas ulnares (un delta), y torbellinos (dos deltas).

1.1.3. Variaciones evolutivas y de herencia genética

En las últimas décadas numerosos investigadores de diversas especialidades han concurrido en el interés del conocimiento de las variaciones dermatoglíficas en las poblaciones humanas, ya que se sabe que los dermatoglifos están determinados genéticamente y son útiles como “marcadores” para establecer diferencias entre los grupos étnicos, lo cual involucra los grandes temas del origen y diversificación de la humanidad.

Existen muchas pruebas de que los dermatoglifos son hereditarios, los factores genéticos han sido estudiados a través del parentesco, con una trascendencia en la evolución, el interés por los dermatoglifos ha sido relevante por su destacada orientación, a través del proceso evolutivo, que hemos podido observar con estudios comparativos que describen y comparan las características de los patrones dermopapilares. Harold Cummins y Charles Midlo en 1942, describen y comparan los patrones dermopapilares de 35 especies del orden de los primates, que comprenden desde los prosimios hasta los géneros del viejo y nuevo mundo e incluyen a los antropomorfos. Los primates, al igual que los humanos, poseen características diferentes en la superficie de la piel, diferente al resto del cuerpo en la zona palmar y plantar por tener arreglos dermopapilares que los distinguen de cada especie. Es relevante mencionar que las figuras o crestas papilares de los primates, son una característica adaptativa. Esta modificación de la piel con respecto a la del cuerpo corresponde a una adaptación a la locomoción arborícola, que facilita la prensión y percepción táctil fina, ya que además poseen diferentes terminaciones nerviosas y, por ende, en los simios estas regiones están cubiertas de patrones dermatoglíficos complicados, los que llamaron la atención al estudiar las características epidémicas en una amplia gama de distintas especies de primates (Brehme, 1967a,b, 1968, 1975; Newell-Morris, 1979; Meier, 1980).

Son pocos los estudios realizados que se han interesado en el estudio de los primates, no por ello dejan de ser importantes, ya que las configuraciones dermopapilares corresponden a una más de las evidencias del proceso evolutivo del género *Homo sapiens*; Brehme, 1967; Newel-Morris, 1979; Meier, 1980; Kollman, 1883; Wilder,

1897; Whipple, 1904; Schlaginhaufen, 1905 y Biegert, 1961, 1963, 1971; Mavalwala 1971.

En general, en el transcurso de la evolución los estudios de los patrones dermopapilares en las regiones digitales del orden de los primates, han mostrado múltiples variaciones, que han determinado las diversas distribuciones topográficas de las líneas dermopapilares. Se conforma así un patrón general para las áreas palmares y plantares, lo que se ha logrado observar en diversos géneros, subórdenes y familias, entendiendo mejor sus relaciones filogenéticas (García-Cuevas, 2011).

Por lo tanto, el estudio de los patrones dermopapilares en monos del viejo y nuevo mundo, y las diferencias encontradas al comparar las regiones digitales entre los grupos de prosimios (lemúridos, lorísidos, társidos), con las de los Platyrrinos y Catarrinos, apoyan la hipótesis de que los infraórdenes existentes de prosimios representan líneas distintas de evolución, y que los antropoides no están relacionados con ellos. En esta misma línea de investigación, se encuentra que entre los catarrinos en los géneros *Cercopithecus-aethiops* y *Macaca arctoides*, se muestran regiones más generales y uniformes que en los Hominidae (García-Cuevas, 2011) (figura 9).

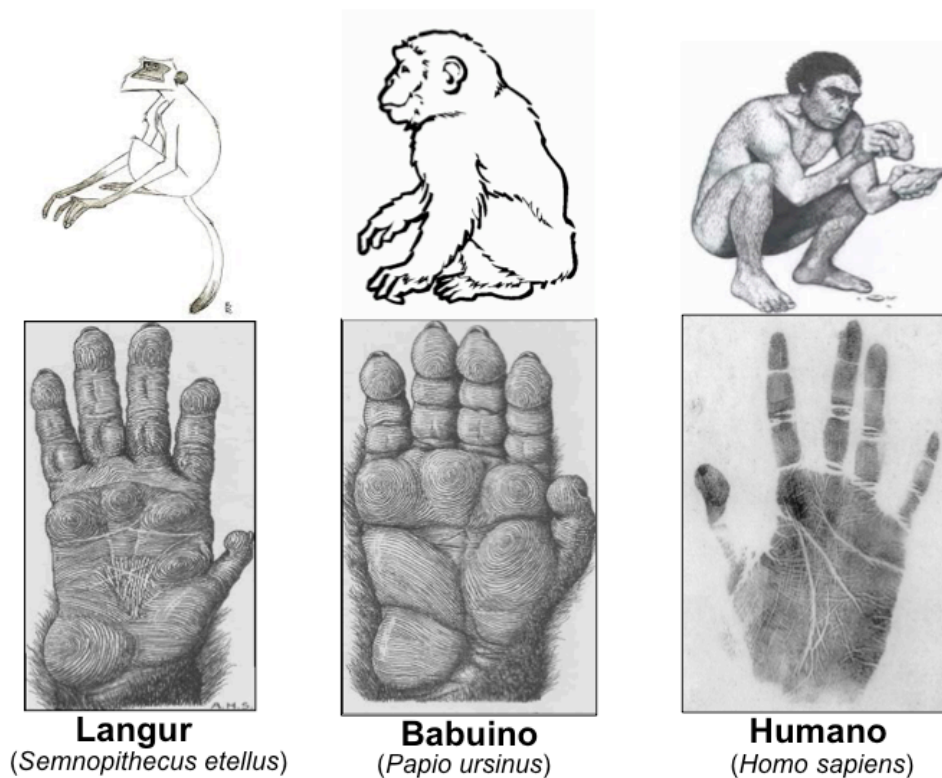


Figura 9. Patrones dermatoglíficos palmares de Langur, Babuino y Humano.

Desde el punto de vista de la evolución humana se pueden analizar algunos aspectos como: la especialización de la mano para manipular, tocar y prensar; así como la especialización del pie para la locomoción, el medio ambiente en la constitución de los rasgos dermatoglíficos, en la etapa previa a su configuración definitiva (Cummins y Midlo, 1961:156, 185), y la migración y su influencia en las variaciones dermatoglíficas en las principales ramas poblacionales de la humanidad (Heet y Keita, 1979).

Herencia genética

En 1892 Galton sostiene, que las huellas digitales se transmiten por herencia, mientras que otros autores aseguran lo contrario. Más adelante Wilder (1904, 1922), Hasebe (1918), Bonnevie (1927, 1931), y Hoff *et al.* (1981) aportaron valiosas contribuciones al estudio de la herencia de los rasgos y frecuencias de los patrones más importantes de los dermatoglifos digito-palmares, en las distintas poblaciones humanas. Así como también los estudios actuales de genética en poblaciones, Rodríguez y Rojas (2009) García-Cuevas, (2011). Actualmente no existe duda de que los patrones dermatoglíficos estén determinados por la herencia, aunque no se conoce qué tipo de herencia interviene, ni ha sido posible determinar la influencia génica para alguno de sus caracteres, y aceptándose un modelo multifactorial por algunos autores (Roberts, 1979; Rife, 1993).

Así, entonces, una interpretación de la heredabilidad de los dibujos dactilares, puede enfrentar dos dificultades fundamentales: por un lado, cada persona tiene diez dedos que muestran con frecuencia, distintas figuras y que estas figuras presentan tres tipos de patrones dérmicos: arcos, presillas y torbellinos, de las cuales existen diversas transiciones que van a dificultar la clasificación y el seguimiento familiar por decirlo de algún modo (Jantz, 1975).

Por tanto, la base fundamental de los estudios genéticos es el grado de afinidad elevado que se puede observar entre los gemelos monocigóticos, mientras que en los dicigóticos este parecido no es mayor que el correspondiente al que se tiene al comparar dos hermanos no gemelos (Allen, 1968). La herencia en la determinación de los patrones dermopapilares presentes de manera constante, es evidente en la variabilidad de los dermatoglifos, en todos los individuos (Cummins y Midlo, 1943; Holt, 1968; Schaumman y Alter, 1976).

1.2. Aplicación de los estudios de dermatoglifos

El estudio de los dermatoglifos constituye actualmente un campo de investigación extenso dirigido hacia distintas orientaciones. En el campo de la antropología con los clásicos tópicos de dimorfismo sexual y variación étnica en las poblaciones, en medicina-clínica con estudios de genética, detección precoz de aberraciones cromosómicas y en su relación con desórdenes mentales, así como en el ámbito forense para la identificación personal.

1.2.1. Antropología

En la antropología el estudio de las crestas papilares o dermatoglifos expresa el interés del conocimiento de las variaciones y manifestaciones determinadas por las frecuencias de los patrones digitales y palmares, estableciendo la caracterización dermatoglífica en las poblaciones humanas y por lo tanto relevantes en virtud de la información que brindan acerca de la filiación biológica de los diversos grupos humanos (Vecchi, 1981; Meier, 1991; Ashisawa, 1972; Mukherjee, 1993).

Es importante enfatizar que los dermatoglifos son útiles para la comprensión de algunos problemas antropológicos, dado el aporte metodológico importante que brindan para una fructífera cooperación entre las disciplinas genética y antropológica, así como también en la primatología y la medicina (Serrano, 1974). El estudio metodológico de los dermatoglifos posee ciertas ventajas para el esclarecimiento de problemas antropológicos; son caracteres poligénicos, y como tales, menos susceptibles de alteraciones a través de la deriva genética, no sufren alteraciones morfológicas postnatales, en contraste con los caracteres antropométricos, parecen poseer valores selectivos mínimos y por lo tanto son relativamente no adaptativos, las técnicas de formulación de los patrones dermatoglíficos poseen una objetividad bastante elevada, disminuyendo el error personal de observación (Newman, 1970).

El desarrollo de la investigación moderna sobre la naturaleza de los patrones dermatoglíficos, en el campo de la antropología, dirige su atención a las variaciones de

las poblaciones humanas, contribuyendo al conocimiento de su acervo genético y las relaciones biológicas que se puedan establecer entre ellas.

Desde el punto de vista de la evolución humana se pueden analizar algunos aspectos como:

- La especialización de la mano para manipular, tocar y prensar; así como la especialización del pie para la locomoción (Cummins y Midlo, 1961:156).
- El medio ambiente en la constitución de los rasgos dermatoglíficos, en la etapa previa a su configuración definitiva (Cummins y Midlo, 1961:185).
- La migración y su influencia en las variaciones dermatoglíficas en las principales ramas poblacionales de la humanidad (Heet y Keita, 1979).

En el siglo XIX, algunos estudios de autores como Schöroter (1814) y Purkinje (1823), dan a conocer su clasificación y distribución de las variantes configuracionales de los patrones dermatoglíficos observados sobre las yemas de los dedos. Es a partir del descubrimiento de Francis Galton en 1892, cuando se inicia el estudio formal de los dermatoglifos por su conocimiento de ser caracteres hereditarios estables, que no cambian en el curso de la vida, persistiendo en la vida posnatal sin modificarse en ningún aspecto, excepto en incremento de dimensiones, además de que no sufren alteraciones ambientales a partir de la quinta semana fetal en que están completamente formados (Cummins y Midlo 1961). Posteriormente en el siglo XX se ve un gran desarrollo de los estudios dermatoglíficos, Harold Cummins en 1930, observó que aun cuando los patrones dactilares son individuales y tienen características específicas, existen patrones o semejanzas entre individuos pertenecientes a una misma población.

El estudio de los dermtaoglifos en el campo de la antropología posee ciertas ventajas de gran importancia, siendo útiles en el estudio de la historia biológica de los grupos humanos por ejemplo; si deseamos hacer estudios de otra índole como los serológicos, antropométricos, geográficos y de migración, en ocasiones el análisis de los dermatoglíficos suele ser más efectivo que el de sangre o antropométrico para comparar grupos lingüísticos, sobre todo si deseamos penetrar más en el pasado y aclarar relaciones antiguas entre los grupos indígenas (Serrano, 1974).

Otros aspectos de la antropología en el estudio de los dermatoglifos, es la característica y comparación de grupos según las diferencias interdigitales de la asimetría bilateral, y el dimorfismo sexual en las impresiones digitales, palmares y plantares, a nivel local, regional, continental o hemisférico, lo que requiere de especial atención con el fin de detectar posibles diferencias entre hombres y mujeres, y cómo éstas se manifiestan y observan en diferentes poblaciones geográficas humanas para establecer variabilidad entre ellas, analizan el flujo génico, la migración entre aldeas, medidas de distancia entre grupos, las relaciones históricas y genéticas antiguas entre pueblos, los patrones de matrimonio (intercambio de mujeres, patrilocalidad) (Rodríguez *et al.*, 2009).

Es importante mencionar que el uso de los dermatoglifos ha revelado su utilidad en estudios no solo de grupos indígenas, sino, además, de población mestiza, mediante el análisis minucioso de la expresión de los caracteres dermopapilares, y aunado a esto es necesaria la contextualización histórica que dio lugar a un proceso de mestizaje. Algunos estudios de esta índole son los realizados por algunos autores como Fleischhaker (1975), Olivier (1971) y Domínguez (1984). Asimismo, existen estudios dermatoglíficos que determinan la migración como un elemento de la variabilidad dermatoglífica que se puede constatar en grupos humanos actuales (Hulse, 1960; Newman, 1960; Hiernaux; 1967).

El quehacer antropológico en el transcurso de los años, en el campo de los dermatoglifos, ha orientado su interés al estudio y conocimiento de más de 100 grupos indígenas de Norte, Centro y Suramérica (Garruto *et al.*, 1979: 325; Hoff *et al.*, 1981: 460; Rodríguez *et al.*, 2009)). Los rasgos dermatoglíficos establecen una relación cercana entre poblaciones andinas y amazónicas, posiblemente por un origen común o flujo génico significativo entre ellas (Hoff *et al.*, 1981: 459). En general, los amerindios presentan la mayor frecuencia de patrones palmares en las áreas interdigitales Th/I entre los seis mayores grupos geográficos poblacionales, lo que señala que los rasgos dermatoglíficos son útiles en estos tipos de análisis en especial, para las poblacionales amerindias como pudiera ser el caso de México, por representar un sector importante para el país desde el punto de vista demográfico, sin dejar de lado su identidad histórica y cultural. De manera que, en una perspectiva amplia de la antropología mexicana, estos tipos de estudios han concurrido, desde un principio, a la integración de un

conocimiento del desarrollo poblacional del país y de sus complejas proyecciones sociales e históricas (García-Cuevas, 2011).

En la década de los años treinta, se da un auge en el campo de la investigación en México impulsado por las investigaciones realizadas por la Universidad de Tulane Cummins (1932), Cummins y Steggerda (1936). Diferentes autores desarrollan diversas investigaciones dermatoglíficas en las regiones sureste y el altiplano mexicanos, en grupos tales como tarahumaras (1933), chamulas (1936), azteca (1936), en zinacantecos, huastecos, amatenangos y tzetzales (1944) y en los tarascos (1936); para los sesentas, encontramos trabajos en población mestiza (Kalmus *et al.*, 1964; Zavala *et al.*, 1969).

En 1968 Penrose, abre una nueva etapa de estudio en este campo, no solo para brindar aportaciones en el campo del diagnóstico clínico, sino también en la biología en relación con los aspectos evolutivos de los primates y en la antropología como un medio para determinar las distancias genéticas que separan a los diversos grupos étnicos, así como el flujo poblacional en Mesoamérica (Figuroa 1990). Posteriormente en 1964, Alfonso León de Garay en colaboración con Kalmus Rodarte y Cobo, impulsan el estudio de la dermatoglifia en México y además se realizan otras investigaciones en poblaciones indígenas tales como: Ferré D'Amaré y Stephens (1974), Crawford *et al.* (1976), Aréchiga (1979), Lagunas *et al.* (1985), (2004), Figuroa (1999) y no menos importantes Serrano (1969, 1975a), (1973, 1975b), (1975c), (1974), (1980), (1982), López (1995) por mencionar algunos.

En el año de 1976 se realiza en México el IV Congreso Internacional de Genética Humana, donde se celebra en nuestro país la primera conferencia internacional de dermatoglifos, participando especialistas de diferentes países incluyendo a México, lo que permitiría establecer relaciones con grupos internacionales relacionados a este campo. Este encuentro propició que se realizaran coloquios y diferentes iniciativas académicas. En 1983 se funda la Asociación Mexicana de Dermatoglifos, que organizó en el año de 1984, el primer Congreso Nacional en esta misma ciudad, presentándose trabajos de medicina, biología y antropología. En el año de 1986 se celebra el segundo congreso nacional de dicha Asociación, en la ciudad de Zacatecas, pero posteriormente no se logra continuar celebrando estos congresos.

Sin embargo se continuaron estudiando varios grupos étnicos de México, principalmente en trabajos de tesis: Cásares (1982); Pacheco (1984); Luna (1985); Galnares (1987); López López (1987); Anaya (1987) y González (1987); Espino (1994); Del Ángel (1995), entre otros. Es importante mencionar que, en el campo de los dermatoglifos en un contexto antropológico, es necesario considerar el grado de mestizaje y aculturación con que se cuenta al momento de estudiar un grupo o población, incluyendo el estudio de su historia biológica, con la finalidad de contribuir al estudio de la variabilidad y afinidad biológica de los diferentes grupos humanos. En México, por ejemplo, se han utilizado como un medio para determinar las distancias genéticas que separan a los diversos grupos étnicos, así como el flujo poblacional en Mesoamérica (Figueroa, 1990). Existen también algunos trabajos recientes, que están relacionados con la genética antropológica como Juárez (2014) y Muños *et al.* (2018).

1.2.2. Medicina-clínica

En los años setentas, la dermatoglifía se dirige más al análisis clínico, para el estudio de la detección de anomalías y enfermedades monogénicas y multifactoriales. Su estudio es importante en la medicina genética, porque contribuyen al diagnóstico de síndromes por cromosomopatías indicando los casos en que: es conveniente el estudio del cariotipo.

El estudio de los dermatoglifos ha sido eficaz e importante para el diagnóstico del síndrome de Down, síndrome de Turner y se ha intentado en esquizofrenia, epilepsia y algunos padecimientos neurológicos (Figueroa 1979). En 1926 Cummins describe las posibles causas de factores involucrados en la presencia de malformaciones en manos y pies. Posteriormente Workman (1939), Holt (1951), Penrose (1954) y Ford Walker (1957), demostraron la utilidad del estudio realizado por Cummins. El campo de la dermatoglifía en esta línea de investigaciones es muy amplio ya que, considera el análisis de la distribución y la topología para revelar los tipos de malformaciones causadas por mecanismos genéticos y dinámicos que intervinieron en la distribución de las crestas dérmicas (García-Cuevas, 2011).

Debido a que la dermis que cubre la superficie volar, posee una capacidad inherente de desarrollar líneas dermopapilares, pero la disposición de éstas sobre el área está determinada topológicamente por el grado de armonía en el desarrollo de los dedos, palmas y plantas, la estructura corporal requiere de un equilibrio entre la génesis, para la morfología, y las características de la estructura corporal. Cuando por alguna razón no están presentes, o no están bien conformados los puntos de diferenciación, tanto de las regiones palmares como plantares, la disposición de las crestas queda alterada y el trazo de las líneas dérmicas es complejo una vez formadas en el proceso de la organogénesis. Además, por ser determinadas genéticamente, cualquier ambiente hostil que produzca malformaciones también tendrá probabilidad de afectar los patrones dérmicos causando variaciones a la normalidad. Por ello, se considera a los dermatoglifos “marcadores” de la presencia de algunos de estos factores en el periodo de gestación (Schaumman, 1982).

Durante la vida intrauterina los dermatoglifos pueden alterarse por factores genéticos y ambientales (teratógenos, drogas, alcohol, etc.). Así, el análisis dermatoglífico es un recurso que actualmente se utiliza como auxiliar en el diagnóstico de diversas enfermedades y ayuda en el diagnóstico eficaz de aberraciones cromosómicas, como: trisomías; Patuu_13, Edwards_18, 21, 9, Wolf_4, Cri du chat_5, síndrome de Turner, de Lange, Klinefelter, Rubinstein-Taybi, síndrome Holt-Oram, Noonan, Alzheimer, Esquizofrenia, Acondroplasia y en enfermedades ambientales: Rubeola y bridas amnióticas, así como enfermedades génicas: de Wilson, Neurofibromatosis, y trastornos con probable transmisión genética: cardiopatía congénita, retraso mental idiopático, así como determinación de malformaciones congénitas: braquidactilias, sindactilias, polidactilias, contraestructuras deformantes, sinfalangismos y malformaciones de la mano con constricciones anulares (Tentamy y Mckusick, 1969; Corona *et al.*, 1984).

En la actualidad, el estudio de las cromosomopatías, da cuenta de la asociación con las anomalías en el arreglo de las crestas dermopapilares, que siguen siendo útiles en la detección precoz asociada a ciertas anomalías como signos clínicos, que constituyen una ayuda para el diagnóstico, al contribuir a determinar el tiempo en que ocurrieron los defectos del desarrollo. Esto sería, definir cuándo se dan esos cambios y se configuran los diseños dermatoglíficos. Crouchy (1977), propuso indagar e investigar los casos de

pacientes con retraso mental, malformaciones esqueléticas mayores o menores y alteraciones en sus dermatoglifos, siendo un hecho que la dermatoglifia puede estar asociada a diferentes entidades clínicas y que dicha anomalía, rara o común, puede estar presente en los individuos normales, con la finalidad de descartar alguna de estas alteraciones citogenéticas, resaltando la utilidad del análisis dermatoglífico en la genética clínica (Figuroa, 1990). Por lo que su reconocimiento fenotípico temprano, puede contribuir a tratamientos clínicos preventivos (Mavalwala, 1963: 209; Babler, 1978: 26; Chakraborty, 1991: 157; Schaumann y Opitz, 1991: 204).

Los dermaoglifos constituyen un elemento más del fenotipo. Sus variaciones en la población normal tienen un interés antropológico, y sus variaciones en individuos, con aberraciones cromosómicas, permiten sospechar esta anomalía, siendo un elemento de una nueva semiología que contribuye a la identificación clínica de los distintos fenotipos de las aberraciones cromosómicas constitucionales, en relación a las características de los dibujos papilares de ser inmutables (no se modifican nunca), perennes (no desaparecen), variables (alto poder discriminante entre dos individuos).

En resumen, se pueden citar algunos campos de las aplicaciones en la medicina clínica (Corona *et al.*, 1984):

- Auxiliares en el diagnóstico de cromosomopatías
- Estudio de malformaciones congénitas de manos y pies
- Estudios de síndromes mendelianos y otros de etiología genética
- Entidades causadas por teratógenos o agentes exógenos
- Rasgos aislados heredados en forma mendeliana simple
- En el diagnóstico de cigocidad en ausencia de otros métodos
- Estudios de portadores o levemente afectados
- Pronóstico

1.2.3. El ámbito forense

En la actualidad, en el campo forense, la importancia de determinar el conjunto de cualidades o signos que distinguen a un individuo de todos los demás, durante la vida y después de la muerte ha persistido a los efectos de las relaciones jurídicas. En ese sentido, en la Criminalística y las Ciencias forenses tienen una amplia aplicación para la identificación humana, pues las fichas dactilares, especialmente en los países donde es obligatorio su registro, permiten identificar a una persona (Antón *et al.*, 1998).

Desde esta perspectiva, las impresiones dactilares tienen un alto valor como evidencia para identificar al sospechoso involucrado en un hecho delictivo, siendo usual encontrar las huellas en el sitio donde se ha cometido el delito. La aplicación formal de las particularidades individuales de los relieves dérmicos, que posibilitan la identificación personal, se ha dado desde los tiempos más remotos, siendo el método o sistema empleado con objeto de fijar de la manera más segura posible la identidad de una persona, evitando que pueda confundirse con otra cualquiera. Por ejemplo, se cuentan con testimonios de monumentos arqueológicos desde los primeros hombres modernos de la prehistoria en el 35.000 a. C. durante el paleolítico, y posteriormente en el neolítico quienes han dejado representaciones artísticas de impresiones palmares y dactilares en las paredes de las cuevas. Las viejas civilizaciones dejaron rastro, por lo que es posible ver el valor de los diseños digito-palmares dando cuenta de los primeros registros de las impresiones digitales en China y Japón hace 1.200 años, es por esto que entre el conocimiento prehistórico y la clasificación de los dibujos dérmicos hay una infinita distancia (Lubian, 2002; Trujillo, 2014).

Las impresiones digitales, han adquirido en la actualidad un reconocimiento generalizado en los sistemas de identificación personal, en los cuales se aplican avances tecnológicos muy sofisticados, como son los sistemas automatizados de búsqueda de fichas dactiloscópicas, que son ya consustanciales a las prácticas criminológicas y policiales.

Hoy en día, el ámbito forense ofrece una línea de investigación en un campo relativamente reciente, la antropología forense que viene aplicando la resolución a la problemática de la identificación de restos de personas, de cadáveres en estado de

putrefacción, de incineración o que han muerto en desastres masivos. En el caso de identificación personal en sujetos vivos, la antropología forense guarda estrecha relación con la criminología; entre otras problemáticas en que intervine, destaca entonces el análisis de huellas digitales.

1.3. Marco histórico y actual en la identificación forense

La necesidad de la identificación personal se ha hecho sentir desde la antigüedad en todos los tiempos y se luchó por encontrar y establecer un método eficaz y confiable, desde el hombre primitivo esforzado por distinguirse de los demás miembros de su tribu, empleado nombres y calificativos, o defectos físicos y posteriormente con miras en la actualidad se emplearon sistemas bastantes barbaros, desde marcas con hierro candente, argollas y cadenas soldadas, hasta mutilaciones y vejatorios absurdos. Más tarde en la edad media, se emplearon otros métodos supersticiosos, ordalías o pruebas de dios y con intereses científicos hasta finales del siglo pasado (Lubian, 2002).

En épocas más avanzadas, con el paso del tiempo se comenzó a sentir la necesidad en las sociedades por segregar de las conglomeraciones humanas a las personas por su conducta cuando era contraria y creaba desarmonías al resto del grupo, siguiendo la imperiosa necesidad de crear un sistema identificativo para poderlos diferenciar. Fue entonces que basados en sus características o rasgos morfológicos se incluyó el uso de la huella dactilar, las primeras poblaciones de las que se refiere su uso, es en la cultura babilónica, con estampados en tablillas de arcilla en documentos legales, (1855-1913 a.C.). En China, durante la dinastía Qin (221 a 206 a.C.), se utilizaban trozos de bambú como documentos, atándolos con cuerdas, sellándolas con arcilla donde se fijaba el nombre y la impresión dactilar del autor, lo que demostraba la autoría y evitaba su manipulación (Xiang Xin y Chun-Ge, 1988). Fue en el año 105 d.C., tras la invención del papel, que se extendió la utilización de las impresiones de las huellas, tanto dactilares como palmares, como un medio de autenticación de distintos documentos, tales como testamentos, contratos inmobiliarios, y listados del ejército (Xiang Xin y

Chun-Ge, 1988; Ashbaugh, 1999), extendiéndose esta práctica a países como Japón e India (Lambourne, 1984; Ashbaugh, 1999; Sodhi y Kaur, 2003).

Varios siglos después, en el XVII y XVIII y gracias a la gran inquietud por la necesidad de conocimiento anatómico, científicos europeos como; Nehemiah Grew, Govard Bidloo y Marcello Malpighi comienzan a trabajar en la piel para estudiar las figuras que formaban los relieves dérmicos, y describen los detalles formados por las crestas epidérmicas que caracterizan la piel de fricción, y es Johann C. A. Mayer quien expone por primera vez que los dermatoglifos eran características singulares del individuo (Cummins y Midlo, 1943; Lambourne, 1984; Ashbaugh, 1999; Trujillo, 2014).

En el siglo XIX, Johannes E. Purkinge, profesor de la Universidad de Breslau, publica su tesis, en 1823, en la cual se ofrece por primera vez una clasificación de los tipos de figura principal existentes, y lo hizo asignando nueve categorías distintas, dando un nombre específico a cada una (1: *transverse curve*, 2: *central longitudinal stria*, 3: *oblique stripe*, 4: *oblique loop*, 5: *almond whorl*, 6: *spiral whorl*, 7: *ellipse*, 8: *circle*, 9: *double whorl*) [Galton, 1892; Lambourne, 1984]. Posteriormente, se comienza a saber y se aborda el tema de la permanencia de las huellas dactilares a lo largo de la vida de un individuo, el antropólogo alemán Hermann Welcker fue el primer científico en detallar el tema a través de la impresión de sus propios dermatoglifos palmares en dos periodos de tiempo distintos, 1856 y posteriormente en 1897 (Wilder y Wentworth, 1918).

A finales del siglo XIX Faulds (1905, 1923), Herschel (1916) y publican los primeros trabajos científicos sobre el tema en la revista *Nature* en 1982 y en el primer tercio del siglo XX tenemos la participación de Vucetich (1904) y Henry (1934), quienes describen diversos métodos prácticos para la impresión e identificación de las huellas digitales (Cummins y Midlo 1961), preparando así un terreno firme para la identificación personal por medio de la dactiloscopia, fomentando el uso de forma generalizada de los dermatoglifos como método de individualización, en la prevención del fraude, en el registro de prisiones, etc., proponían la utilización de las crestas de fricción como método de individualización en la escena del crimen. Asimismo, desde el inicio de los estudios de la dermatoglifia se incursionó en el campo legal, aceptando su aplicación como un sistema inequívoco de identificación personal, en problemas de tipo civil o delictivo (Henry, 1934. Simultáneo a lo anteriormente, en 1880 Alphonse

Bertillon, empleado de la Policía de París en la División de Identificación, propuso otro método o sistema de identificación y clasificación alternativo de criminales, basado en distintas medidas del cuerpo humano, y conocido como *bertillonage* ("bertillonaje"), que se basaba en mediciones antropométricas de la cabeza y las manos, que con posterioridad pasó a incluir también el conjunto de las 10 huellas dactilares (Rhodes, 1956). En el siglo XIX el Bertillonaje identificaba sujetos vivos mediante fichas, que incluían los rasgos de la frente, nariz, orejas, dando a cada uno de ellos en una categorización en escala según la forma, dimensión o grado de inclinación, incluyendo también el color del iris izquierdo, marcas y estigmas particulares, señales y rasgos distintivos de la fisonomía y otras partes del cuerpo. Se complementaba con fotografías estandarizadas, datos personales como edad, sexo, lugar de nacimiento (Reverte, 1999:126).

A partir de 1882, la policía parisina incluye este método y luego también lo hicieron otros países. En este mismo año apareció el método de identificación mediante huellas digitales, vislumbrado por el británico Francis Galton, centrados en el estudio científico de las huellas dactilares. Se consideran los primeros trabajos de dermatoglifos los realizados por Galton en 1892, plasmados en su obra *Fingerprint* con fines de identificación para la criminología, poniendo énfasis en verificar tanto la invariabilidad de las huellas digitales a lo largo de toda la vida de un individuo, como su carácter distintivo aun para gemelos idénticos. El estudio científico como método identificador fue obra de Galton, 1895, en el ámbito legal, para determinar la identidad mediante la técnica policial de la dactiloscopía, en la cual propone un sistema de clasificación y catalogación, afianzado a la vez en la perennidad e individualidad de las crestas papilares, mediante la utilización de la inicial de cada tipo de figura en cada dedo (arco, presilla y torbellino) (Galton, 1892; Martínez, s.f). No obstante, otra aportación de Galton y no menos importante, fue la descripción de las *minutiae*, o pequeñas peculiaridades que presentan las crestas de fricción a lo largo de su recorrido, también llamadas características de Galton. Las *minutiae* son de vital relevancia en el proceso de identificación dactilar, siendo Galton (1892) el primero en intentar proporcionar una prueba estadística de su individualidad (Rivaldería *et al.*, 2016).

El trabajo realizado por Galton es retomado en ese mismo año (1892) por el policía argentino Juan Vucetich, de origen croata, quien se desempeñó como funcionario de la

policía provincial de Buenos Aires y desarrolló a finales del siglo XIX un sistema de identificación humana basado en el estudio de los dermatoglifos dactilares, mejorando el trabajo estadístico en el Departamento Central de Policía en La Plata; luego de verificar el método con 645 reclusos de la cárcel, adoptó oficialmente su sistema dactiloscópico, que más tarde fue incorporado por la Policía de la Capital. Comenzó a recopilar las huellas dactilares de delincuentes, y diseñó su propio sistema de clasificación. El sistema de Vucetich dividía el método basándolo en cuatro rasgos principales: arcos (A), presillas internas (I), presillas externas (E) y verticilos (V). El sistema de clasificación de Vucetich consistía en una clasificación primaria, donde formulaba los dactilogramas según el tipo de figura principal, con letras para los pulgares y números para el resto de los dedos, y una clasificación secundaria donde se utilizaban categorías establecidas a partir de los recuentos de crestas en la línea de Galton para cada uno de los dedos (Vucetich, 1904).

En el año de 1892 se utiliza por primera vez la dactiloscopia de manera oficial para la identificación de una asesina, Francisca Rojas, con base a las huellas dejadas por sus dedos ensangrentados en el marco de la puerta, en la escena del crimen de sus dos hijos, en la ciudad de Necochea (Provincia de Buenos Aires). En 1903 la Policía de Buenos Aires, adoptó oficialmente el método de Vucetich. De esta manera, Argentina se convirtió en el primer país en donde se resolvió un asesinato por la evidencia de huellas dactilares (Lambourne, 1984). En 1905 el sistema dactiloscópico de Vucetich fue incorporado por la Policía Federal de Argentina, estableciéndose posteriormente como modelo de formulación para la clasificación de las huellas en los países del ámbito latino, y en 1907 la Academia de Ciencias de París informó públicamente que el método de identificación de personas desarrollado por Vucetich era el más exacto conocido en ese momento y en España, Federico Olóriz, (1911) catedrático de anatomía, modifica y adapta dicho sistema de clasificación, para ser implantado en el Servicio de Identificación Español (Gutiérrez-Redomero y Hernández-Hurtado, 2011).

En 1894 Edward Richard Henry, conocedor de los estudios de Galton, desarrolla junto con él, un método para la identificación de huellas dactilares; era un sistema seguro de identificación debido a que era sencillo, con bajo coste económico, rápido de aplicar y certero en sus resultados. Elaboró un sistema de clasificación de las huellas dactilares, fundamentado en un método matemático que dividía los registros dactilares en distintas

agrupaciones primarias, basadas en los tipos de figura principal descritos por Galton (Henry, 1934). Después de esta conclusión, Inglaterra recomienda que todos los registros de identificación criminal debían hacerse mediante el sistema dactiloscópico, de manera que el sistema de clasificación de Henry se convirtió en una práctica habitual en este país, siendo implantado oficialmente por Scotland Yard en 1905, cuyo uso se extendió por otros países de habla inglesa (Lambourne, 1984).

Dentro del campo de las Ciencias forenses, Edmond Locard, médico y alumno de Bertillon, director del Laboratorio de Policía en Lyon, Francia, centró sus trabajos en el estudio de los poros de las crestas de fricción, como datos de referencia y complementarios en una comparación de huellas dactilares (Locard, 1913).

Henry Forest (1902), en Estados Unidos, implantó el uso de las impresiones dactilares para evitar fraudes en la Comisión de la Administración Pública de Nueva York para después, utilizarlo para instruir y capacitar a personal en el uso del sistema de clasificación de Henry. Resultado de esta instrucción en 1904 Mary Holand fue la primera mujer que testificó como perito en el estado de Illinois, en 1910, en el juicio de *People vs. Jennings*, reconociéndose como la primera sentencia judicial que se sustentó a partir de huellas dactilares en los Estados Unidos.

Es una realidad totalmente aceptada que las huellas dactilares constituyen una forma de identificación óptima de un individuo y que se han transformado en la evidencia física más valiosa, junto con el ADN, que pueda encontrarse en el escenario de un delito, el uso de los dermatoglifos dentro del campo de las ciencias forenses se extendió por todo el mundo, y las huellas dactilares en concreto, han sido utilizadas como método de identificación personal por todos los servicios policiales de identificación. Dado que la dactiloscopia es la técnica más utilizada en las últimas décadas para la identificación de personas por su rapidez en el estudio, coste económico reducido, gran volumen de datos dactiloscópicos, en 1960, los investigadores de la División de Identificación del *Federal Bureau of Investigation* (FBI) expusieron que, dado el volumen de fichas dactiloscópicas, registradas y almacenadas para una búsqueda manual de un archivo criminal no seguiría siendo viable por mucho tiempo, por lo que, y en colaboración con investigadores del *National Institute of Standards and Technology* (NIST), comenzaron a trabajar en el desarrollo de sistemas de búsqueda automático de las huellas dactilares,

lo que terminaría dando como resultado la creación del *Automated Fingerprint Identification System* (AFIS) (siglas en inglés del Sistema Automático de Identificación Dactilar (SAID) (siglas en español) y la disponibilidad de estándares que permiten el intercambio de datos lofoscópicos entre países; todo esto ha hecho que sea una línea de investigación constante a lo largo de los años y en todo el mundo (Moses, 2011).

1.3.1. Procesos de identificación y la identificación personal: contexto histórico

La necesidad de identificarse en los seres humanos, el distinguirse los unos de los otros, ya sea durante la vida, y después de la muerte, todo aquello que posee la calidad de idéntico, y que en determinadas circunstancias o coincidencias se compara, comenzó desde la aparición del hombre en la tierra. Edmond Locard define a la identidad en general diciendo que es “la cualidad o conjunto de cualidades que posee una cosa que la diferencia de todas las demás” y que la identidad personal es “el conjunto de caracteres por los cuales el individuo define su personalidad propia y se distingue de sus semejantes” (Lubian, 2002, Trujillo, 2014).

La identificación personal es el método o sistema empleado con el objeto de emplear y mejorar de manera mas segura la identidad de una persona, evitando que pueda confundirse con otra, en el ámbito jurídico o legal. La palabra identificación deriva del verbo latino “*identificare*”, vocablo integrado por los términos, del latín, “*identitas*” y “*facere*” (comprobar, hacer patente la identidad de alguien o algo). El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define la identificación como la acción y efecto de identificar, hacer que dos cosas se consideren una misma, entendiendo por identificar: *reconocer que una persona o cosa es la misma que se supone o se busca* (Lubian, 2002).

En el sentido que desde tiempos muy antiguos, se ha venido luchando por establecer un método o sistema de identificación, que reúna con las condiciones de seguridad,

sencillez y economía, ha abierto la posibilidad de emplear y poner en práctica infinidad de procedimientos identificativos, algunos de ellos se han desechado por poco prácticos e ineficientes, hoy en día, otros métodos han permanecido por los alcances de ser procedimientos de identificación personal, que abarca todos los niveles en la vida de la sociedad en que nos desenvolvemos; como sociedad surge la necesidad de contar con una identidad personal para lograr una identificación, como personas, sujetos de derechos y deberes.

Así entonces el uso de las impresiones dactilares en la identificación se remonta a las antiguas Babilonia y Persia a.C., donde se usaban las impresiones dactilares para autenticar registros en arcilla, pues ya se conocía su carácter único y en la actualidad constituyen la base de uno de los Sistemas Biométricos más ampliamente usado a nivel mundial. Mediante el uso de estos sistemas, su aplicación se ha extendido a otros ámbitos de la autenticación personal, así como a múltiples aplicaciones gubernamentales.

El interés en el uso de las huellas dactilares profundiza en los conocimientos sobre la variabilidad biológica de las crestas papilares, para su uso con fines identificativos. El uso de los métodos y técnicas de revelado, y de los sistemas biométricos de identificación como es el caso del SAID (AFIS), abordan el estudio y análisis que integra los conocimientos relativos a la identificación personal, basada en impresiones dactilares, palmares o plantares con la finalidad de poder llevar a cabo un informe pericial en este campo legal.

1.3.2. Identificación morfológica y estado actual de la dactiloscopía

En la actualidad existen muchos sistemas que realizan el proceso de individualización dactiloscópica. Para que la identificación de la persona sea más ágil y con un costo computacional bajo se utilizan diferentes métodos. Los sistemas que se generan deben tomar en cuenta el minimizar estos tiempos y maximizar la precisión de los resultados.

Vucetich fue el creador de dos sistemas dactiloscópicos de identificación humana, el cual fue bautizado como “Sistema Dactiloscópico de identificación humana” basado en los cuatro tipos fundamentales que el autor comenzó a utilizar a mediados del 1896 y difundió por todo el mundo en 1913, simultáneamente Henry con los antecedentes de Galton, creando el segundo sistema de clasificación de las impresiones digitales, después se idearon distintos sistemas dactiloscópicos, muchos de ellos variantes de los anteriores de Vucetich y Henry, con el objeto de hacer más práctico y sencillo el procedimiento de identificación. Algunos de estos sistemas fueron: Sistema Widnt-Kodicek; Sistema Cubano de Steegers; Sistema de Daae; el de Harvey Pachá; Roscher; Gasti Ottolenghi; el de Olóriz; Bertillón; Heilman; el Sistema de Locard, etc. (Lubian, 2002).

En este sentido podemos afirmar que la dactiloscopia es de vital utilidad a los intereses del hombre como componente de la sociedad civilizada, por su importante conveniencia para el bien común, practicado en los servicios públicos de policía y justicia penal, al cabo de que la dactiloscopia logró extenderse para conseguir crear un archivo central dactiloscópico en cada país, con los alcances de obtener una identificación internacional. Actualmente existen muchos métodos biométricos de identificación de individuos, el más usado es, sin embargo, mediante la huella digital; la experiencia en este campo nos dice que son pocos los que consideran a la dactiloscopia como ineficiente o de resultados dudosos, y por ende inservible, pero en miras de abrir criterios y reconocer su empleo y utilidad, como instrumento necesario, la biometría dactilar ha venido tomando cada vez mayor importancia en la identificación de personas, ha madurado lo suficiente como para constituirse en una opción importante para este propósito en el reporte de los grandes beneficios al interés humano, para su identificación. Estos dibujos tienen como características, el que son comunes a todos los seres humanos; que son perennes, porque duran toda la vida; inmutables, porque no cambian sus formas; que son diversiformes, ya que son tremendamente variables y discriminantes, por lo que ofrecen una gran fiabilidad al sistema científico; y en el que son fácilmente imprimibles y clasificables.

El término dactiloscopia proviene de los vocablos griegos *Dáctilos* (dedos) y *Scopeo* (examen, observación, estudio). Se le define como el estudio, clasificación, archivo y

recuperación de las impresiones dactilares que aparecen en las falanges distales de los dedos de las manos.

La identificación por medio de este método ha sido de gran importancia para el reconocimiento de muchas personas por la policía y las autoridades competentes, como ya se ha mencionado a menudo, funciona como piedra angular en sus registros (Delgado, 2003). Sobre este tópico, se puede consultar una amplia bibliografía en publicaciones de gran prestigio como el *Journal of Forensic Sciences*, *Journal of Forensic and Legal Medicine* y *Forensic Science International* y la obra *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*, de la National Academy of Sciences, donde se han recomendado nuevas investigaciones orientadas a afinar el sistema de identificación de huellas digitales.

En la actualidad, se ha llegado al uso de los términos; dermatoglifia y dactiloscopia o lofoscopia (quirosocopia y pelmatoscopia); que se refieren ambos al estudio de las formas que toman las crestas papilares y los pliegues de flexión, sin embargo dermatoglifia es más empleado en el contexto de los estudios de antropología o biología humana y ciencias médicas, mientras que dactiloscopia lo es en el contexto de las ciencias forenses, en referencia a lo citado anteriormente. La lofoscopia, o ciencia que estudia las crestas papilares con fines identificativos, constituye uno de los pilares básicos de la identificación en el seno de los servicios de Criminalística de todo el mundo. Es importante para los estudiosos de la dactiloscopia conocer las regiones de los dedos y de la palma de la mano, con objeto de mejorar su uso de los términos de esta disciplina;

Las regiones de los dedos se dividen en:

- 1) Falange o primera falange;
- 2) Falangina o segunda falange;
- 3) Falangeta o tercera falange.

La región palmar se divide en:

- 1) Raíz del meñique.
- 2) Raíz del anular.
- 3) Raíz del medio;
- 4) Raíz del índice;

- 5) Hueco de la mano;
- 6) Eminencia tenar;
- 7) Eminencia hipotenar y
- 8) Talón de la mano

La identificación trata de reconocer que una persona es la misma que se supone o se busca, basada en rasgos morfológicos coincidentes y frecuentes de caracteres, somáticos, óseos o genéticos. Es un proceso que puede ser comparativo o reconstructivo, y tiende a ubicar a una persona desconocida dentro de un universo biosocial conocido, con el que comparte un territorio, un origen común y unas características morfométricas afines.

La unicidad es una característica que impregna a cada ser humano, ya que a pesar de que somos parte de una única especie animal, cada uno de nosotros constituye un fenómeno único e irrepetible, los seres humanos venimos de un linaje animal de seres basados en un perfil genético único. Así tenemos que ni siquiera los gemelos que provienen de un mismo óvulo, sea individuos completamente iguales. Y es esa diversidad en nosotros lo que constituye el principal referente en cuanto a la constitución de nuestras identidades como personas, tanto en la forma en cómo nos estructuramos internamente, tanto en cómo se estructuran las relaciones entre nosotros, y por tanto en cómo se organizan las sociedades, por ello es la relevancia de la investigación de las manifestaciones de nuestra diversidad.

Las diferencias entre las personas se aprecian, en primera instancia, a simple vista. Somos de cabellos lacios o crespos, de diferentes estaturas (en general en las dimensiones de cada miembro y segmento de nuestro cuerpo), tonos de pigmentación en la piel. Cada quien tiene una única y particular fisonomía, la cual es una parte de nuestra variabilidad que nos resulta tan significativa, que nos basta el sólo examen de ella para reconocer a alguien conocido.

Hay también en nuestra morfología corporal, otras estructuras que nos hacen únicos, y que, si bien pueden ser más o menos apreciados a simple vista, no ha sido reconocidos a fondo sino hasta hace relativamente poco tiempo en la historia de la cultura occidental; el ejemplo más clásico de estos casos son los dermatoglifos: estructuras que semejan

dibujos en ciertas áreas de nuestra piel. Otro caso, que apenas más recientemente ha llamado la atención son los patrones que aparecen en los iris de los ojos, y que parecen ser irrepetibles en cada persona.

Esta diversidad que nos hace únicos no solamente se manifiesta en el exterior de nuestros cuerpos, muy por el contrario, a través de nuestro cuerpo es posible encontrar cómo los diversos órganos que nos integran presentan diferencias en cuanto a la forma y el tamaño, sin que por eso se comprometa su función. Un ejemplo claro de este tipo de variabilidad se encuentra en la morfología de nuestros huesos, ejemplo particularmente útil para el estudio, pues en muchos casos perduran a través del tiempo, más allá de la muerte de la persona.

Por otra parte, la estructura y la forma distan de ser los únicos aspectos donde se deja notar la variabilidad humana, pues en la fisiología puede hallarse una dimensión, cuando menos similar a la ya descrita, de diferencias entre las personas. Además, la información genética, implica ya aquella unicidad de cada persona humana, y que ya se encuentra en nuestros días al alcance de nuestros medios tecnológicos.

Ahora bien, el proceso de identificación cumple con el estudio de los rasgos dermatoglíficos en el campo de la dactiloscopia y su utilización para la identificación de personas por ser de carácter valioso e importante para conocer la caracterización de la población o individuo que tengan como base el perfil que se trate, en el marco de la práctica forense.

Se trata de una línea de estudio que goza de un amplio reconocimiento internacional, considerando que es necesario desarrollar sistemas de identificación, en este sentido se debe contar con la comparación, a tres niveles de detalle, de una impresión dactilar de origen conocido o muestra indubitada con otra de origen desconocido o dubitada (huella). El primer nivel se refiere, al flujo general mostrado por las crestas que configuran el tipo de patrón o figura principal del dactilograma. Si los detalles de las crestas epidérmicas coinciden en este primer nivel, se pasará al segundo nivel de detalle, si no hay coincidencia, puede realizarse la exclusión de la identidad. El segundo nivel estaría formado por las particularidades que presentan las crestas en su recorrido, conocidas como puntos característicos o minucias, en latín *minutiae*, termino acuñado

por Francis Galton se han venido empleando de manera general para la identificación personal a partir de huellas digitales para establecer sus patrones característicos que coadyuven a obtener mejores resultados en la identificación forense. El tercer nivel de detalle estaría formado por la morfología que presentan las crestas y los poros, que también deben coincidir en la comparación entre la impresión y la huella para establecer su coincidencia en origen (Ashbaugh, 1999; Champod *et al.*, 2004). Los tres niveles de detalle, citados anteriormente, también permiten describir otras características como, por ejemplo, líneas blancas, cicatrices, crestas incipientes, secundarias, o excrescencias y otras imperfecciones de la piel volar, representados en una impresión.

Cabe mencionar, que para que una identidad sea positiva, tiene que haber coincidencia en el tamaño y tipo de figura principal, en el tipo y posición de las *minutae* o los puntos característicos, estos deben ser observables y visibles claramente, sin discrepancias que no puedan ser explicables (Antón Barbera y Luis de Turegano, 1993; Champod *et al.*, 2004). Es importante resaltar que la calidad y claridad de los detalles de la huella dubitada, puede limitar la capacidad para hacer la comparación en los tres niveles de detalle, lo que quiere decir que, cuanto mayor sea la calidad de la impresión, mejor será el poder discriminatorio de los detalles de cada nivel. También, es importante considerar que puede existir algún tipo de distorsión en la huella de manera que variara, derivando del tipo de sustrato donde se encuentre depositada. Por ello, es importante analizar y comprender las causas de la distorsión, ya que podrían explicar las posibles variaciones halladas entre dos huellas a comparar. El estudio del conocimiento de la identificación dactiloscópica que se ha venido realizando actualmente ha dejado ver, la información valiosa de los numerosos estudios realizados sobre diferentes poblaciones humanas, conforme a la comprensión sobre la variabilidad de los tipos de figuras o patrones principales, y para la definición de la aparición de puntos característicos, en este sentido encontramos trabajos realizados por diferentes autores como: Santamaría, 1942, 1955; Kingston, 1964; Steffens, 1965; Gupta, 1968; Okajima, 1970, 2005; Osterburg, 1977; Dankmeijer *et al.*, 1980; Lin, 1981; Stoney, 1985; Champod, 1996; Stoney y Thornton, 1986, 1987; Sarka, 2004, para el análisis, identificación, configuración, distribución y frecuencia de patrones de minucias. Los estudios recientes en este campo de Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2007, 2011, 2012; Stoney, 2001, Champod y Margot, 1996; Neuman, *et al.* (2006, 2007); Egli *et al.* (2007); Kumbnani, 2007, Gómez-Marín, 2010 y Rivalderia, 2016, Taduran *et al.* (2017), son ejemplos del avance en esta línea de

investigación, y que algunos han sido favorablemente reseñados por la *American Academy of Forensic Sciences*.

El estudio de las minucias es de vital importancia en el ámbito forense, ya que contribuyen decisivamente al proceso de identificación dactiloscópica. Las minucias presentan variabilidad inter e intrapoblacional, que ha sido escasamente estudiada a pesar de su importancia como base en la identificación individual en el campo de la Criminalística (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2007, 2011).

Como lo mencionamos anteriormente las minucias son todos los detalles de las huellas dactilares. En los dibujos papilares hay asimismo partes más menudas como los poros, las crestas incipientes y las formas en línea, hasta ahora es más escaso el estudio de estas características (Locard, 1912, 1913; Ashbaugh, 1982; Barclay, 1997; Bindra *et al.*, 2000; Clemson, 2007; Anthonioz *et al.*, 2008; Gupta *et al.*, 2010; Nagesh *et al.*, 2011; Anthonioz y Champod, 2014).

La identificación de las huellas dactilares es, y será uno de los aspectos fundamentales del proceso de identificación humana, para cuando en el quehacer corresponda hacer una comparación de las *minutiae* entre la impresión latente, obtenida en el lugar del delito, y la impresión dactilar del sospechoso. En este proceso, no existe base científica que permita mantener el uso de estándares numéricos como los utilizados en distintos países para lograr la identificación. Los recientes errores que se han documentado, junto con el creciente rigor de la observación y verificación al que son sometidas las evidencias forenses en el ámbito legislativo y científico, han derivado en la necesidad de llevar a cabo estudios que permitan obtener un cálculo probabilístico de identidad, conocer y cuantificar la variabilidad de los rasgos empleados en el proceso de identificación. Otro aspecto poco estudiado de las huellas es la dimensión morfológica de las crestas epidérmicas debido a la dificultad que presume la medida estricta de la anchura de las crestas epidérmicas sobre sus impresiones, debido a que ésta puede variar en función de la presión ejercida en la toma de las muestras; por ello es importante recalcar que existen distintos métodos utilizados para valorar de forma indirecta, o directa, la anchura de cresta; mediante una línea de longitud definida situada transversalmente al flujo de crestas (Cummins *et al.*, 1941; Ohler y Cummins, 1942); mediante un triángulo equilátero (Loesch y Martín, 1984); contando todas las crestas de la diagonal de un

cuadrado de 5 mm x 5 mm, obteniendo así el número de crestas por 25 mm² (Acree, 1999); midiendo la longitud de una línea que cruza un número determinado de crestas (Mundorff *et al.*, 2014); o midiendo directamente la distancia entre el centro de una cresta y el centro de la cresta vecina (Moore, 1989).

Se sabe que durante el desarrollo de todo ser humano, en el crecimiento del cuerpo la anchura de las crestas epidérmicas cambia (Hale, 1949; Babler, 1990; Loesch y Golewska, 1971; Loesch y Czyzewska, 1972; David, 1981; Králík y Novotný, 2003; Hotz *et al.*, 2011; Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011b). Así también se han observado variaciones en el grosor de las crestas epidérmicas según el sexo, el tamaño de la mano, el tamaño corporal adulto, y la etnicidad (Cummins *et al.*, 1941; Ohler y Cummins, 1942; Cummins y Midlo, 1943; Penrose y Loesch, 1967; Loesch y Lafranchi, 1990; Plato *et al.*, 1991; Kahn *et al.*, 2001; Badawi *et al.*, 2006). Estas diferencias hacen posible que, en el campo de las ciencias forenses, se hayan aplicado métodos estadísticos para inferir el sexo, la edad o la procedencia del individuo a partir de una huella de origen desconocido (Acree, 1999; Badawi *et al.*, 2006; Gungadin, 2007; Karmakar *et al.*, 2008a; Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2008, 2013b; Nayak *et al.*, 2010a, 2010b; Nithin *et al.*, 2011; Agnihotri *et al.*, 2012; Eshak *et al.*, 2013; Gutiérrez-Redomero y Alonso-Rodríguez, 2013; Krishan *et al.*, 2013; Kapoor y Badiye, 2014; Mundorff *et al.*, 2014).

El sistema de identificación reduce el campo de búsqueda en la base de datos y el tiempo de análisis. Por lo que contar con un sistema que realice la clasificación de acuerdo a sus minucias podría lograr un incremento sustancial en el tiempo de respuesta de los sistemas de identificación (Rosales, 2009). Debido a esto, en el campo de las ciencias forenses se pone de manifiesto la situación actual para la identificación; sabemos que cotejar, verificar es comparar algo en este caso una huella latente de la cual no sabemos la identidad, con otra huella o impresión tomada en buenas condiciones de la que sí conocemos la identidad. Ese cotejo en el caso de las huellas dactilares consiste en que debe haber coincidencia o correspondencia en el tipo de figura principal y consiste en que debe haber una serie de puntos coincidentes o minucias apreciables sin discrepancias que no puedan comprobarse, esto ha llevado a la realización de comparar y clasificar la impresión dactilar si se trata de un origen conocido y la huella latente de origen desconocido revelada en el lugar del delito, o

perteneciente a un cadáver sin identificar, etc., Esta técnica ha sido empleada nivel mundial para el reconocimiento de una persona.

La identificación, en cuanto a la individualidad, se argumenta que esto no ha sido demostrado con bases científicas sólidas. La cantidad de minucias examinadas varía entre laboratorios, al no haber una estandarización del número mínimo de éstas a tomar en cuenta. Es por esto, que los investigadores creen necesaria la construcción de una base sólida para el proceso de identificación, con bases dactiloscópicas copiosas a fin de aumentar el peso de la evidencia basada en el cotejo mediante huellas dactilares. Para lo anterior es necesario conocer la frecuencia de las características más relevantes en el proceso de identificación por huellas dactilares en las diferentes poblaciones humanas, en particular relacionadas con las minucias, como los finales de cresta, las convergencias, las bifurcaciones, etcétera (Gutiérrez-Redomero *et al*, 2011). En relación al número mínimo necesario de puntos característicos o *minutiae*, se estableció la primera norma para probar una identificación, la cual fue la regla tripartita propuesta en 1914 por Edmond Locard, que se basó para su elaboración en varias fuentes de información: los estudios de poroscopy realizados por él mismo, en la experiencia en la identificación practicada por los laboratorios de criminalística, aún muy limitada en esas fechas, y en la evaluación estadística realizada por Balthazard (1911) y Galton (1892). La regla establecía que:

1. Si más de 12 puntos coincidentes están presentes, y las impresiones están bien definidas, entonces la certeza de la identidad está fuera de todo debate.

2. Si de 8 a 12 puntos de coincidencia están presentes, entonces el caso está en el límite, y la certeza de identidad dependería de:
 - a.- la definición o claridad de la impresión.
 - b.- la rareza de su tipo.
 - c.- la presencia del centro de la figura (núcleo) y del trirradio (delta) en la parte inútil.
 - d.- la presencia de poros.
 - e.- la perfecta coincidencia de la anchura de la cresta epidérmica y en su flujo, así como de los ángulos en las bifurcaciones.

3. Si el número de puntos característicos es limitado, la impresión dactilar no puede probar certeza para una identificación, y sólo una presunción, proporcional al número de puntos disponibles y su claridad, puede darse.

Actualmente, en la práctica los estudios de Gutiérrez-Redomero *et al.* (2007, 2011), por ejemplo, se avocan al análisis de las minucias, y la utilización de esta regla que se ha transformado en el método de “estándar numérico”, en el cual, un determinado número mínimo de puntos característicos, o *minutiae*, deben coincidir entre dos impresiones dactilares para establecer la identidad de un individuo. A pesar de ello, este estándar numérico varía considerablemente entre los laboratorios de criminalística de los diferentes países, encontrando países como Sudáfrica y Turquía con un estándar numérico de 7 y 8 puntos, frente a otros como Italia y Francia con 16-17 puntos; u otros como Alemania, Suecia, Holanda, Suiza y España, con valores intermedios, cuyo estándar varía entre 8-12 puntos. El grupo más amplio de países, con un estándar de 12 puntos, lo constituyen Bélgica, Finlandia, Israel, Irlanda, Grecia, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovenia, Japón, y los países de Sudamérica (Champod *et al.*, 2004).

De acuerdo a este método de identificación, la *The International Association for Identification* (IAI) una de las asociaciones más relevantes en el ámbito de la identificación, con mucha reputación en Estados Unidos, afirmó en 1973, bajo el sustento de un estudio que necesitó de tres años y fue realizado por un comité de evaluación, “*que no existe base científica para requerir que un predeterminado número mínimo de puntos deba estar presente en dos impresiones dactilares en orden a establecer una identificación positiva*” (Anon, 1973). Debido a esto, Estados Unidos y Canadá, rechazan la noción del estándar numérico y la Asociación subraya la importancia de considerar tanto los elementos, cualitativos y cuantitativos, en el proceso de comparación de dos impresiones dactilares (Ashbaugh, 1999). El primer país europeo en seguir este modelo fue Noruega, seguido por otros países escandinavos. Australia adoptó la resolución en el año 2000 y el Reino Unido, uno de los países más reticentes al cambio, y que había mantenido uno de los estándares numéricos más altos (dieciséis puntos), en 2001 finalmente abandonó la utilización del estándar numérico (Champod *et al.*, 2004; Gutiérrez-Redomero y Hernández-Hurtado, 2011; Rivalderia, 2016).

De acuerdo a los criterios utilizados, esta discrepancia de criterio se debe a que el número mínimo necesario de puntos característicos para probar una identidad, no ha sido rigurosamente establecido (Anon, 1973, 2002; Ashbaugh, 1999; Cole, 2001; Champod *et al.*, 2004), puesto que la mayoría de los modelos propuesto (Amy, 1946; Santamaría, 1955; Kingston, 1964; Osterburg *et al.*, 1977; Stoney, 1985, 2001; Pankanti *et al.*, 2002), se han basado en el cálculo de probabilidades de aparición de los puntos característicos en las impresiones dactilares, sin profundizar en el estudio de su variabilidad otorgando la misma frecuencia de aparición a todos los tipos de *minutiae*. Por ello, los estudios que aporten información sobre la variabilidad de los puntos característicos estableciendo diferencias estadísticamente significativas en relación con las frecuencias que se les encuentra por dedo y por género, podrán aplicarse a la práctica para mejorar la identificación del individuo, así como la inferencia del sexo y origen de las huellas de origen desconocido.

A lo largo de la historia de la identificación ha habido dos sucesos importantes que han cambiado la forma de trabajar y los criterios para una identificación en el campo de las ciencias forenses, pues las diferencias encontradas en los análisis de diversos aspectos de identificación acrecentó un gran problema que no fue resuelto durante décadas, en las cuales, esta situación no fue cuestionada desde ningún ámbito, judicial o civil. Estos sucesos han ocurrido cercanamente, uno de ellos fue el caso *Daubert* contra la farmacéutica *Merrell Dow Pharmaceuticals* en los años 1993 donde la Corte Suprema de los Estados Unidos terminó por abrir en debate en relación a los requerimientos que debía cumplir una disciplina para poder presentar testimonio como prueba científica en la Corte Judicial. Numerosos expertos en ciencias forenses participaron a la labor de establecer qué criterios debía cumplir un testimonio pericial para considerar que estaba basado en criterios científicos.

El otro suceso fue el caso “*Brandon Mayfield*”, que generó un error que causó una controversia inmensa, de repercusión internacional. En este caso *Mayfield*, en relación a los atentados del 11 de marzo en Madrid de 2004 que produjo que los agentes del FBI identificaran erróneamente una huella revelada por el Cuerpo Nacional de Policía Española (CNP), hallada en una bolsa de plástico, en el interior de una furgoneta; al observar el contenido se encontró material explosivo similar al utilizado en los atentados, y ésta fue atribuida al abogado estadounidense Brandon Mayfield. Al hacer el

cotejo e introducir la huella al AFIS, el abogado es detenido, y cuatro expertos dactiloscopistas del FBI concluyen que una de las impresiones dactilares del abogado coincidía con la huella encontrada en la bolsa; pocos días después, la policía española identificó la huella encontrada en la bolsa como perteneciente al argelino Ouhmane Daoud (O.o.t.I.G. U.S., 2006). Por ello, en la práctica forense estos errores, y la falta de cuidado y el poco o nulo control al hacer la averiguación al que son sometidas las evidencias forenses, sin una estricta comprobación, derivan actualmente en la necesidad de reconsiderar muchos de los principios básicos sobre los que se sustentan estas disciplinas para ser consideradas ciencias (Grieve, 1996; Champod y Margot, 1996; Champod y Evett, 2001; Saks y Koehler, 2005; Egli *et al.*, 2007; Spinney, 2010; Neufeld y Scheck, 2010; Lucena-Molina *et al.*, 2012).

Después de extensos debates se concluyó que, para que una prueba pericial fuera aceptada, debía estar basada en criterios científicos y cumplir cuatro condiciones que pudieran validarse en un juicio como una prueba pericial, tanto en su teoría como en su aplicación práctica o técnica:

- Que esté científicamente demostrada, y por lo tanto aceptada por la comunidad científica, mediante la falsabilidad de la teoría científica sobre la que se basa la prueba.
- Que esté sujeta a revisión por pares (*peer review*) y haya sido publicada en revistas científicamente reconocidas en el campo forense.
- Que se conozca su tasa de error potencial y que éste sea aceptable dentro de los estándares correspondientes a la técnica empleada.
- Que existan normas estandarizadas que controlen el uso de la técnica dentro de la comunidad científica.

Sin embargo y aún siendo los criterios *Daubert* recomendaciones de carácter general, queda claro que es necesario conocer la tasa de error en la aplicación de la técnica, aún siendo considerada muy baja por los peritos en la identificación (Grieve, 1996; Margot y German, 1996; Champod y Evett, 2001; Saks y Koehler, 2005; Dror *et al.*, 2006; Schiffer y Champod, 2007; Dror y Rosenthal, 2008).

Ahora bien, qué acontece en la situación actual para la identificación: ya en los años cincuenta Santamaría, un policía español, adoptaba el sistema utilizado por la policía, que era solamente el cuantitativo, es decir el resultado de cotejar y verificar una serie de puntos coincidentes o minucias para comparar una huella. Así Santamaría aborda el trabajo de demostrar la frecuencia con la que aparecen esos puntos y mantiene que en un juicio pericial, se debe plantear el análisis de comparación global, es decir cuantitativo y cualitativo y entonces utilizar el estándar numérico de los 12 puntos, el cual refleja sólo una parte del análisis, pero que no puede ser considerado en cualquier circunstancia como un requerimiento absoluto, debiendo tener en cuenta los aspectos cualitativos. Actualmente nos encontramos con países como Canadá, Estados Unidos, Reino Unido y Noruega que utilizan el protocolo o sistema integrador establecido para determinar si dos impresiones proceden del mismo individuo o no, el protocolo **ACE-V**, acrónimo de Análisis, Evaluación, Comparación y Verificación, que utiliza ambos análisis, el cuantitativo y cualitativo. Este método deja a cargo del perito que explique cuáles son esos rasgos que encuentra y la cantidad o la frecuencia con la que aparecen para tomar decisiones durante todo el proceso, para justificar su identificación. Pero hoy en día sólo hay dos sistemas vigentes al momento de hacer las identificaciones, no siendo ningún sistema mejor que el otro. (Huber, 1959, 1972; Cassidy, 1980; Tuthill, 1994; Ashbaugh, 1999; Vanderkolk, 2004).

Se han dado situaciones en el quehacer de las ciencias forenses que han generado errores y han sido detectados en la identificación dactiloscópica. Por ejemplo, la *National Academy of Sciences*, emite un informe “*Strengthening Forensic Science in the United States. A path forward*” (NRC, 2009) y declara las deficiencias de algunas de las disciplinas utilizadas en las ciencias forenses; lo que causa gran repercusión internacional, y reconoce que la mayoría de las técnicas forenses no tienen base científica sólida, puesto que muchas herramientas utilizadas para resolver los distintos delitos no han sido sometidas a un análisis experimental riguroso y deja ver que en particular, en el campo de la dactiloscopia, es necesario incrementar el conocimiento cuantitativo sobre los principales rasgos dactiloscópicos. Es importante mencionar que este informe rescata y hace una mención relevante acerca de uno de los estudios estadísticos de poblaciones que realiza la Dra. Gutiérrez-Redomero (Gutiérrez *et al.*, 2007).

La dermatoglifia de orientación forense en México

En el ámbito forense mexicano, uno de los principales usos de este tipo de estudios, está relacionado con la actividad pericial, cuyo propósito es la identificación de personas vivas o muertas relacionadas con hechos presuntamente delictivos. En el caso estatal, las instituciones procuradoras de justicia (autoridades ministeriales, policiales y judiciales) solicitan la intervención de la Coordinación General de Servicios Periciales de la Ciudad de México, para que a través de los laboratorios y equipos especializados de las distintas especialidades adscritas, como: Criminalística, Genética forense, Odontología forense, Arte forense (Retrato hablado), Antropología forense e Identificación Humana (Dactiloscopia) coadyuven a establecer la identidad de un sujeto.

El retrato hablado, la Antropología forense y la Dactiloscopia, se encuentran dentro de la estructura de la Subdirección de Identificación Humana dependiente de la Dirección de Especialidades Médicas e Identificación de la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México (ver Anexo 2).

Es importante mencionar que la especialidad de Identificación Humana en sus inicios era conocida como Dactiloscopia y ahora se divide en áreas o secciones las cuales son:

- Reseñas y Remesas
- Sistema de identificación de huellas dactilares por sus siglas en inglés AFIS
- Archivo dactiloscópico y Archivo nominal
- Laboratorio de Identificación o Monodactilar (cuenta con un Laboratorio móvil)
- Sistema de Archivo Criminal

Recientemente la especialidad de Identificación Humana, de la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México (PGJ), está en proceso de ser certificada y acreditada como especialidad en Lofoscopia Forense por el Programa Internacional para la Capacitación y Asistencia en la Investigación Criminal (ICITAP).

Hoy día, conocemos muy poco de la variabilidad de las minucias o puntos característicos en la identificación en México. Por ejemplo, el *Manual Específico de Operación de Servicios Periciales en la especialidad de Identificación Forense*, nos menciona: para la fase de análisis de huellas en la intervención de la dactiloscopia,

existe un procedimiento general, que el personal pericial adscrito a la Subdirección de Identificación Humana debe conocer en forma ordenada y sistemática, para llegar y emitir opiniones, informes y dictámenes para una identificación; el perito en dactiloscopia atiende una solicitud requerida por la autoridad ministerial, judicial o administrativa competente a la Subdirección de Identificación Humana o a través de los representantes de la Coordinación General de Servicios Periciales, se designa al perito que intervendrá en la toma de muestras dactilares en Fichas Decadactilares y tarjetas de Índice proporcionándole la información detallada respecto a la solicitud requerida y si es necesario traslada a campo, lugar donde se requieren sus servicios, informa su intervención y presenta al (los) presunto (s) responsable (s), una vez obtenida la muestra entrega las Fichas en la Mesa de Control del Registro Dactiloscópico y Nominal; se reciben para su confronta, se realiza la consulta en el archivo tradicional para obtener el resultado de búsqueda para positivo o negativo. (ver Manual de específico de operaciones... sección VI (Coordinación General de Servicios Periciales, 2007: 40-42).

El examinador perito dactiloscopista, en base a su experiencia y preparación, hará el procedimiento para la investigación Monodactilar con la finalidad de verificar la existencia o no de elementos dactilares, palmares o de índole diversa susceptible de ser analizada minuciosamente, para brindar un resultado correcto y oportuno. De igual manera se requiere la solicitud a la Coordinación General de Servicios Periciales para turnar al o los peritos, una vez recibida la solicitud se traslada al sitio señalado para la búsqueda y recuperación de fragmentos dactilares y palmares, los recoge, los embala en el lugar de los hechos y regresa a base, para su análisis y estudio. Posteriormente realiza la confronta y valida ésta contra la base de datos del Sistema AFIS y los Archivos Tradicionales de la Subdirección de Identificación Humana; obtiene sus conclusiones, elabora, en dos originales, "Dictamen o Informe Pericial", lo firma y entrega a la autoridad solicitante, ésta acusa de recibido y lo entrega a la Sección Monodactilar, o Laboratorio móvil éste recibe y archiva junto con la solicitud, en esta sección se realiza la búsqueda, revelado y levantamiento de fragmentos lofoscopicos, en el lugar de la investigación en caso de ser necesario se utiliza el Laboratorio móvil. Posteriormente en el laboratorio se realiza el procesamiento del indicio utilizando el método ACE-V. (ver Manual específico de operaciones... sección IX (Coordinación General de Servicios Periciales, 2007:62-63).

De esta manera se describe esta labor en México para lograr una identificación en el campo de la dactiloscopia. Esto ocurre en la práctica al momento de realizar una comparación cuando se requiere, para la acreditación o desacreditación de la identidad de un individuo: entre una huella dubitada contra una indubitada, a través de sus características morfológicas basándose en la coincidencia de tipo fundamental, ubicación y minucias o número de puntos característicos, que pueden estar presentes en dos impresiones, dactilar, palmar o plantar.

Además de la importancia de este procedimiento de identificación con el método ACE-V, actualmente se está trabajando y ya se admite un tercer método para el análisis de puntos característicos en otros países en la Unión Europea, basado en el cálculo del *likelihood ratios*, con una orientación probabilística, que consiste en indicar el valor probatorio de un cotejo de huellas, bajo dos hipótesis mutuamente excluyentes a nivel de origen de la fuente. El valor probatorio es evaluado por asignación de una probabilidad subjetiva y/o calculada utilizando un software basado en un modelo probabilístico (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2012, 222: 266-276).

Capítulo 2

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Caracterización de la muestra

En México los grupos humanos se han manifestado con particulares en las distintas regiones geográficas, lo que ha logrado una gran distribución de la diversidad genética con características demográficas e histórico-culturales, muy divergentes, lo que ha provocado considerar relevantes para la comprensión de una filiación genética a través de la dinámica de poblaciones que ha surgido en el tiempo y espacio. La Ciudad de México, está localizada en el valle de México a una altitud media de 2.240 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y es considerada la capital del país. Tiene una población de 8.918.653 habitantes, lo que la posiciona como una de las mayores aglomeraciones urbanas del mundo y la más grande del continente americano y del mundo hispanoparlante. Esta ciudad se localiza en la provincia geológica de Lagos y Volcanes del Anáhuac (figura 10). Limita al norte con la sierra de Guadalupe y en el centro oriente se localiza la sierra de Santa Catarina, una cadena de volcanes apagados cuyo punto más alto es el volcán de Guadalupe o El Borrego, que se eleva a 2.780 m.s.n.m. (INEGI, 2016).



Figura 10.- Ubicación geográfica del área de muestreo, Ciudad de México. Imagen modificada de la página web: <http://mr.travelbymexico.com/677-cdmx/>

La mayor parte de los habitantes de la ciudad son mestizos y a pesar de que la población indígena no representa más del 1% del total, la Ciudad de México es el ámbito de población amerindia más amplio de México y de América, con más de 360.000 indígenas de casi todas las etnias del país. El mayor de los grupos étnicos que habitan en la Ciudad de México es el de los nahuas. Producto de la inmigración de origen

internacional, la Ciudad de México también alberga la mayor parte de los extranjeros que se radican en México (INEGI, 2016).

Las muestras para llevar a cabo este estudio fueron obtenidas en la Ciudad de México. El tamaño de la muestra fue de 202 individuos, de los cuales 100 correspondían a mujeres y 102 a varones, lo que permitió analizar un total de 2.020 impresiones dactilares. Los individuos tenían edades comprendidas entre 18 y 62 ($26,31 \pm 8,34$), siendo así todos ellos adultos, o con el crecimiento prácticamente finalizado, dado que la anchura de la cresta varía con la edad durante el periodo de crecimiento (Loesch y Godlewska, 1971; Loesch y Czyozewska, 1972; David, 1981; Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011).

La toma de muestras de las impresiones dactilares se realizó con estudiantes de la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH) y se llevó a cabo en dos periodos durante el año 2015, uno de marzo a mayo y otro de octubre a noviembre. Para ello, se contó con el apoyo del Departamento de División de Licenciaturas, que proporcionó un espacio en el departamento, dotado con el mobiliario adecuado.

El material utilizado se consiguió con las impresiones dactilares de los 10 dedos de las manos. El 100% de las series dactilares se obtuvieron, de acuerdo al protocolo propuesto para continuar con el manejo de los parámetros metodológicos en cuanto a la identificación Lofoscópica para así obtener los resultados. La población seleccionada está compuesta por 102 hombres y 100 mujeres, para establecer en primer término su perfil dermatoglífico, de acuerdo a los parámetros antropológicos usuales (porcentajes de figuras digitales), y en una segunda etapa, para analizar y obtener la variabilidad de las minucias o puntos característicos; para valorar frecuencia con que aparecen, su distribución a lo largo de la huella, las diferencias por sexo, interdigitales, bimanuales y relación con el patrón general de la huella y el análisis de la densidad de crestas sobre la superficie topológica de los dedos.

La participación para la obtención de las huellas fue voluntaria para esto se les entregó una carta de consentimientos informados a cada participante, así como una breve explicación más detallada del estudio, para darles a conocer diferentes aspectos sobre el estudio, como la forma de la toma de huellas, y recabar su conformidad de cara a la

obtención de las mismas utilizando la técnica planteada para este estudio. A su vez, se seleccionó exclusivamente a individuos con una historia genética de padres y abuelos mexicanos, y se excluyó a individuos que tuviesen ascendencia extranjera, buscando una homogeneidad muestral en origen poblacional de la muestra. Fue importante considerar la edad de la muestra ya que la anchura de la cresta va cambiando durante el periodo de crecimiento considerando esta característica todos los sujetos que conforman la muestra son de edad adulta los cuales se encuentra entre los 18 y 62 años (Loesch y Godlewska, 1971; Loesch y Czyzewska, 1972; David, 1981; Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011b; Silva *et al.*, 2016).

Material:

- Grafito
- Escuadras
- Compas
- Lupa
- Etiquetas adhesivas
- Hojas de acetato y de papel bond
- Fundas o porta hojas de plástico
- Lápiz bicolor y marcadores punto fino distinto color
- Equipo tecnológico (computadora, escáner e impresora)

Para el desarrollo de la investigación se hizo una revisión de la documentación bibliográfica en revistas especializadas en el ámbito forense, para identificar y seleccionar los programas de análisis de minucias o puntos característicos en las figuras digitales.

Para este estudio se cuenta también con la inclusión del estudio del análisis de densidad de crestas, donde se obtiene el número de crestas dentro de un área definida, las diferencias en la densidad por áreas, variabilidad tipológica de los dedos, distinción entre mano izquierda y derecha, así como el dimorfismo sexual (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013).

2.2. Técnica de registro de muestra

La técnica utilizada para la obtención de las impresiones dactilares se basa en una adaptación del método de grafito y papel adhesivo (Aase y Lyons, 1971), y modificada por Gutiérrez-Redomero *et al.* (2012). Esta técnica consiste en la utilización de polvo de grafito para impregnar homogéneamente las crestas epidérmicas de la falange distal del dedo que, a continuación, es depositada sobre la parte adhesiva de una etiqueta, no transparente, mediante el rodado del dedo en sentido ulnar-radial. Seguidamente, estas etiquetas son adheridas a una lámina de acetato transparente que porta escala milimétrica y diez cuadrículas de tamaño apropiado, para depositar en cada una de ellas las correspondientes impresiones dactilares (figura 11). Con esta técnica se obtiene una imagen especular de la superficie dactilar, similar a la obtenida con el método clásico de tinta.

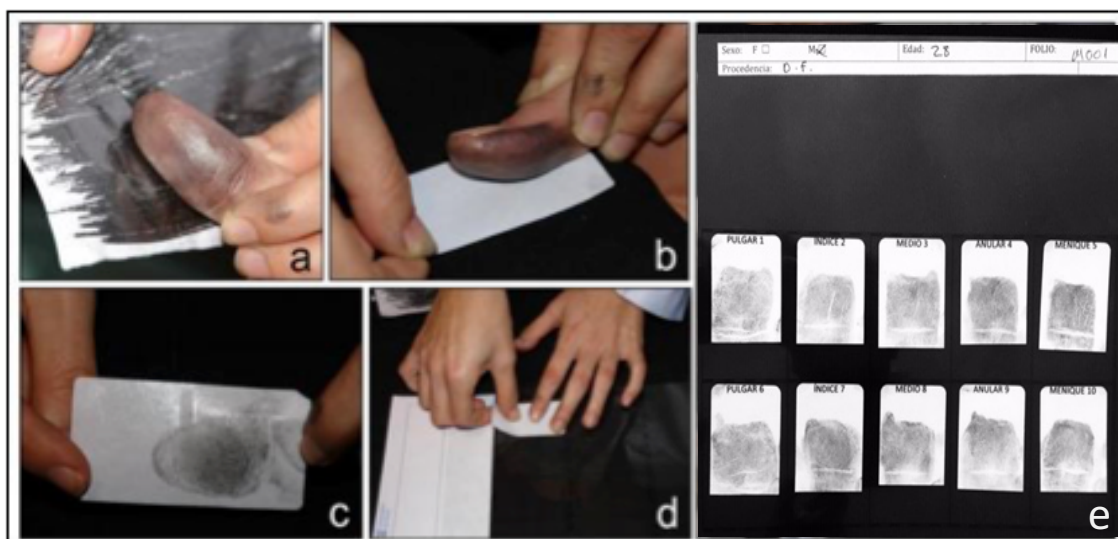


Figura 11. Metodología para la obtención de las impresiones dactilares. a) Aplicación del polvo de grafito a la yema del dedo. b) Rodamiento del dedo en sentido ulnar-radial. c) Impresión dactilar en la etiqueta adhesiva. d) Depósito de las etiquetas en la lámina de acetato transparente. e) Ficha con los datos y las diez impresiones dactilares del individuo (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013a).

Posteriormente, las impresiones fueron digitalizadas en las dependencias del Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de Alcalá (UAH). Cada color verdadero de imagen (24 bits) jpg tenía un tamaño de 1496 x 2002 píxeles, con una resolución de 200 ppi o 79 píxeles/cm. Los dedos fueron numerados del 1 al 10, comenzando por el pulgar derecho (finger-F1) y terminando por el meñique izquierdo (finger-F10), orden que se rige por el sistema de clasificación de Henry (IBG 2003).

2.3. Registro y análisis del tipo de figura principal

Las crestas epidérmicas cuya reproducción constituyen los dactilogramas, se agrupan formando distintos sistemas de crestas, que pueden ser independizados por las líneas tipo, formadas por las crestas más internas del delta o trirradio, y que definen en su interior el área del patrón o sistema nuclear, separándolo del sistema de crestas superior o marginal y del inferior o basilar (figura 12).

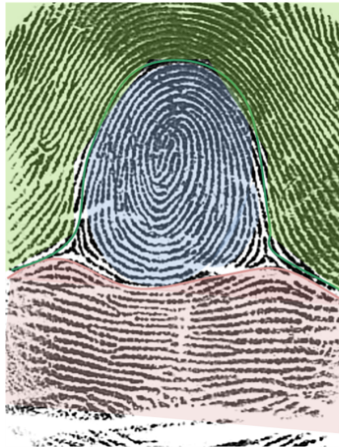


Figura. 12. Sistemas de crestas en una impresión dactilar. En rosa el sistema basilar, en azul el sistema nuclear y en verde el sistema marginal (tomado de Rivaldería, 2016).

Para la identificación de los tipos de figuras principales se empleó una clasificación basada en el número de trirradios o deltas, de cuatro tipos principales de figuras (Cummins y Midlo, 1943):

Arcos: este tipo de figura está formada por líneas paralelas, ligeramente curvadas, sin diseño definitivo, las cuales no tienen delta o trirradio. Existe una variante llamada arco en tienda, la cual presenta un trirradio, en el que una de sus líneas radiantes se corresponde con el centro del núcleo (figura 13).

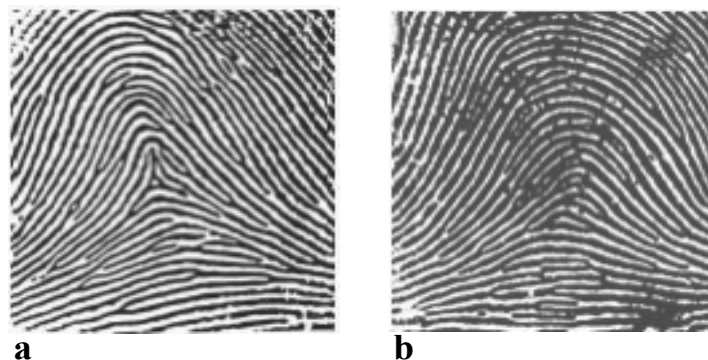


Figura 13. Ejemplo de figura o patrón principal de tipo arco en tienda (a) y arco (b).

Presillas: es una figura formada por un campo de líneas paralelas, en el que la dirección de las mismas exhibe un giro de 180° por la presencia de un trirradio. Las presillas digitales pueden ser radiales o ulnares. La presilla radial es la que está abierta hacia el lado radial de la palma y tiene el trirradio en el borde ulnar; y la presilla ulnar es la que está abierta hacia el borde ulnar de la palma y tiene el trirradio en el lado radial. (figura 14).

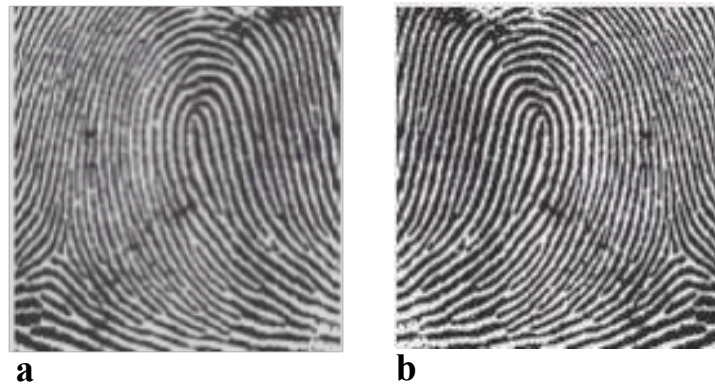


Figura 14. Ejemplos de figura o patrón principal tipo presilla. Conociendo que el dedo de la impresión es de la mano derecha, (a) es una presilla ulnar y (b) una presilla radial.

Torbellinos: este tipo de figura está formado por diseños cerrados, en donde el campo de líneas paralelas sigue un curso circular o elíptico, con giros de 360° por la presencia de dos trirradios, aunque ocasionalmente pueden aparecer torbellinos asociados con tres trirradios. Los torbellinos pueden ser simétricos (si los dos trirradios están situados a la misma distancia del núcleo, para ello se tiene en cuenta el número de crestas que median hasta el núcleo) o asimétricos, cuando presentan dos núcleos (doble presilla) o un núcleo en espiral (si el recuento de crestas desde el trirradio al núcleo es diferente en ambos lados) (figura 15).

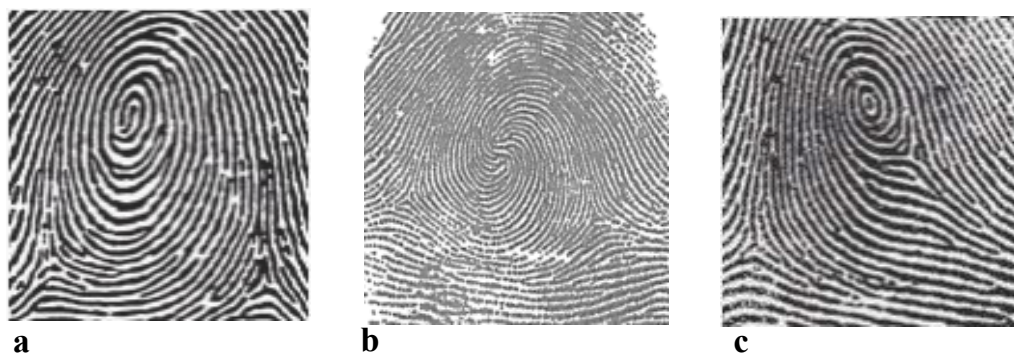


Figura 15. Ejemplos de figura o patrón principal tipo torbellino, simétrico (a), asimétrico (b) y núcleo en espiral (c).

2.4. Registro y análisis de la densidad de crestas

El tercer nivel de detalle es el que aporta información sobre la morfología de la cresta y su contorno, así como de la ubicación de los poros. En el presente trabajo se analiza la anchura de las crestas epidérmicas, a través de la información proporcionada por la densidad de crestas (DC) obtenida sobre un área estandarizada. La metodología seguida en el presente trabajo, fue una variación de la metodología propuesta por Acree (1999), en donde la densidad de crestas se estima como el número de crestas que atraviesa la diagonal de un cuadrado de 5 mm de lado, éste situado en la zona radial de la región distal del dactilograma. De esta manera, se valora la densidad de crestas, sobre una superficie dactilar de 25 mm², a partir de su recuento en la diagonal de 7,07 mm. Además, en el presente trabajo, se ha seguido la metodología propuesta por Gutiérrez-Redomero *et al.* (2008), para la estandarización y ampliación de las áreas de recuento. El recuento de crestas se realizó en tres áreas de las impresiones dactilares obtenidas a partir de la falange distal en cada uno de los diez dedos: dos en la porción distal, una sobre el lado radial y otra sobre el ulnar, y otra en la porción proximal.

Para la localización de las tres áreas de recuento, fueron definidos cuatro sectores, mediante dos ejes perpendiculares cuyo punto de corte se produce en la parte más alta de la segunda cresta que discurre por encima del núcleo de la figura, y cuyo eje horizontal se posiciona paralelamente al surco interfalángico, el cual debe ser visible en la impresión obtenida (figura 16). En el caso de los arcos, sin núcleo definido, los ejes interseccionan en el punto medio del dactilograma. La posición de los ejes es utilizada para ubicar, de forma estandarizada en todos los dactilogramas, las tres áreas de recuento, sobre las cuales será valorada la densidad de crestas. De esta manera, por encima del eje horizontal, se trazarían las áreas radial y ulnar (una a cada lado del eje vertical). El área proximal se trazaría a partir de la primera cresta que aparece completa por encima del pliegue de flexión interfalángico. Los dedos fueron numerados del 1 al 10 empezando por el pulgar de la mano derecha (D1) y terminando con el meñique izquierdo (D10) (figura 17).

El recuento de las tres áreas sobre 2.020 impresiones dactilares, correspondientes a los diez dedos de los 202 individuos, supuso la valoración de 6.060 áreas de recuento. A

partir de estos datos se estimó el valor medio de la densidad de crestas por área, dedo y sexo.



Figura 16. Localización de las tres áreas de recuento de crestas (radial, ulnar y proximal) en los tres tipos de figura principal (torbellino, presilla y arco), sobre impresiones dactilares tomadas de dedos de la mano derecha (imagen tomada de Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013).

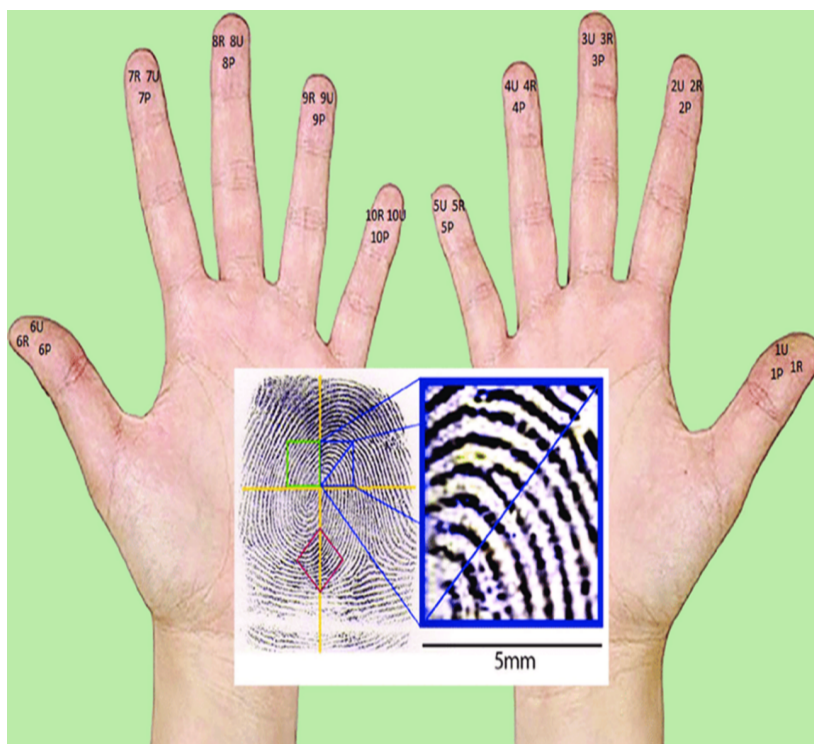


Figura 17. Numeración de los diez dedos de las manos, identificación de las áreas topológicas. (R: Radial; U: Ulnar; P: Proximal) y localización de las áreas sobre una impresión de un dedo de la mano derecha (de izquierda a derecha: área radial (verde), área ulnar (azul) y área proximal (rojo) (Taduran *et al.*, 2017).

2.5. Registro y análisis de *minutiae*

El segundo nivel de información, dada su gran variabilidad, constituye la base fundamental de la identificación a partir de huellas digitales. Las formas diversas que adoptan cada una de las crestas epidérmicas, y la variedad de sus combinaciones, son datos de gran valor para la distinción de dos impresiones digitales. Estas particularidades, definidas como *minutiae* por Galton (1892), son también conocidas como puntos característicos, o características de Galton, o simplemente como puntos. En cualquier impresión digital pueden encontrarse más de treinta puntos característicos, y en algunas hasta más de cien. En la actualidad, los expertos reconocen que cada punto característico contiene información adicional muy útil para el proceso de comparación, como son su rareza y definición (IEEGFI-II, 2004). En el proceso de comparación o cotejo, cada *minutiae* tiene cuatro componentes que deben ser considerados: el tipo, el ángulo y la orientación de las mismas, y el número de crestas que median entre las *minutiae* comparadas, que deben tener una disposición espacial similar en ambas huellas.

En el presente trabajo, la localización y el recuento de las *minutiae* se realizó de forma manual, sin ayuda de ningún *software*, para lo cual se hizo necesario que las impresiones digitales fueran ampliadas cuatro veces su tamaño original. La cuantificación de las *minutiae* se llevó a cabo sobre ocho áreas de recuento, diseñadas siguiendo el método de estandarización descrito por Gutiérrez-Redomero *et al.* (2011a), el cual consiste en trazar, sobre la impresión dactilar, dos ejes perpendiculares cuya intersección se localiza en el centro del dactilograma. De esta manera se obtienen cuatro cuadrantes, dos distales o superiores (ulnar y radial) y dos proximales o inferiores (ulnar y radial). A su vez, sobre estos sectores se definió un círculo, cuyo radio corta perpendicularmente, en alguno de los cuadrantes distales, quince crestas a partir del centro de corte de los ejes anteriores. De esta manera, la impresión dactilar queda dividida en cuatro cuadrantes y éstos a su vez en dos sectores: dentro y fuera del círculo, lo que permite valorar, de forma independiente, ocho áreas en cada dactilograma (figura 18).

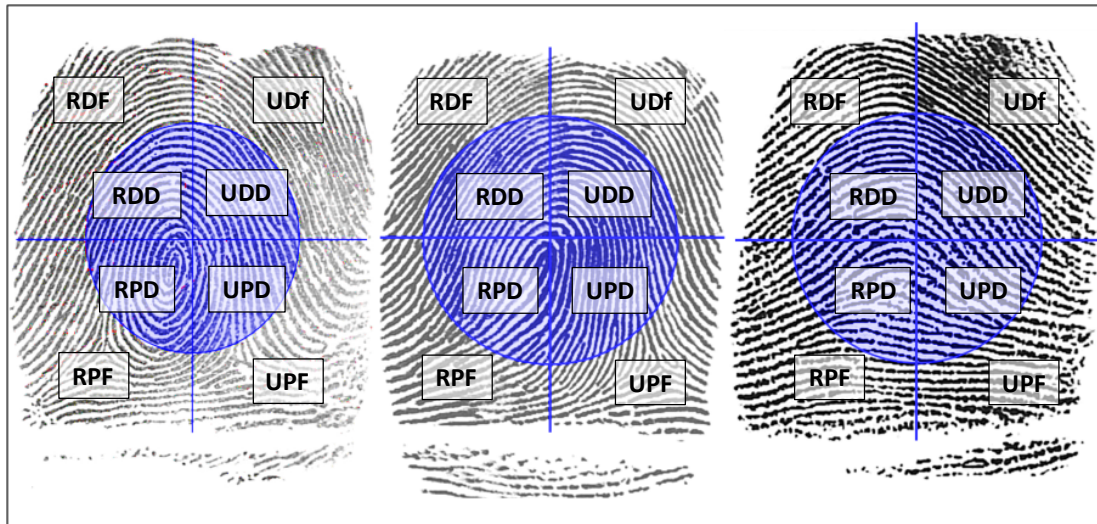


Figura 18. Sectorización de la impresión dactilar en ocho áreas de recuento en los tres tipos de figura principal (torbellino, presilla y arco) (modificado de Rivaldería 2016). RDD: radial distal dentro; UDD: ulnar distal dentro; RDF: radial distal fuera; UDF: ulnar distal fuera; RPD: radial proximal dentro; UPD: ulnar proximal dentro; RPF: radial proximal fuera; UPF: ulnar proximal fuera.

Dado que las *minutiae* son particularidades que aparecen en el recorrido de una cresta, se ha considerado que la mejor manera de estandarizar la comparación tanto de la cantidad como del tipo de *minutiae*, entre dedos, sexos y poblaciones es la de establecer la dimensión del círculo ligado a un número de crestas y no a una dimensión espacial. La identificación y localización de los puntos característicos se realizó siguiendo la clasificación utilizada en trabajos anteriores, lo que permite comparar todos los resultados (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011a) y que está basada en la empleada por la Policía Científica Española en la que se establecen un total de 20 tipos de *minutiae*. El nombre, la abreviatura y la definición de las *minutiae* o puntos característicos analizados son:

Abrupta (A): Cresta epidérmica que hallándose confinada entre otras dos crestas de mayor recorrido, se interrumpe definitivamente. Se clasifican en dos tipos: inicial (**Ai**); cuando partiendo del lado izquierdo del dactilograma la cresta comienza y final (**Af**); cuando partiendo del lado izquierdo del dactilograma la cresta se interrumpe.

Bifurcación (B): Punto en que una cresta epidérmica, partiendo del lado izquierdo del dactilograma en los sistemas de cresta basilar o marginal, se divide en dos crestas. En el sistema nuclear, se definirá una bifurcación cuando una cresta se divida en dos siguiendo el sentido de las agujas del reloj.

Convergencia (C): Punto en que dos crestas epidérmicas, partiendo del lado izquierdo del dactilograma en los sistemas de cresta basilar o marginal, se fusionan en una. En el sistema nuclear, las convergencias se definirán cuando dos crestas se fusionen en una siguiendo el sentido de las agujas del reloj.

Punto entre crestas (PE): Pequeño fragmento de cresta, tan corto como ancho, situado entre dos crestas que discurren de forma paralela, pudiendo aparecer adosado a una de las crestas.

Punto dentro de crestas (PD): Pequeño fragmento de cresta, tan corto como ancho, situado inmediatamente después de que termine una cresta y antes de que comience la siguiente.

Fragmento (F): Cresta de extremos abruptos y de longitud variable. Pudiendo ser de tamaño “pequeño”, el fragmento cuya longitud es menor a cinco veces la anchura de la cresta (**FG**) y “grande”, el que muestra una longitud de cinco a diez veces la anchura de la cresta (**FP**).

Ojal: Punto formado por el espacio elíptico que dejan las ramas de una cresta bifurcada que vuelven a fusionarse por convergencia. Atendiendo a la longitud de los ojales, también pueden subdividirse en “pequeño”, cuya longitud es menor a cinco veces la anchura de la cresta (**OP**) y “grande”, cuando la longitud es de cinco a diez veces la anchura de la cresta (**OG**).

Interrupción (I): Espacio que interrumpe la trayectoria de una cresta completa, siempre que este no sea mayor del doble de la anchura de la misma. Los extremos de las crestas que delimitan la interrupción deben ser redondeados.

Desviación (D): Punto en que dos crestas, procedentes de lados opuestos del dactilograma, que parecen que van a encontrarse y formar una sola cresta, desvían sus extremos cuando ya están próximos, quedando separados por un surco interpapilar.

Transversal (T): Cresta que se aparta de la dirección principal y cruza entre otras dos crestas de dirección opuesta.

Empalme (E): Punto en el que una cresta corta, de dirección oblicua, se fusiona por sus extremos con otras dos paralelas, formando ángulos muy agudos.

Secante (S): Punto de contacto entre dos crestas, que inmediatamente se separan formando un aspa.

Cuña (CU): Punto formado por tres abruptas, en el que una de ellas, termina en el inicio del surco formado por las otras dos crestas que discurren en sentido opuesto.

Trifurcación: Punto en que una cresta epidérmica se desdobra en tres crestas. Dependiendo de que el origen de la cresta que se divide sea del lado izquierdo o derecho del dactilograma, se considerará, con sentido bifurcante (**TFB**) o con sentido convergente (**TFC**), respectivamente (ver definición de bifurcación y convergencia).

En M: Punto de confluencia de dos convergencias y una bifurcación o viceversa que presenta una morfología semejante a la letra M. Por lo tanto, se podrá encontrar M en sentido convergente (**MC**) o en sentido bifurcante (**MB**) (ver definición de bifurcación y convergencia).

Vuelta Insólita (VI): Cresta que, cambiando bruscamente de dirección, se curva formando una U, prolongándose incluso en sentido opuesto al de la principal, sin que llegue a constituir centro nuclear.

La morfología de los puntos analizado se puede observar en la figura 19, (ver anexo 2).

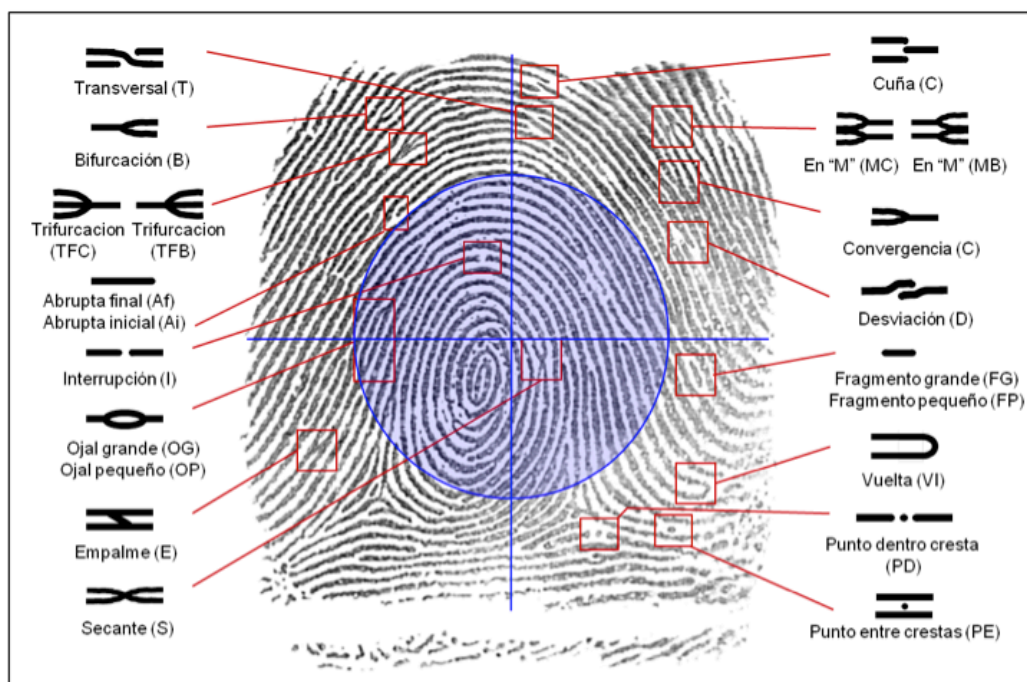


Figura 19. Tipos de *minutiae* valorados (tomado de Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2012).

Los diferentes tipos de *minutiae* fueron identificados, localizados y contados manualmente sobre las ocho áreas topológicas. El resultado ha sido la individualización, para su análisis, de 16.160 áreas dactilares en donde fueron registrados de forma manual 176.961 *minutiae* o puntos característicos. La técnica de recuento manual, aunque muy laboriosa, es necesaria al no disponer, en el momento actual, de una herramienta informática que permita el recuento automático de estos rasgos dactilares, (ver anexo 2).

Para el recuento de las *minutiae* por sectores, dentro y fuera del círculo, se utilizó una hoja de registro para cada dedo (1), cuya informatización llevó a la construcción de una base de datos de 1.727 variables por individuo. Las variables estudiadas, para cada uno de los dedos, fueron combinadas para obtener nuevas variables de asociación, dando lugar, finalmente, a una base de datos que contiene 2.864 variables por individuo. Esto permitió valorar las diferencias que existen en las *minutiae* tanto en número, tipo, frecuencia de aparición y distribución topológica sobre el área de impresión dactilar en cada uno de los diez dedos, así como compararlos en función del tipo de figura principal (arco, presilla y torbellino), del sexo del individuo y del origen de la población.

2.6 Análisis estadístico

La muestra se analizó estadísticamente con el programa SPSS v22.0, Statgraphics Centurion 17.1 y el software Statistica 7.

La frecuencia de los diferentes tipos de patrón o figura principal (arcos-A, presillas ulnares-PU, presillas radiales-PR, y torbellinos-T) fueron estimadas y su asociación con los diferentes dedos fue valorada mediante un análisis de correspondencia.

En lo que respecta a los análisis realizados para valorar la densidad de crestas, se estimaron los estadísticos descriptivos (media, desviación típica y rangos) de cada una de las variables analizadas. Las diferencias entre los sexos se analizaron para cada una de las tres áreas de recuento, por dedo, mano, y para la media de los diez dedos. La variación topológica se analizó comparando la densidad de crestas para cada dedo y en cada una de las áreas de recuento, usando la prueba de Friedman (comparación de las tres áreas: radial, ulnar y proximal) y el test de Wilcoxon (comparación entre las áreas distales: radial - ulnar) para muestras relacionadas. También se llevó a cabo una comparación bimanual mediante la prueba t de Student para muestras relacionadas, comparando las medias de cada variable entre ambas manos. La comparación poblacional entre la densidad de crestas obtenida para la población mexicana, y la obtenida con las poblaciones, que fueron analizadas siguiendo la misma metodología de recuento de crestas, fue también realizada mediante el test t de Student.

Las comparaciones entre poblaciones para la densidad de crestas, se llevó a cabo mediante un análisis de la varianza (ANOVA) y un análisis de componentes principales.

A partir de las diferencias sexuales observadas en la densidad de las crestas, la razón de verosimilitud o *likelihood ratio* (LR) fue calculada y la probabilidad, basada en los valores de densidad de crestas, en relación a cada sexo, fue obtenida a partir del teorema de Bayes (Grieve y Dunlop, 1992). Este teorema permite determinar la probabilidad de las causas a partir de los efectos observados. La propiedad esencial de la inferencia bayesiana, es que permite moverse de probabilidades *a priori* (iniciales o anteriores al test) a probabilidades *a posteriori* (finales o posteriores al test), basadas en datos. El LR es la relación entre probabilidades de un mismo suceso condicionado por dos sucesos mutuamente excluyentes, si bien no necesitan ser complementarios. El valor de LR confiere la solidez necesaria para soportar una de las dos hipótesis; C o C'. Las probabilidades *a posteriori* P(C|RD) y P(C'|RD) fueron calculadas utilizando el teorema de Bayes.

$$LR = \frac{\text{Probabilidad de que la huella sea de sexo masculino}}{\text{Probabilidad de que la huella sea de sexo femenino}} = \frac{P(RD|C)}{P(RD|C')}$$

RD) densidad de crestas, C) donante masculino, C') donante femenino.

La información obtenida del análisis de ambos, LR y las probabilidades *a posteriori*, fue utilizada para mostrar el valor que mejor soporta la hipótesis de poseer una determinada densidad de crestas P(RD|C) y P(RD|C'). La probabilidad *a priori* de ser varones P(C) o mujeres P(C') dependerá en gran medida de las evidencias que nosotros tengamos sobre la población donadora, susceptible de objeto de estudio. El objetivo de este método es apoyar una de las hipótesis del problema de atribución de una fuente de forma estadística, a partir de toda la información disponible.

Por otro lado, en lo que respecta a los análisis realizados para conocer la variabilidad de las *minutiae*, se estimaron las frecuencias de los diferentes tipos de *minutiae* en las muestras de estudio, tanto total como por sexo, sobre la superficie total del dactilograma, y dentro/fuera del círculo diseñado. También se analizó la relación entre las frecuencias de las *minutiae* y los diferentes tipos de patrones. Se utilizó la prueba de

la independencia de las características (Chi-cuadrado) para estudiar los datos. Cuando se detectó la dependencia, se aplicó un análisis de correspondencias simple, para explicar dónde se encontraba esta dependencia.

El análisis de correspondencia (AC) es una herramienta estadística eficaz, que permite el análisis gráfico de los datos categóricos que se presentan como una tabla de contingencia de dos vías (es decir, de tabulaciones cruzadas) (Greenacre, 1984; Johnson y Wichern, 2002). El propósito principal de la técnica es producir una representación simplificada de la información contenida en una tabla grande de frecuencias de modo que un elevado número de datos cualitativos se pueden explorar a través de un mapa tridimensional. Una de las ventajas del AC sobre otros métodos, es su capacidad para permitir la representación gráfica simultánea de las relaciones entre las filas y columnas en un *biplot*, facilitando de esta manera el análisis y la detección de las relaciones, ya que otros enfoques multivariados para la representación gráfica de los datos no ofrecen esta dualidad.

El análisis de correspondencia es así una técnica geométrica para la visualización de las filas y columnas de una tabla de contingencia de dos vías como puntos en un espacio de pocas dimensiones, de tal manera que las posiciones de los puntos de fila y columna son consistentes con sus similitudes y las asociaciones en la tabla. El objetivo es tener una visión global de los datos, que es útil para su interpretación. Los puntos de fila con pequeñas distancias tienen perfiles similares (distribuciones condicionadas) a través de las columnas. Los puntos de columna con pequeñas distancias tienen perfiles similares (distribuciones condicionales) por las filas. Si un punto de fila está cerca de un punto de la columna, significa que tienen una relación de asociación, es decir, que se correlacionan y se espera que se presenten juntos con más frecuencia que si fueran independientes. Si dos perfiles son diferentes, se situarán a una distancia mayor uno del otro. Por lo tanto, el AC puede determinar cómo los perfiles dentro de una variable se corresponden entre sí, de manera que, si dos perfiles son diferentes, serán localizados a una distancia mayor. La salida del análisis de correspondencia incluye la mejor representación bidimensional de los datos, junto con las coordenadas de los puntos marcados, y una medida (llamada la inercia) de la cantidad de información explicada por cada dimensión. La inercia total es la suma ponderada de las distancias al cuadrado de los perfiles de fila (o columna), y de los perfiles al centroide.

Además, el análisis de correspondencia va acompañado de un análisis de Chi-cuadrado, cuyo propósito es determinar la independencia real de dos variables categóricas. Esta estadística mide la discrepancia entre las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas, si la hipótesis nula de independencia es la correcta.

La prueba de diferencia de proporciones fue empleada para evaluar las diferencias en las frecuencias de las *minutiae* entre áreas (dentro y fuera del círculo) y entre sexos, y el AC para valorar su asociación por dedo, por tipo de patrón y población. Es importante señalar que, en los AC, para una mejor visualización de los resultados, algunas *minutiae* como las trifurcaciones (TFB o TFC) o las M (MB y MC), entre otras que presentaban frecuencias muy bajas, se han dejado fuera del gráfico y se han colocado en la periferia. Estas *minutiae* son las que presentan valores atípicos, es decir, están lejos de todos los demás puntos y del centro de los ejes, (lo que indica una clara desviación de lo que cabría esperar bajo la independencia completa). De esta manera, se visualizan mejor las relaciones entre el resto de *minutiae*.

Los resultados obtenidos fueron comparados estadísticamente con los publicados para una muestra española (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011) y otra argentina (Rivaldería *et al.*, 2017).

Capítulo 3

RESULTADOS

3.1. Tipos de figura principal en relación a los dedos

En la figura 20 se muestran las frecuencias observadas por sexo y dedo para el tipo de figura principal. En la figura 21A se muestra la frecuencia encontrada para los tipos de figura principal por dedos en la muestra total, al no haberse encontrado diferencias significativas en las frecuencias presentadas por sexos. Se puede observar que los dedos homólogos presentan una distribución similar respecto a la frecuencia de los tipos de figura principal. La presilla ulnar fue el tipo de figura más frecuente en todos los dedos excepto en el pulgar derecho, siendo sus frecuencias superiores al 70% en los dedos medios y meñiques (D3-D8 y D5-D10). Las frecuencias más altas de torbellinos las presentaron los dedos pulgares y anulares (D1-D6 y D4-D9), mientras que en los dedos índices (D2-D7) se encontró la mayor frecuencia de arcos y presillas radiales, situada en torno al 13%.

El análisis de correspondencias entre los tipos de figuras principales y los diez dedos (figura 21B), mostró una asociación significativa ($\chi^2=393,45$; $g1=27$ $p<0,001$). Las dos dimensiones del análisis explican el 98,51% de la inercia encontrada. La primera dimensión explica el 57,17% de la inercia y separa los dedos que presentan presillas ulnares, del resto de dedos. La segunda dimensión explica el 41,34% de la inercia y separa los dedos asociados a torbellinos del resto de los dedos. Así, los dedos pulgares (D1-D6) y anulares (D4-D9) se asocian significativamente con los torbellinos; los dedos meñiques (D5-D10) y los medios (D3-D8) con las presillas ulnares; y los dedos índices (D2-D7) se asocian con los arcos y las presillas radiales.

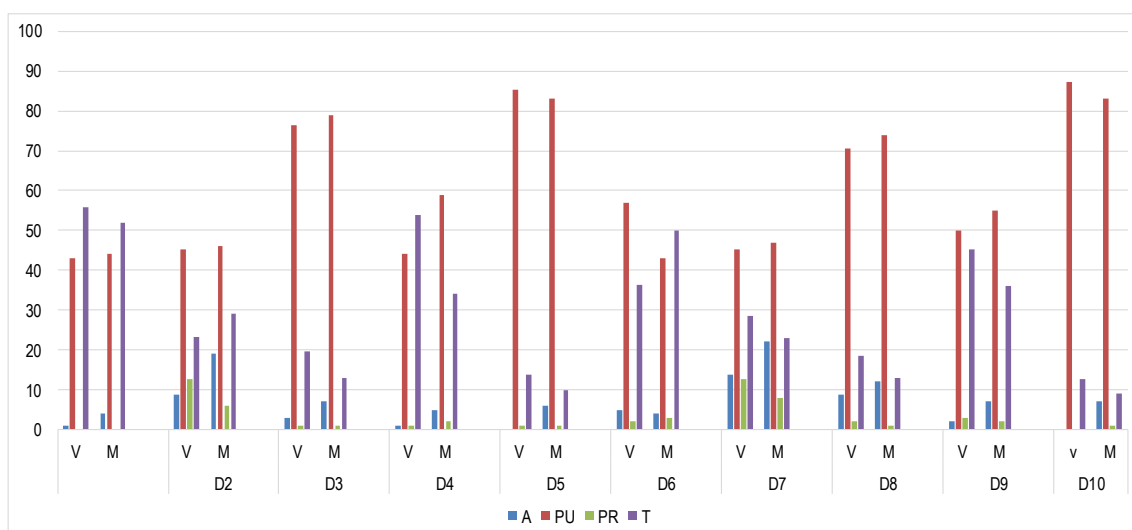


Figura 20. Frecuencias relativas por sexo (V. varones, M: mujeres) y dedo para los cuatro tipos de figura principal valorados (A: arcos, PU: presillas ulnares, PR: presillas radiales, T: torbellino).

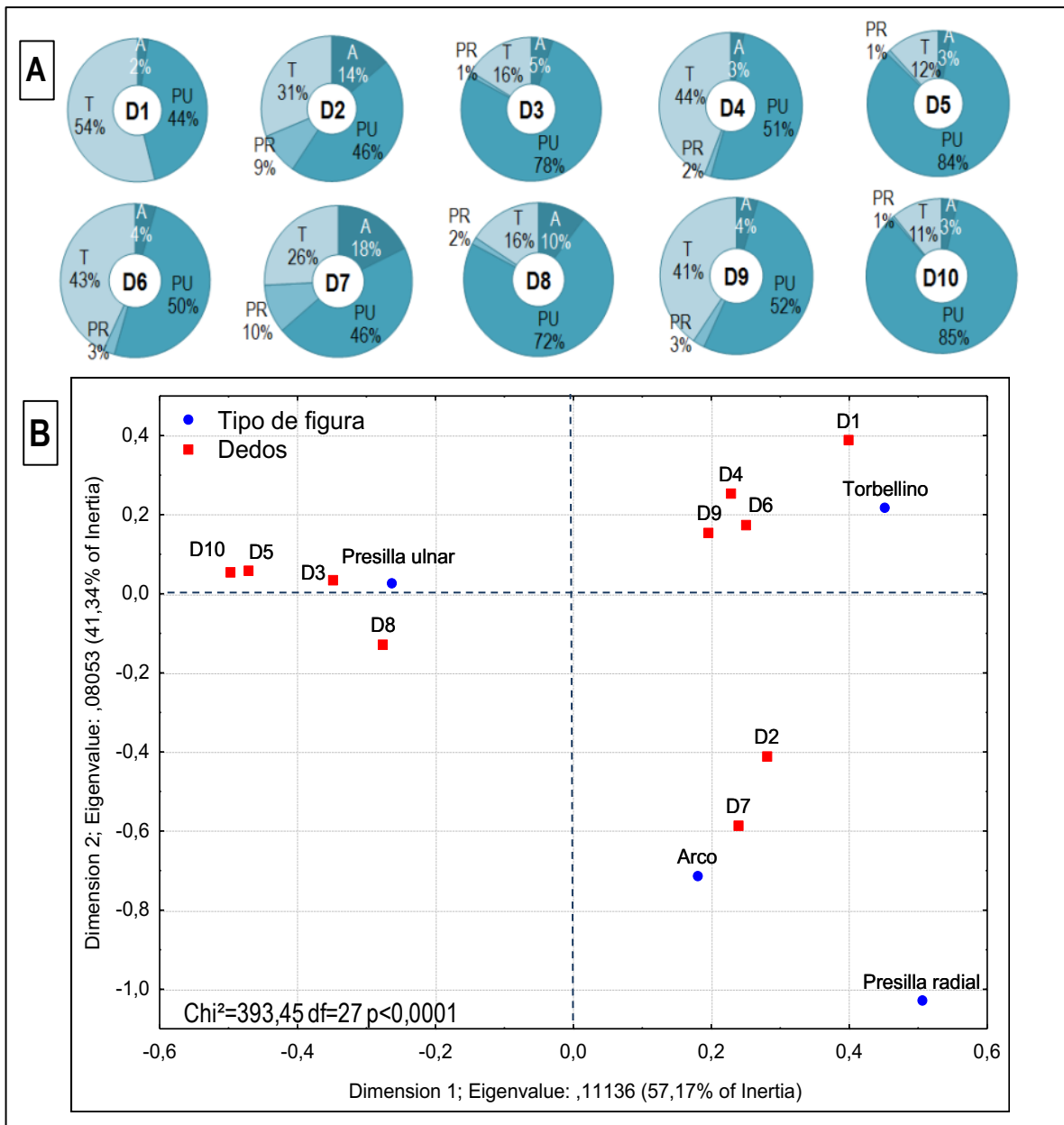


Figura 21. A) Frecuencias del tipo de figura para todos los dedos (Dedos 1-5, mano derecha; Dedos 6-10, mano izquierda). B) Análisis de correspondencias significativo entre el tipo de figura principal y los distintos dedos.

3.2. Variabilidad topológica, dactilar, bimanual y sexual de la densidad de crestas

3.2.1. Densidad de crestas por dedo, área y sexo

La media de la densidad de crestas de los diez dedos, en las tres áreas valoradas (ulnar, radial y proximal) y en ambos sexos, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.
Estadísticos descriptivos de la densidad de crestas por área y sexo.

	Varones			Mujeres			Total		
	Ulnar	Radial	Proximal	Ulnar	Radial	Proximal	Ulnar	Radial	Proximal
n	102	102	102	100	100	100	202	202	202
Media	16,00	17,73	13,52	17,69	19,56	14,35	16,84	18,64	13,93
Desv. Estand	1,45	1,70	1,30	1,57	1,66	1,32	1,73	1,91	1,38
Mínimo	12,90	14,20	10,80	13,70	15,90	11,70	12,90	14,20	10,80
Máximo	19,70	21,50	18,10	22,20	23,90	18,00	22,20	23,90	18,10

La densidad de crestas fue significativamente mayor en el área radial respecto a la ulnar y, en conjunto, la zona distal presentó una mayor densidad que la proximal tanto para la muestra total ($\text{Chi}^2=370,139$; $\text{gl}=2$; $p<0,001$) como por sexos (varones: $\text{Chi}^2=179,215$; $\text{gl}=2$; $p<0,001$; mujeres: $\text{Chi}^2=191,080$; $\text{gl}=2$; $p<0,001$). La diferencia en el número de crestas entre varones y mujeres para el área ulnar fue de 1,69 crestas, para la radial de 1,83 y para la región proximal fue de 0,83 crestas (tabla 1). Además, las tres áreas presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sexos, siendo la densidad de crestas mayor en las mujeres que en los varones (tabla 2).

Tabla 2.
Comparación entre sexos de la densidad de crestas, por mano y área de recuento mediante la *t* de Student. V, varones; M, mujeres. D.T., desviación típica.

			N	MEDIA	D.T.	<i>t</i>	gl	<i>p</i>
MANO DERECHA	RADIAL	V	102	17.66	1.696	-7.464	200	< 0,001
		M	100	19.46	1.745			
	ULNAR	V	102	15.85	1.536	-6.936	200	< 0,001
		M	100	17.40	1.632			
	PROXIMAL	V	102	13.71	1.352	-4.202	200	< 0,001
		M	100	14.54	1.442			
MANO IZQUIERDA	RADIAL	V	102	17.80	1.841	-7.281	200	< 0,001
		M	100	19.67	1.799			
	ULNAR	V	102	16.15	1.499	-8.102	200	< 0,001
		M	100	17.98	1.711			
	PROXIMAL	V	102	13.32	1.417	-4.342	200	< 0,001
		M	100	14.16	1.340			
TOTAL	RADIAL	V	102	17.73	1.700	-7.762	200	< 0,001
		M	100	19.56	1.662			
	ULNAR	V	102	16.00	1.447	-7.950	200	< 0,001
		M	100	17.69	1.570			
	PROXIMAL	V	102	13.52	1.304	-4.519	200	< 0,001
		M	100	14.35	1.324			

La anchura media de las crestas fue obtenida dividiendo la diagonal sobre la que se realiza el recuento (7,07mm) entre el número medio de crestas. La anchura de cresta fue mayor, en ambos sexos, en la zona proximal que en las áreas distales (tabla 3).

Tabla 3.

Valores del grosor de crestas en milímetros por área y sexo.

	Grosor medio de crestas (mm)	
	Varones	Mujeres
Ulnar	0,44	0,40
Radial	0,40	0,36
Proximal	0,52	0,49

En la figura 22 se muestra la densidad de crestas media por sexo y mano. La distribución de densidad por área y sexo presentó el mismo patrón en ambas manos. Tanto en la mano derecha como en la izquierda, y en ambos sexos, la mayor densidad, y así las crestas más finas, se encontraron en la parte distal, dentro de la cual, el área radial presentó siempre una mayor densidad, siendo estas diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$). De forma similar, en ambos sexos, tanto el área ulnar como la radial presentaron mayor densidad de crestas en la mano izquierda, aunque estas diferencias sólo fueron significativas para el área ulnar (varones $p = 0,002$ y mujeres $p < 0,001$). Por el contrario, en el área proximal, la densidad de crestas fue significativamente mayor en la mano derecha (varones $p < 0,001$ y mujeres $p < 0,001$) (Tabla 4). En ambas manos, las diferencias para cada una de las áreas fueron significativas entre los sexos ($p < 0,001$), presentando siempre las mujeres las mayores densidades por área, y así crestas más finas (tabla 2).

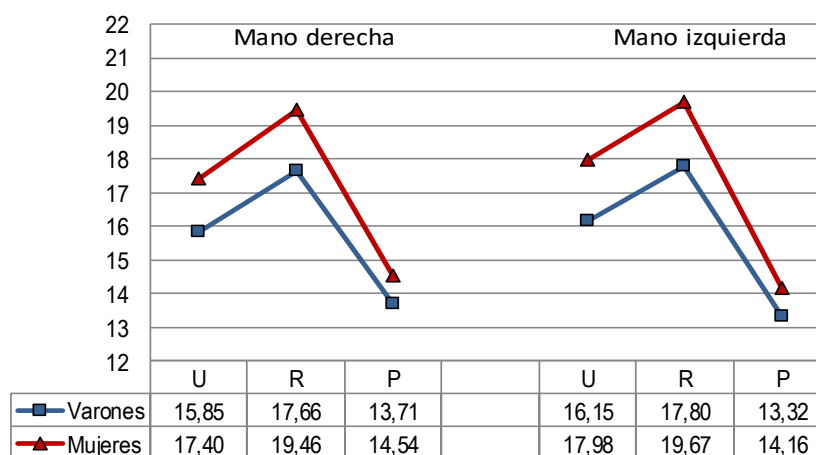


Figura 22. Densidad de crestas media por mano (derecha e izquierda), área (U: ulnar; R: radial; P: proximal) y sexo.

Tabla 4.

Comparación bimanual (D, derecha; IZ, izquierda) por sexo, para la densidad de crestas media en cada área de recuento (ulnar, radial y proximal). Test *t* de Student para muestras relacionadas. D.T., desviación típica.

			N	MEDIA	D.T.	<i>t</i>	gl	<i>p</i>
VARONES	RADIAL	D	102	17.66	1.696	-1.481	101	0.142
		IZ	102	17.80	1.841			
	ULNAR	D	102	15.85	1.536	-3.267	101	0.002
		IZ	102	16.15	1.499			
	PROXIMAL	D	102	13.71	1.352	4.218	101	< 0,001
		IZ	102	13.32	1.417			
MUJERES	RADIAL	D	100	19.46	1.745	-1.642	99	0.104
		IZ	100	19.67	1.799			
	ULNAR	D	100	17.40	1.632	-5.073	99	< 0,001
		IZ	100	17.98	1.711			
	PROXIMAL	D	100	14.54	1.442	4.364	99	< 0,001
		IZ	100	14.16	1.340			

En la tabla 5 se muestran los estadísticos descriptivos para el recuento de crestas por área, sexo y dedos, representándose, para una mejor visualización de los resultados en la figura 23 las medias de recuento. Al analizar los datos se observó que las mujeres presentaron significativamente mayor número de crestas en todos los dedos y en todas las áreas valoradas que los varones (tabla 6).

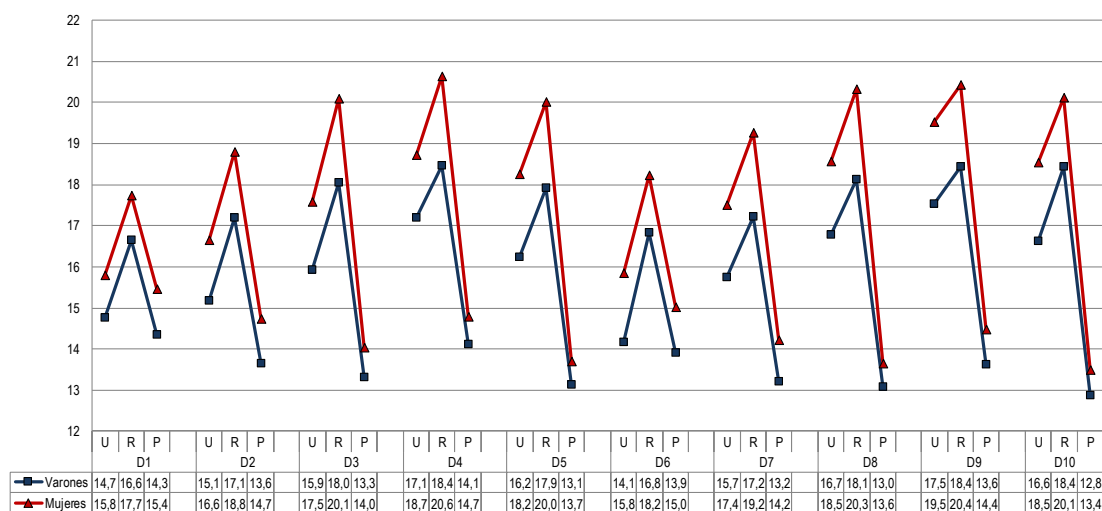


Figura 23. Densidad de crestas media por área, dedo (D= 1,...,10) y sexo. Áreas: U: ulnar; R: radial; P: proximal.

Tabla 5.

Estadísticos descriptivos de la densidad de crestas (DC) por dedo, área de recuento y sexo. D1...D5, dedos de la mano derecha; D6...D10, dedos de la mano izquierda; R, radial; U, ulnar; P, proximal; D.T., desviación típica.

DEDO	ÁREA	VARONES			MUJERES		
		N	MEDIA	D.T.	N	MEDIA	D.T.
D1	R	101	16.65	2.225	100	17.72	2.327
	U	102	14.75	1.669	100	15.80	1.803
	P	102	14.35	1.733	100	15.46	1.778
D2	R	101	17.19	2.009	99	18.80	1.974
	U	101	15.17	1.975	100	16.65	1.961
	P	101	13.63	1.684	100	14.73	1.797
D3	R	102	18.05	2.136	100	20.10	2.298
	U	102	15.91	1.888	100	17.59	2.198
	P	102	13.30	1.801	100	14.02	1.859
D4	R	102	18.46	2.276	100	20.64	2.443
	U	102	17.19	2.215	100	18.71	2.226
	P	101	14.11	1.939	100	14.77	2.174
D5	R	102	17.91	1.961	100	20.02	2.000
	U	102	16.24	1.809	100	18.24	1.965
	P	102	13.13	1.767	100	13.70	1.972
D6	R	102	16.83	2.430	100	18.23	2.064
	U	102	14.16	1.693	100	15.83	2.020
	P	102	13.90	1.668	100	15.01	1.744
D7	R	102	17.23	2.101	100	19.25	2.129
	U	102	15.74	1.694	100	17.49	2.067
	P	101	13.21	1.693	100	14.20	1.837
D8	R	102	18.12	2.154	100	20.32	2.378
	U	102	16.76	2.098	100	18.56	2.100
	P	102	13.08	1.933	100	13.65	1.635
D9	R	101	18.44	2.418	99	20.43	2.365
	U	101	17.52	2.003	99	19.52	2.269
	P	101	13.60	1.929	99	14.46	1.853
D10	R	102	18.42	2.218	100	20.12	2.358
	U	102	16.61	1.730	99	18.54	2.196
	P	101	12.85	2.037	97	13.48	1.937

Tabla 6.

Comparación entre sexos de la densidad de crestas media por dedo y área de recuento mediante el test *t* de Student para muestras independientes.

MANO DERECHA					MANO IZQUIERDA				
Dedo	Área	t	gl	p	Dedo	Área	t	gl	p
D1	R	-3,321	199,00	0,001	D6	U	-6,384	200,00	< 0,001
	U	-4,316	200,00	< 0,001		R	-4,399	200,00	< 0,001
	P	-4,482	200,00	< 0,001		P	-4,616	200,00	< 0,001
D2	R	-5,716	198,00	< 0,001	D7	U	-6,605	200,00	< 0,001
	U	-5,336	199,00	< 0,001		R	-6,802	200,00	< 0,001
	P	-4,464	199,00	< 0,001		P	-3,982	199,00	< 0,001
D3	R	-6,571	200,00	< 0,001	D8	U	-6,078	199,91	< 0,001
	U	-5,825	200,00	< 0,001		R	-6,902	200,00	< 0,001
	P	-2,781	200,00	0,006		P	-2,267	200,00	0,024
D4	R	-6,56	200,00	< 0,001	D9	U	-6,579	198,00	< 0,001
	U	-4,876	199,88	< 0,001		R	-5,907	198,00	< 0,001
	P	-2,276	199,00	0,024		P	-3,218	197,92	0,002
D5	R	-7,564	199,68	< 0,001	D10	U	-6,923	199,00	< 0,001
	U	-7,547	200,00	< 0,001		R	-5,271	198,69	< 0,001
	P	-2,174	200,00	0,031		P	-2,239	196,00	0,026

La comparación topológica de las áreas, en cada uno de los dedos, mostró que el área radial presentaba significativamente más densidad de crestas que la ulnar (tabla 7). Los dedos pulgares e índices (D1-D6 y D2-D7), en ambos sexos, presentan menor densidad de crestas en las áreas distales (radial y ulnar) que los otros dedos, medios, anulares y meñiques (D3-D8, D4-D9 y D5-D10), lo cual implica la presencia de crestas más gruesas en estos dedos. El orden de incremento del número de crestas para las áreas distales, ulnar y radial, en ambos sexos es: pulgares < índices < medios = meñiques < anulares.

Tabla 7.

Comparación entre las dos áreas de recuento distal (radial y ulnar) en cada dedo mediante la prueba Wilcoxon para dos muestras relacionadas. D1...D5, dedos de la mano derecha; D6...D10, dedos de la mano izquierda.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
VARONES										
Z	-6,631	-6,631	-7,452	-5,313	-6,810	-7,282	-6,006	-5,727	-4,025	-6,704
p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
MUJERES										
Z	-6,132	-6,132	-7,349	-6,328	-6,406	-7,108	-6,677	-6,713	-3,683	-6,091
p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Del mismo modo, el área proximal, en todos los dedos, mostró densidades significativamente menores que la región distal (tabla 8) presentando así crestas más anchas. En éste área, fueron los dedos pulgares (D1 y D6) los que presentaron una densidad de crestas mayor, siendo estos dígitos los que tienen las crestas significativamente más finas en la región proximal para ambos sexos.

Tabla 8.

Comparación entre las tres áreas de recuento (radial, ulnar y proximal) en cada dedo mediante la prueba de Friedman para muestras relacionadas. D1...D5, dedos de la mano derecha; D6...D10, dedos de la mano izquierda.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
VARONES										
χ^2	58,372	118,550	138,604	119,339	161,828	86,968	126,149	137,973	132,390	159,375
gl	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
MUJERES										
χ^2	50,608	132,055	160,271	141,486	162,714	98,741	151,435	174,853	144,280	166,249
gl	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

La densidad de crestas está positiva y significativamente relacionada entre las tres áreas, de modo que individuos que tengan una elevada densidad en una de las áreas, presentan también una elevada densidad en las otras dos áreas.

En la tabla 9 se muestra la significación de las diferencias para la densidad de crestas media entre todos los dedos, comparados dos a dos, en las áreas ulnar y radial, para ambos sexos. Los resultados indicados en color azul para varones y en rojo para mujeres, muestran la existencia de numerosas diferencias significativas entre los distintos dedos en ambas áreas distales. Por ejemplo, el dedo índice derecho (D2) presenta, para el área ulnar, en ambos sexos, diferencias significativas con todos los dedos. En el área radial, sin embargo, el mismo dedo (D2) presentó diferencias significativas con todos los dedos excepto con el pulgar izquierdo (D6) en varones y con el índice izquierdo (D7) en ambos sexos. Además, el área ulnar presentó mayor número de diferencias significativas entre los dedos que el área radial.

Tabla 9.

Diferencias significativas para la media de densidad de crestas entre los dedos, comparados dos a dos, para las áreas ulnar y radial en ambos sexos (azul, varones y rojo, mujeres). * $p < 0,05$; valor si $p > 0,05$.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	
D1		*	*	*	*	0,815	*	*	*	*	
D2	*		*	*	*	*	*	*	*	*	
D3	*	*		*	*	*	0,227 0,595	*	*	*	
D4	*	*	0,062		*	*	*	*	0,126	*	
D5	*	*	0,355 0,536	*		*	*	0,375 0,088	*	0,303 0,142	
D6	0,659 *	0,190 *	*	*	*		*	*	*	*	
D7	*	0,975 0,072	*	*	*	0,101 *		*	*	*	
D8	*	*	0,626 0,339	0,112 0,106	0,320 0,149	*	*		*	0,383 0,589	
D9	*	*	0,056 0,096	0,912 0,354	0,073	*	*	0,119 0,678		*	
D10	*	*	0,065 0,774	0,931 *	0,756	*	*	0,095 0,404	0,885 0,081		
RADIAL											

3.2.2. Inferencia sexual. Estimaciones *likelihood ratio* (LR)

La distribución de la frecuencia de densidad de crestas para la media de los 10 dedos, en ambos sexos, se muestra en la figura 24.

En la muestra estudiada observamos que la variación del número de crestas queda limitada dentro de un rango pequeño de variación, pues de las 2.020 huellas analizadas, no se encontraron recuentos menores de 10 crestas/7,07mm ni mayores de 24 crestas/7,07mm. El rango de variación de las crestas epidérmicas en la región distal fue de entre 12 y 24 crestas/7,07mm, siendo mayor que el de la región proximal, donde el rango fue de entre 10 y 20 crestas/7,07mm.

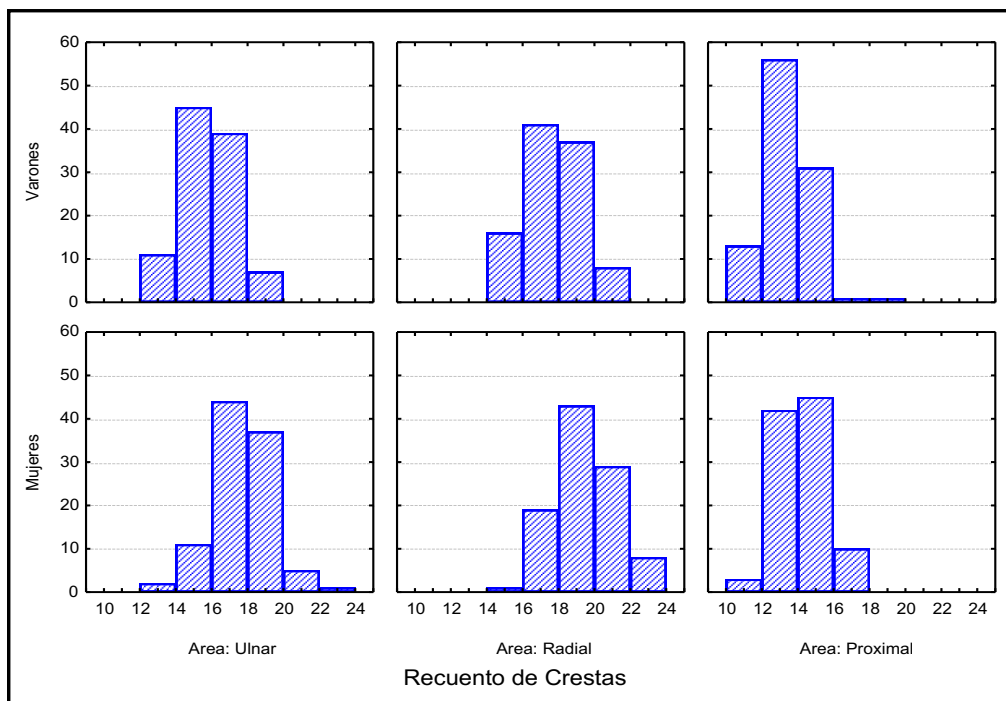


Figura 24. Distribución de las frecuencias en la densidad de crestas para ambos sexos.

Con las frecuencias relativas de la densidad de crestas se ha calculado la probabilidad de ser varón, supuesto que tiene una determinada densidad de crestas $P(DC|C)$, y la de ser mujer supuesta una determinada densidad de crestas $P(DC|C')$, donde DC es la densidad de crestas y C varones; C' mujeres. Este análisis basado en el teorema de Bayes, permite identificar, dada una densidad de crestas, el sexo más probable para un número concreto de crestas por unidad de área (tablas 10, 11 y 12). Teniendo en cuenta que las probabilidades *a posteriori* dependen de las probabilidades *a priori*, éstas han sido estimadas para $P(C) = P(C') = 0,5$ y para $P(C) = 0,7$ y $P(C') = 0,3$.

Para el área radial, como queda reflejado en la tabla 10, en el caso de una probabilidad *a priori* igual para ambos sexos, $P(C) = 0,5$ y $P(C') = 0,5$, el valor discriminante se sitúa entre 17-18 crestas/7,07mm. Se podría entonces inferir que una densidad igual o menor a 17 crestas/7,07mm indicaría una mayor probabilidad de que esta huella fuera de un individuo masculino, mientras que un recuento de 18 crestas/7,07mm o más, sugeriría un posible origen femenino. Sin embargo, en el caso de una probabilidad *a priori* de $P(C) = 0,7$ y $P(C') = 0,3$, el umbral se sitúa entre 19 y 20 crestas/7,07mm para el área radial, y las probabilidades también varían.

Tabla 10.

Probabilidad de la densidad de crestas y su diferenciación sexual en el área radial (C: varones; C': mujeres).

ÁREA RADIAL							
Densidad de crestas	Probabilidad de Densidad		LR	Probabilidad favorable			
(RD)	Varones P(RD/C)	Mujeres P(RD/C')	P(RD/C) / P(RD/C')	P(C)=0,5 P(C/RD)	P(C')=0,5 P(C'/RD)	P(C)=0,7 P(C/RD)	P(C')=0,3 P(C'/RD)
15	0,137	0,010	13,73	Varones (0,93)	> Mujeres (0,07)	Varones (0,97)	> Mujeres (0,03)
16	0,235	0,050	4,71	Varones (0,82)	> Mujeres (0,18)	Varones (0,92)	> Mujeres (0,08)
17	0,176	0,110	1,60	Varones (0,62)	> Mujeres (0,38)	Varones (0,79)	> Mujeres (0,21)
18	0,176	0,190	0,93	Varones (0,48)	< Mujeres (0,52)	Varones (0,68)	> Mujeres (0,32)
19	0,196	0,240	0,82	Varones (0,45)	< Mujeres (0,55)	Varones (0,66)	> Mujeres (0,34)
20	0,078	0,400	0,20	Varones (0,16)	< Mujeres (0,84)	Varones (0,31)	< Mujeres (0,69)

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos para el área ulnar. El concepto es el mismo que el anterior, pero varían las densidades de crestas discriminantes por unidad de área. En el caso de probabilidades *a priori* iguales tanto para varones como para mujeres (0,5), una densidad igual o menor a 15 crestas/7,07mm indicaría una mayor probabilidad de que esta huella perteneciese a un individuo masculino, mientras que un recuento de 18 crestas/7,07mm o más, sugeriría un posible origen femenino para la zona ulnar. Pero si las condiciones *a priori* cambian, y la probabilidad de los sexos no es igual, sino que es más probable uno que otro, como ocurre en el ámbito de la delincuencia, en donde hay mayor probabilidad de que el delincuente sea del sexo masculino, las probabilidades *a posteriori* cambian también. Así, en una situación de probabilidad *a priori* superior para los varones, por ejemplo ($P(C) = 0,7$ y $P(C') = 0,3$) el umbral discriminante estaría ubicado en 17-18 crestas/7,07mm.

Tabla 11.

Probabilidad de la densidad de crestas y su diferenciación sexual en el área ulnar (C: varones; C': mujeres).

ÁREA ULNAR									
Densidad de crestas	Probabilidad de Densidad		LR	Probabilidad favorable					
(RD)	Varones P(RD/C)	Mujeres P(RD/C')	P(RD/C) / P(RD/C')	P(C)=0,5 P(C/RD)	P(C')=0,5 P(C'/RD)	P(C)=0,7 P(C/RD)	P(C')=0,3 P(C'/RD)		
15	0,520	0,120	4,33	Varones (0,81)	>	Mujeres (0,19)	Varones (0,91)	>	Mujeres (0,09)
16	0,196	0,200	0,98	Varones (0,50)	>	Mujeres (0,50)	Varones (0,70)	>	Mujeres (0,30)
17	0,216	0,220	0,98	Varones (0,50)	>	Mujeres (0,50)	Varones (0,70)	>	Mujeres (0,30)
18	0,029	0,240	0,12	Varones (0,11)	<	Mujeres (0,89)	Varones (0,22)	>	Mujeres (0,78)
19	0,039	0,140	0,28	Varones (0,22)	<	Mujeres (0,78)	Varones (0,40)	>	Mujeres (0,60)
20	0,000	0,080	0,00	Varones (0,00)	<	Mujeres (1,00)	Varones (0,00)	<	Mujeres (1,00)

Por último, en la tabla 12 se observan los resultados correspondientes al área proximal, donde el umbral de discriminación del sexo por densidad de crestas con probabilidades *a priori* iguales para ambos sexos, $P(C) = 0,5$ y $P(C') = 0,5$, se ubica en 13-14 crestas/7,07mm, pero en cambio, se observa que el umbral de discriminación se ubica en 15-16 crestas/7,07mm cuando la probabilidad *a priori* es superior para los varones ($P(C) = 0,7$ y $P(C') = 0,3$).

Tabla 12.

Probabilidad de la densidad de crestas y su diferenciación sexual en el área proximal (C: varones; C': mujeres).

ÁREA PROXIMAL									
Densidad de crestas	Probabilidad de Densidad		LR	Probabilidad favorable					
(RD)	Varones P(RD/C)	Mujeres P(RD/C')	P(RD/C) / P(RD/C')	P(C)=0,5 P(C/RD)	P(C')=0,5 P(C'/RD)	P(C)=0,7 P(C/RD)	P(C')=0,3 P(C'/RD)		
11	0,118	0,030	3,92	Varones (0,80)	>	Mujeres (0,20)	Varones (0,90)	>	Mujeres (0,10)
12	0,196	0,120	1,63	Varones (0,62)	>	Mujeres (0,38)	Varones (0,79)	>	Mujeres (0,21)
13	0,353	0,280	1,26	Varones (0,56)	>	Mujeres (0,44)	Varones (0,75)	>	Mujeres (0,25)
14	0,206	0,230	0,90	Varones (0,47)	<	Mujeres (0,53)	Varones (0,68)	>	Mujeres (0,32)
15	0,098	0,210	0,47	Varones (0,32)	<	Mujeres (0,68)	Varones (0,52)	>	Mujeres (0,48)
16	0,029	0,130	0,23	Varones (0,18)	<	Mujeres (0,82)	Varones (0,35)	<	Mujeres (0,65)

3.3. Variabilidad de los diferentes tipos de *minutiae*.

3.3.1 Variabilidad individual y sexual por áreas

Una clasificación de 21 tipos diferentes de *minutiae* fue empleada para localizar, identificar y cuantificar las frecuencias de las mismas, sobre dos áreas del dactilograma, dentro y fuera de un círculo diseñado según lo indicado en la sección de Material y Métodos. Los tipos valorados fueron, A: abrupta (Ai: inicial y Af: final), B: bifurcación, C: convergencia, FG: fragmento grande, FP: fragmento pequeño, I: interrupción, OG: ojal grande, OP: ojal pequeño, PE: punto entre crestas, PD: punto dentro de crestas, D: desviación, T: transversal, E: empalme, S: secante, CU: cuña, TFB: trifurcación bifurcante, TFC: trifurcación convergente, MB: M bifurcante, MC: M convergente, VI: vuelta insólita. Todos los tipos fueron encontrados, en las dos áreas y en los diez dedos, excepto la vuelta insólita (VI), de la cual no fue registrado ningún caso.

El total de *minutiae* cuantificado sobre la superficie total de los dactilogramas fue de 176.961, de las cuales, en el área central comprendida dentro del círculo, se localizaron e identificaron 60.506, mientras que, en la periferia, fuera del círculo, el número de las *minutiae* halladas fue de 116.455, siendo el número de minucias mayor en los varones que en las mujeres (tabla 13).

Tabla 13.

Número total de *minutiae* localizadas sobre las áreas del dactilograma por sexo.

	Dentro	Fuera	Total
Varones	31.798	62.175	93.973
Mujeres	28.708	54.28	82.988
Totales	60.506	116.455	176.961

La frecuencia relativa para cada uno de los diferentes tipos de *minutiae* valorados, por sexo, en ambas áreas, dentro y fuera del círculo, y sobre la superficie total de la impresión son mostradas en tabla 14 y en las figuras 25 y 26. Como puede observarse en la tabla 14, tanto para el total de la muestra como por sexos, las abruptas (A) presentaron una significativamente más alta frecuencia que el resto de *minutiae* (variando entre 40,45% y 50,37%), seguidas de las bifurcaciones (B) y convergencias (C) (variando entre 21,08% y 25,33%). El resto de *minutiae* presentaron frecuencias

significativamente más bajas, como los fragmentos pequeños (FP), los ojales pequeños (OP) y empalmes (E) cuyas frecuencias variaron entre 1,12% y 2,42%, seguidas del resto de tipos de *minutiae* que mostraron frecuencias considerablemente más bajas todavía. La distribución de la frecuencia presentadas por los diferentes tipos de *minutiae* en la población analizada, reveló la no-equiprobabilidad de las mismas ($p < 0.01$).

Tabla 14.
Frecuencias relativas de los tipos de *minutiae* por sexo y área

	Total			Hombre			Mujer		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
A	42.12	48.03	46.01	43.63	50.37	48.09	40.45	45.34	43.65
B	24.86	21.48	22.63	24.43	19.80	21.36	25.33	23.41	24.07
C	23.95	22.63	23.08	21.97	21.08	21.38	26.15	24.41	25.01
FG	0.58	0.61	0.60	0.73	0.76	0.75	0.42	0.44	0.44
FP	2.17	2.00	2.05	2.42	2.19	2.27	1.89	1.78	1.81
I	0.42	0.45	0.44	0.63	0.59	0.61	0.20	0.29	0.25
OG	0.58	0.24	0.36	0.72	0.29	0.44	0.43	0.18	0.26
OP	1.30	0.57	0.82	1.25	0.55	0.79	1.34	0.59	0.85
PE	0.54	0.29	0.38	0.72	0.38	0.49	0.35	0.20	0.25
PD	0.05	0.04	0.04	0.08	0.06	0.07	0.02	0.01	0.02
D	0.98	1.33	1.21	1.10	1.46	1.34	0.85	1.18	1.07
T	0.67	1.26	1.06	0.69	1.46	1.20	0.65	1.03	0.90
E	1.40	0.82	1.02	1.25	0.77	0.93	1.56	0.88	1.12
S	0.25	0.17	0.19	0.26	0.15	0.19	0.23	0.18	0.20
CU	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07
TFB	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
TFC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
MB	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
MC	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
VI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A: abrupta, B: bifurcación, C: convergencia, FG: fragmento grande, FP: fragmento pequeño, I: interrupción, OG: ojal grande, OP: ojal pequeño, PE: punto entre crestas, PD: punto dentro de crestas, D: desviación, T: transversal, E: empalme, S: secante, CU: cuña, TFB: trifurcación bifurcante, TFC: trifurcación convergente, MB: M bifurcante, MC: M convergente, VI: vuelta insólita.

En cuanto a la distribución de los diferentes tipos de *minutiae* sobre el área del dactilograma en la muestra de población mexicana, se observa que la frecuencia de abruptas (A) es más alta en el área de la periferia (fuera del círculo) que en el área central (dentro del círculo), tanto en el total de la muestra, como en cada uno de los sexos. En contraste, las bifurcaciones (B) y convergencias (C) presentaron una mayor frecuencia dentro del círculo que en la periferia, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) (figura 25).

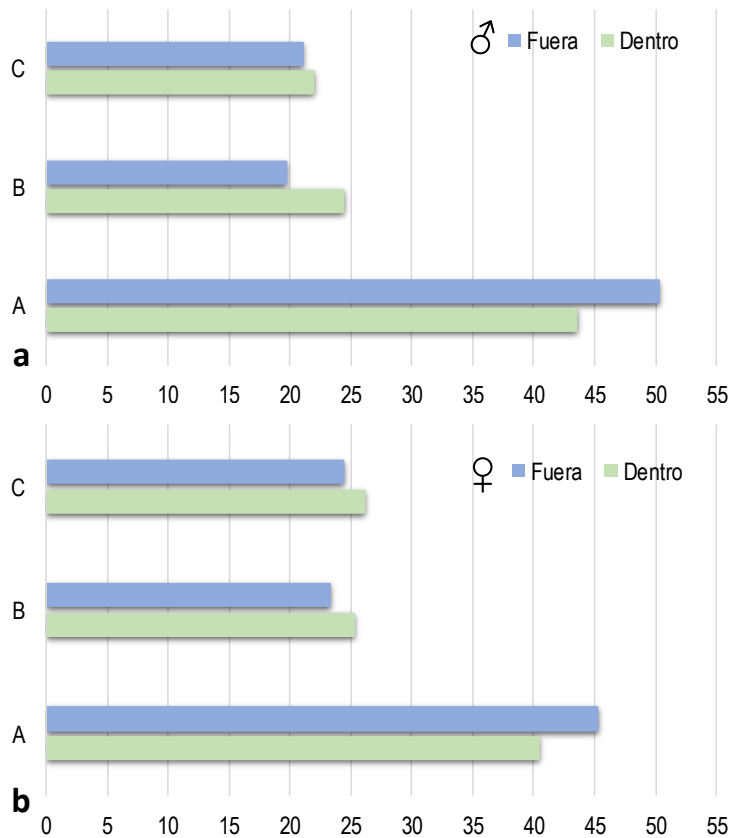


Figura 25. Frecuencias relativas por área (dentro y fuera del círculo) para las abruptas (A), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por sexo (a) varones (b) mujeres.

En la figura 26 se muestran, para ambos los sexos, las frecuencias relativas halladas para los tipos de *minutiae* con frecuencias más bajas respecto a abruptas, bifurcaciones y convergencias, ordenadas de mayor a menor frecuencia de aparición sobre área central del dactilograma (dentro del círculo). El tipo de minucia más frecuente en ambos sexos, tanto dentro como fuera del círculo, fue el fragmento pequeño (FP), que presentó mayores frecuencias en los varones y, en ambos sexos, frecuencias más altas dentro del círculo; los ojales pequeños (OP) fueron los siguientes en la frecuencia de aparición en los varones, seguidos de los empalmes (E), mientras que en las mujeres fue al revés, y en ambos sexos, ambas minucias presentaron mayores frecuencias también dentro del círculo. En cuanto a su distribución sobre el dactilograma, los fragmentos pequeños (FP), los ojales, grandes (OG) y pequeños (OP), los puntos entre crestas (PE), los puntos dentro de crestas (PD), los empalmes (E), las secantes (S), las trifurcaciones en sentido bifurcante (TFB), las M, tanto en sentido bifurcante (MB) como convergente (MC), presentaron en la muestra total y en ambos sexos, una mayor frecuencia de

aparición dentro del círculo que en su periferia. Mientras que, los fragmentos grandes (FG), las desviaciones (D) y las transversales (T) presentaron, tanto en la muestra total como en ambos sexos, mayor frecuencia fuera del círculo que dentro de él. Por otra parte, las interrupciones (I), las cuñas (CU) y las trifurcaciones en sentido convergente (TFC), presentaron una diferente distribución por sexo sobre el área del dactilograma. Así, las interrupciones (I) y trifurcaciones convergentes (TFC) fueron más frecuentes en la periferia del dactilograma que dentro del círculo, tanto en la muestra total como en las mujeres, mientras que en los varones ocurría lo contrario para las interrupciones (I), no encontrándose ninguna TFC para los varones. La cuña (CU) presentó frecuencias más altas dentro del círculo que en su periferia, tanto sobre el área total como en la muestra de varones, mientras que en la de mujeres ocurría lo contrario.

En la tabla 15 se puede observar, tanto para el total de la muestra como por sexo, las frecuencias relativas presentadas por los dos tipos de abruptas que, según su orientación, se clasifican en iniciales (A_i) y finales (A_f). En cuanto a la distribución de los dos tipos de abruptas sobre el área del dactilograma se observó que la frecuencia de abruptas iniciales (A_i) fue más alta en la periferia (fuera del círculo) tanto en el total de la muestra como en las mujeres, mientras que en los varones la frecuencia fue más alta en el área central (dentro del círculo). Sin embargo, la frecuencia de las abruptas finales (A_f) fue más alta en el área central (dentro del círculo) tanto para el total de la muestra como en las mujeres, siendo en los varones la frecuencia más alta en la periferia (fuera del círculo). La distribución de abruptas iniciales y finales presentó diferencias significativas en su distribución dentro y fuera del círculo para la muestra total y para la muestra de varones, mientras que en la muestra de mujeres sólo se encontraron diferencias significativas en su distribución topológica sobre el dactilograma para las abruptas iniciales (A_i) (tabla 16).

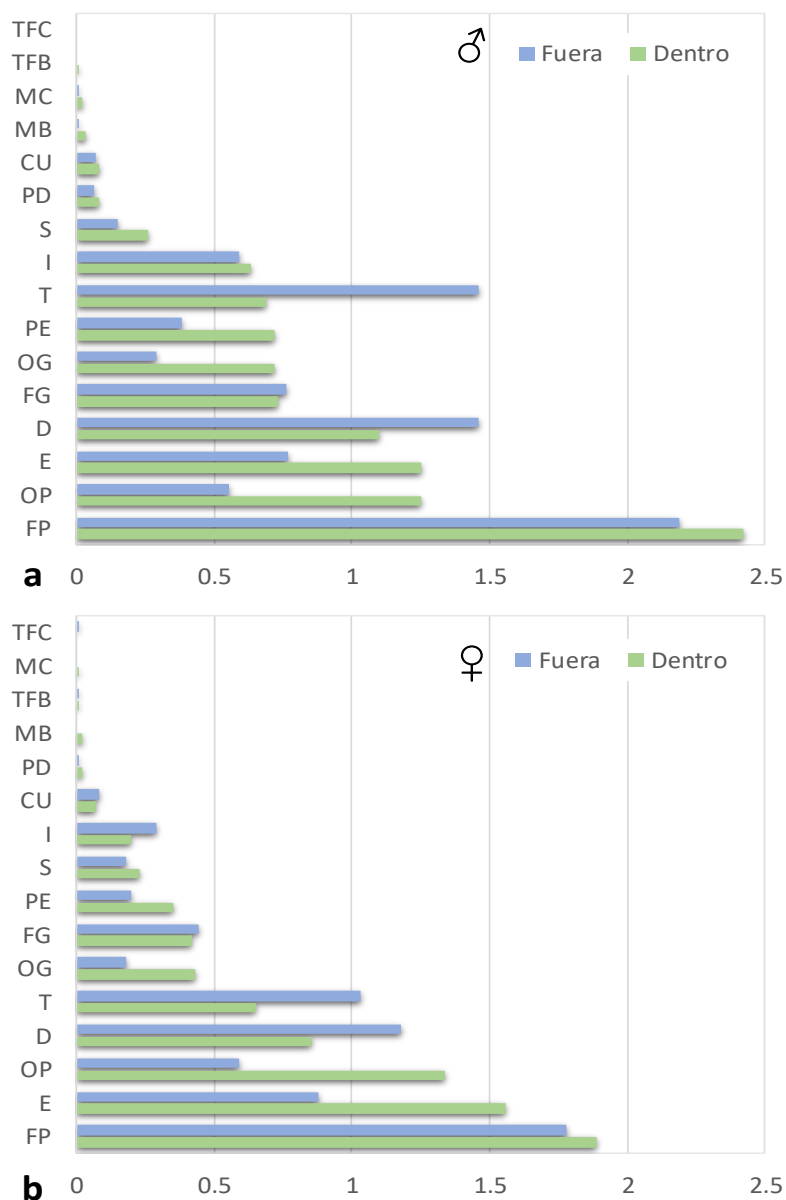


Figura 26. Frecuencias relativas por área (D: dentro, F: fuera el círculo) de los tipos de *minutiae* de baja frecuencia, en varones (a) y mujeres (b).

Tabla 15.

Frecuencias relativas sobre el total de abruptas, de los tipos iniciales(Ai) y finales(Af) por sexo y área

	Total			Hombre			Mujer		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	49.08	50.78	50.25	50.39	50.34	50.36	47.51	51.33	50.11
Af	50.92	49.22	49.75	49.61	49.66	49.64	52.49	48.67	49.89

Tabla 16.

Valores de significación ($p < 0,05$) encontradas entre la distribución de abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro y fuera del círculo para la muestra total y por sexos de los 10 dedos. n.s.: no significativo.

	Total (p-valor)	♂ (p-valor)	♀ (p-valor)
Ai	2.55572E-16	4.4465E-08	1.3536E-09
Af	1.01605E-06	5.03237E-08	n.s.
B	5.79135E-15	8.25657E-15	0.002173513
C	0.002421696	n.s.	0.005603785

La distribución de frecuencias entre el área central (dentro del círculo) y la periferia (fuera del círculo) presentó diferencias significativas para las abruptas, tanto iniciales (Ai) como finales (Af), convergencias y bifurcaciones en el total de la muestra, aunque la muestra de mujeres presento diferencias para Ai, B y C, mientras que en la muestra de varones las presentó para Ai, Af, y B (tabla 16). Para el resto de las minucias, no se encontraron diferencias significativas en relación a su distribución sobre el área del dactilograma.

También se encontraron diferencias significativas entre los sexos, en la distribución de las frecuencias por área (dentro y fuera del círculo), para las abruptas, tanto iniciales como finales, bifurcaciones y convergencias. Así, tanto las Ai como las Af presentaron diferencias sexuales significativas en la periferia de círculo y en el área total del dactilograma, mientras que dentro del círculo sólo las Ai presentaron diferencias sexuales significativas. Las bifurcaciones y convergencias presentaron diferencias sexuales tanto sobre el área total del dactilograma como en la periferia, pero dentro del círculo, sólo se encontraron diferencias significativas para las convergencias (tabla 17).

Tabla 17.

Diferencias significativas entre sexos, dentro y fuera del círculo, para los 10 dedos. n.s.: no significativo.

	Dentro (p-valor)	Fuera (p-valor)	Total (p-valor)
Ai	0.000159310	0.000047437	0.000000022
Af	n.s.	1.15236E-08	5.94197E-07
B	n.s.	4.17898E-12	9.68895E-11
C	4.45312E-09	1.05058E-10	3.5651E-18

La distribución de los diferentes tipos de *minutiae* fue significativamente dependiente del área del dactilograma valorada (dentro y fuera) del círculo y del sexo. Así, en la figura 27 se muestra el análisis de correspondencia obtenido, agrupando los valores para los diez dedos, en donde se muestra una asociación estadísticamente muy significativa entre las frecuencias presentadas por los diferentes tipos *minutiae*, y el sexo y área (dentro y fuera) del círculo ($\text{Chi}^2=2499,7$ $\text{df}=57$ $p<0,0001$). Las dos primeras dimensiones del análisis explican el 96.65% de la inercia encontrada, siendo la primera dimensión la que más explica con un 69.72% de la inercia. Esta primera dimensión separa a las mujeres (dentro y fuera del círculo) y a los varones dentro, de los varones fuera del círculo. La segunda dimensión, que explica el 26.93% de la inercia, separa las mujeres de los varones. Este análisis mostró una asociación de las huellas de las mujeres, tanto dentro como fuera del círculo, con las bifurcaciones (B) y convergencias (C), mientras que las huellas de los varones, dentro del círculo se asociaron con secantes (S), cuñas (CU), trifurcaciones bifurcantes (TFB), M bifurcantes (MB) y M convergentes (MC), ojales grandes (OG) y pequeños (OP); y fuera del círculo con las abruptas, tanto iniciales (Ai) como finales (Af), fragmentos grandes (FG) y pequeños (FP), desviaciones (D) y transversales (T).

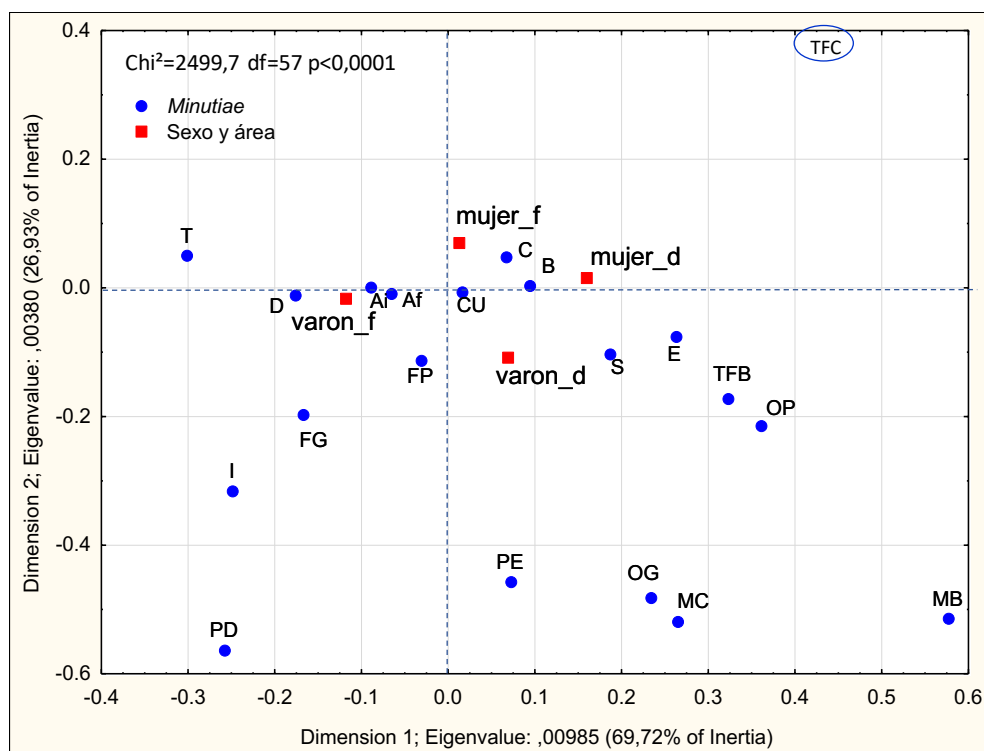


Figura 27. Análisis de Correspondencia entre los tipos de minucias, ambos sexos y áreas (dentro y fuera) del círculo para los 10 dedos.

3.3.2. Variabilidad dactilar y sexual por áreas

En el Anexo 1 se muestran las frecuencias encontradas para los diferentes tipos de *minutiae* valorados por dedo, área (dentro y fuera del círculo) y sexo (Anexo1: Tablas 1.1 a 1.10). En todos los dedos los tipos de *minutiae* más frecuentes fueron las abruptas (tanto iniciales como finales), las bifurcaciones y las convergencias, presentando el resto de *minutiae* frecuencias considerablemente más bajas. Algunos de los tipos de *minutiae* con frecuencias más bajas no fueron encontrados en todos los dedos. Así, la vuelta insólita (VI) no se encontró en ninguno de los dactilogramas valorados. La M en sentido bifurcante (MB) no fue encontrada ni en el dedo pulgar derecho (D1) ni el meñique izquierdo (D10), y la M en sentido convergente (MC) no fue encontrada en el anular derecho (D4). La trifurcación en sentido bifurcante (TFB) no se encontró en el pulgar derecho (D1) ni izquierdo (D6), tampoco en el dedo medio (D8) y meñique (D10) izquierdos, mientras que la trifurcación en sentido convergente (TFC) no se encontró en el dedo medio (D3) ni el meñique (D5) de la mano derecha, ni en ningún dedo de la mano izquierda, salvo en el dedo índice (D7). Las diferencias entre las frecuencias de los diferentes tipos de minucias dentro de cada dedo muestran la no equiprobabilidad de las mismas ($p < 0,05$).

Las frecuencias relativas obtenidos para los cuatro tipos de *minutiae* más frecuentes abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C), por área y dedo, en los varones se muestran en la figura 28, y para las mujeres en la figura 29. En cuanto a la distribución de los dos tipos de abruptas (Ai y Af) sobre el área central del dactilograma, en ambos sexos se observó que la frecuencia de Ai fue más alta en los dedos de la mano izquierda que en los dedos de la mano derecha, lo contrario ocurre con la Af. Del mismo modo, las bifurcaciones (B) presentaron una frecuencia más elevada en todos los dedos de la mano izquierda, mientras que las convergencias (C) fueron más frecuentes en los dedos de la mano derecha. La frecuencia más elevada de Ai la presentó el dedo pulgar izquierdo (D6) presentando las frecuencias más bajas los dedos medio (D3) y meñique (D5) de la mano derecha. Mientras que la frecuencia más alta de Af se presentó en el dedo pulgar de la mano derecha (D1), y la más baja se encontró en el dedo anular izquierdo (D9). La frecuencia más alta de bifurcaciones (B) se registró en el dedo anular izquierdo (D9) y la más baja en el pulgar derecho (D1), mientras que las convergencias presentaron la frecuencia más alta en el dedo medio

derecho (D3) y la más baja en el dedo pulgar izquierdo (D6). En la **periferia del dactilograma en la muestra de varones** se puede observar que las Ai presentaron la frecuencia más elevada en el pulgar izquierdo (D6) y la más baja en el meñique izquierdo (D10) en los varones y en anular izquierdo (D9) en las mujeres, presentando así mayores diferencias en la frecuencia observada entre los dedos de la mano izquierda, siendo sus frecuencias más semejantes entre los dedos de la mano derecha. Por el contrario, las Af presentaron la mayor frecuencia en el pulgar derecho (D1) y la más baja en el meñique derecho (D5) y así mayores diferencias entre los dedos de la mano derecha, mientras que sus frecuencias fueron más similares entre los dedos de la mano izquierda. Las bifurcaciones (B) presentaron la frecuencia más alta en el meñique derecho (D5) y la más baja en el pulgar derecho (D1) mientras que las convergencias (C) presentaron el mismo patrón, pero sobre la mano izquierda, mostrando así la mayor frecuencia sobre el dedo meñique izquierdo (D10) y la más baja sobre el pulgar izquierdo (D6) (figura 28 y 29).

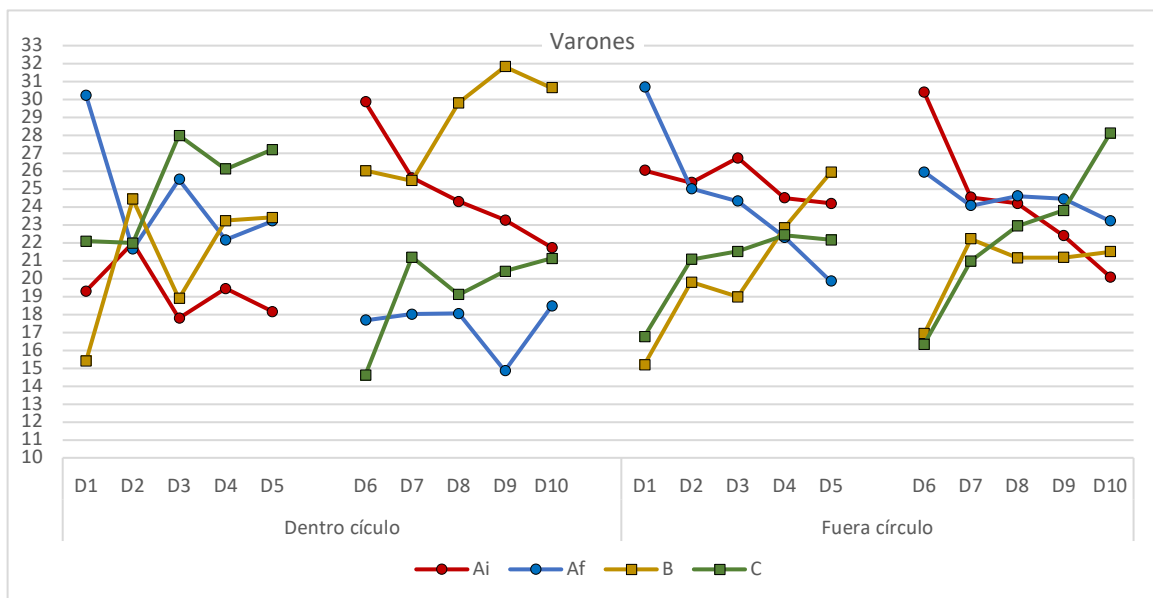


Figura 28. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por área (dentro y fuera del círculo) y dedo (D1,...D10) en la muestra de **varones**.

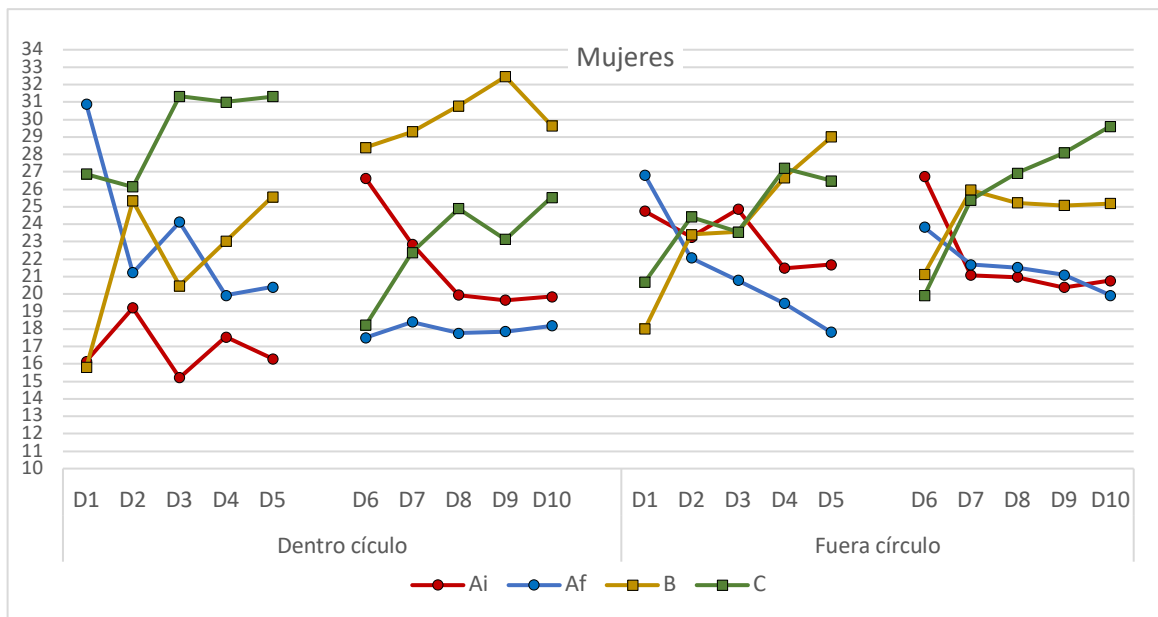


Figura 29. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por área (dentro y fuera del círculo) y dedo (D1,...D10) en la muestra de **mujeres**.

La distribución de las Ai dentro y fuera del círculo presentó diferencias estadísticamente significativas, tanto sobre la muestra total, como en cada uno de los sexos para todos los dedos de la mano derecha, excepto para el anular derecho (D4) en las mujeres, mientras que la distribución de Af presentó diferencias estadísticamente significativas, tanto sobre la muestra total, como en la de varones, en todos los dedos de la mano izquierda, pero sólo en el dedo índice de la mano derecha (D2). Sin embargo, la muestra de mujeres sólo presentó diferencias significativas para ambos pulgares (D1 y D6) (tabla 18). Las bifurcaciones presentaron diferencias significativas, tanto en la muestra total como en la de varones y mujeres en el pulgar (D6), medio (D8) y anular (D9) izquierdos, y en el dedo índice derecho (D2); en la muestra total para el índice izquierdo (D7), y en la total y en los varones para el meñique izquierdo (D10). Las convergencias (C) presentaron diferencias significativas, tanto en la muestra total como en los varones y mujeres, para los dedos pulgar (D1), medio (D3) y meñique (D5) de la mano derecha; en la muestra total y de mujeres en el índice derecho (D2) y en el anular izquierdo (D9); en la muestra total en el anular derecho (D4) y en el medio izquierdo (D8), y para la muestra total y la de varones en el meñique izquierdo (D10) (tabla 18).

Tabla 18.

Diferencias significativas de ambas mano del dedo 1 (D1,..., D10), para la muestra total (T), hombres (♂) y mujeres (♀). * $p \leq 0.05$, ** $p < 0.001$.

Muestra		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Ai	T	**	**	**	*	**					
	♂	**	**	**	*	*					
	♀	**	**	**		*					
Af	T		**				**	*	**	**	*
	♂		**				**	*	*	**	*
	♀	*					*				
B	T		**				**	*	**	**	**
	♂		**				**		**	**	**
	♀		*				**		*	**	
C	T	**	*	**	*	**			*	*	**
	♂	*		**		*					*
	♀	**	*	**		*				*	

Para la mejor visualización y comparación de los resultados entre los sexos, las frecuencias relativas para los cuatro tipos de *minutiae* más frecuentes, abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) por dedos (D1,...D10), se muestran en la figura 30 para el área dentro del círculo, y en la figura 31 para el área fuera del círculo. Como se puede observar en la figura 30, dentro del círculo, las Ai presentaron una frecuencia más elevada en los varones que en mujeres, tanto para los dedos de la mano derecha como de la izquierda. Las Af presentaron frecuencias más bajas en varones en los dedos pulgar derecho (D1), índice izquierdo (D7) y anular izquierdo (D9), y lo contrario ocurrió en el resto de los dedos. Las bifurcaciones (B) y convergencias (C) presentaron las frecuencias más altas en las mujeres en todos los dedos excepto, para las bifurcaciones en el dedo anular derecho (D4) y el meñique izquierdo (D10).

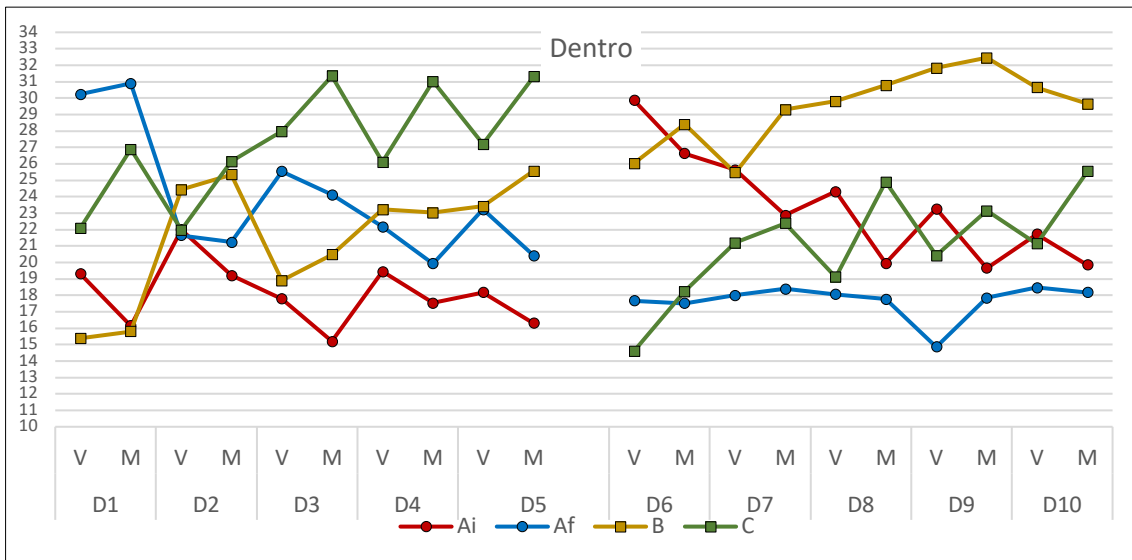


Figura 30. Frecuencias relativas por sexo para abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro del círculo y dedo (D1,...D10).

En el área periférica del dactilograma (figura 31), se observó que tanto las Ai, como las Af, B y C presentaron frecuencias más altas en mujeres que en varones, excepto para las Ai en el meñique izquierdo (D10).

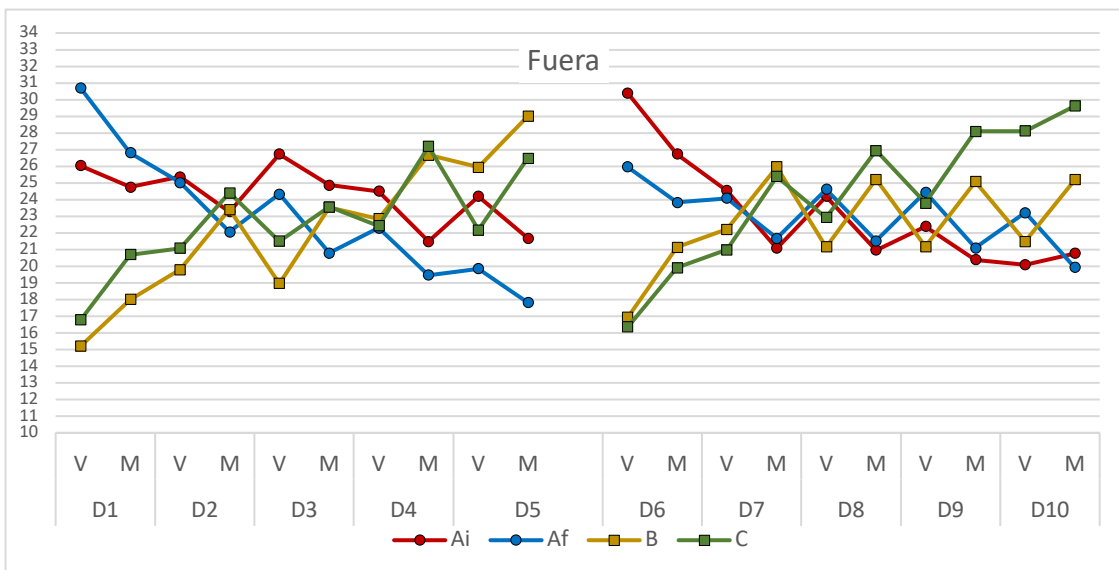


Figura 31. Frecuencias relativas por sexo para abruptas iniciales (Ai), abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C) fuera del círculo y dedo (D1, ..., D10).

Las diferencias significativas encontradas en la distribución de las frecuencias por áreas, entre los sexos, para los cuatro tipos de minutiae valorados (Ai, Af, B, y C), se muestra en la tabla 19. Así, dentro del círculo se encontraron diferencias significativas entre los sexos para las convergencias (C) en el dedo pulgar (D1) y en el índice (D2) derechos, y

para ambos anulares (D4, D8), y sólo para las Ai en el índice derecho (D2). Fuera del círculo, se encontraron diferencias sexuales significativas para las bifurcaciones (B) y convergencias (C) en ambos pulgares (D1 y D6), índices (D2 y D7) y anulares (D4 y D9) y en el medio izquierdo (D8), mientras que solo las bifurcaciones presentaron diferencias significativas en el dedo medio (D3) y las convergencias en el dedo meñique derecho (D5). Sobre la superficie total del dactilograma se observaron diferencias sexuales significativas para las Ai en todos los dedos de la mano derecha, pero no en los de la mano izquierda; para las Af y B en todos los dedos de la mano izquierda y el dedo índice derecho (D2); y para las convergencias en todos los dedos de la mano derecha y en los dedos medio (D8), anular (D9) y meñique (D10) de la mano izquierda. Así en el área central del dactilograma fue donde menos diferencias sexuales se encontraron para estos cuatro tipos de *minutiae*, aumentando en el área periférica y mostrando el mayor número de diferencias sexuales significativas sobre la superficie total del dactilograma.

Tabla 19.

Diferencias significativas entre los sexos por área (total, dentro y fuera del círculo) y dedo (D1,..., D10). Abruptas iniciales (Ai), Abruptas finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C).

** $p < 0.001$, * $p \leq 0.05$.

	Dentro				Fuera				Total			
	Ai	Af	B	C	Ai	Af	B	C	Ai	Af	B	C
D1				*		*	*	*	**			*
D2	**			**	**	**	**	**	**	**	**	*
D3						*	*		**			**
D4				*			*	*	*			*
D5								*	**			**
D6					*		*	*		**	**	
D7					*		*	*	*	*		
D8				*	*		*	*	**	**	**	*
D9							*	*	**	**	**	*
D10										*	**	**

Las frecuencias relativas obtenidos para los tipos de *minutiae* menos frecuentes por área y dedo en los varones se muestran en la figura 32, y en las mujeres en la figura 33.

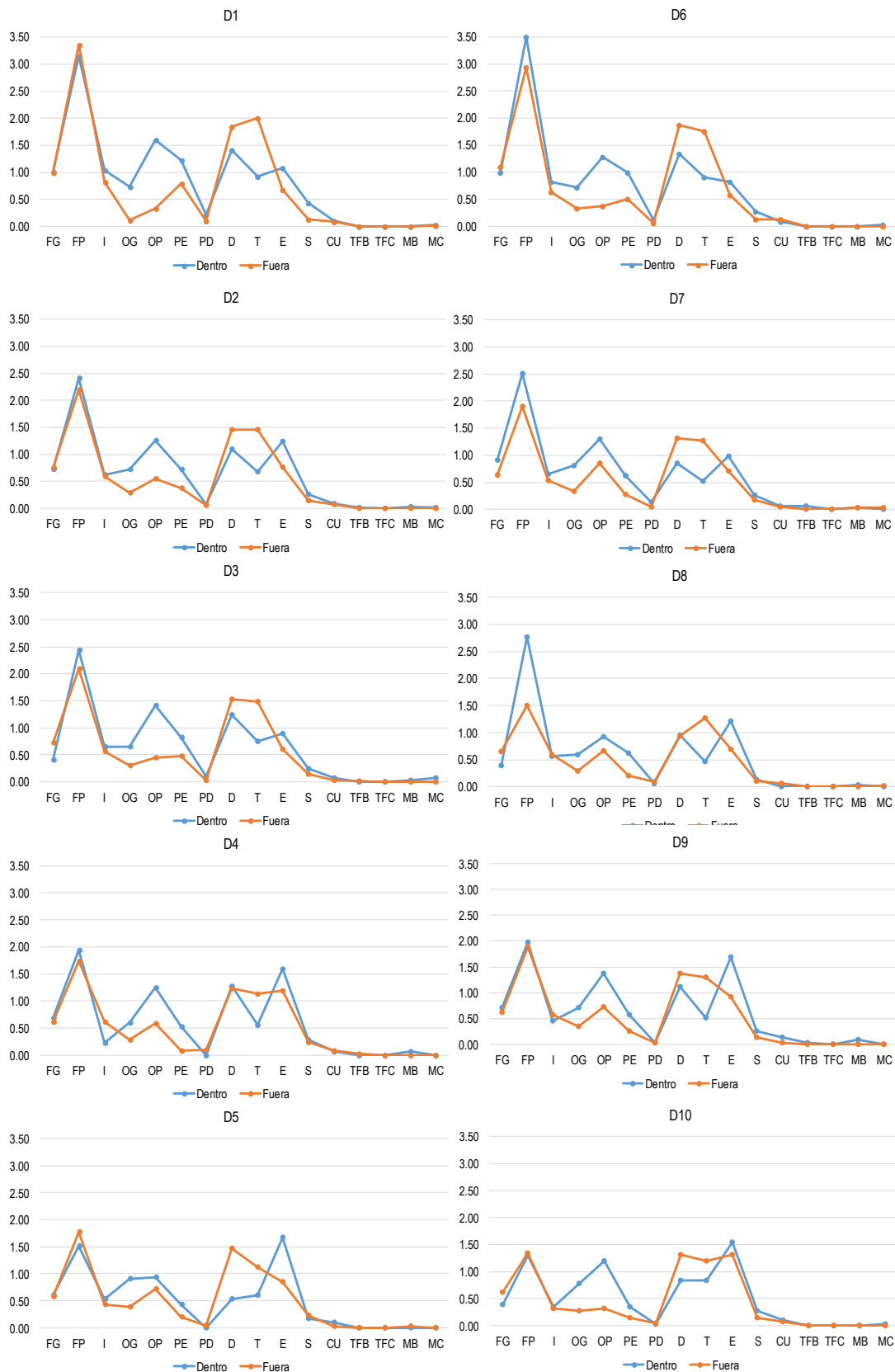


Figura 32. Frecuencias relativas para los tipos de *minutiae* menos frecuentes por dedo y área (dentro y fuera del círculo) en los varones. FG: fragmento grande, FP: fragmento pequeño, I: interrupción, OG: ojal grande, OP: ojal pequeño, PE: punto entre crestas, PD: punto dentro de crestas, D: desviación, T: transversal, E: empalme, S: secante, CU: cuña, TFB: trifurcación bifurcante, TFC: trifurcación convergente, MB: M bifurcante, MC: M convergente, VI: vuelta insólita

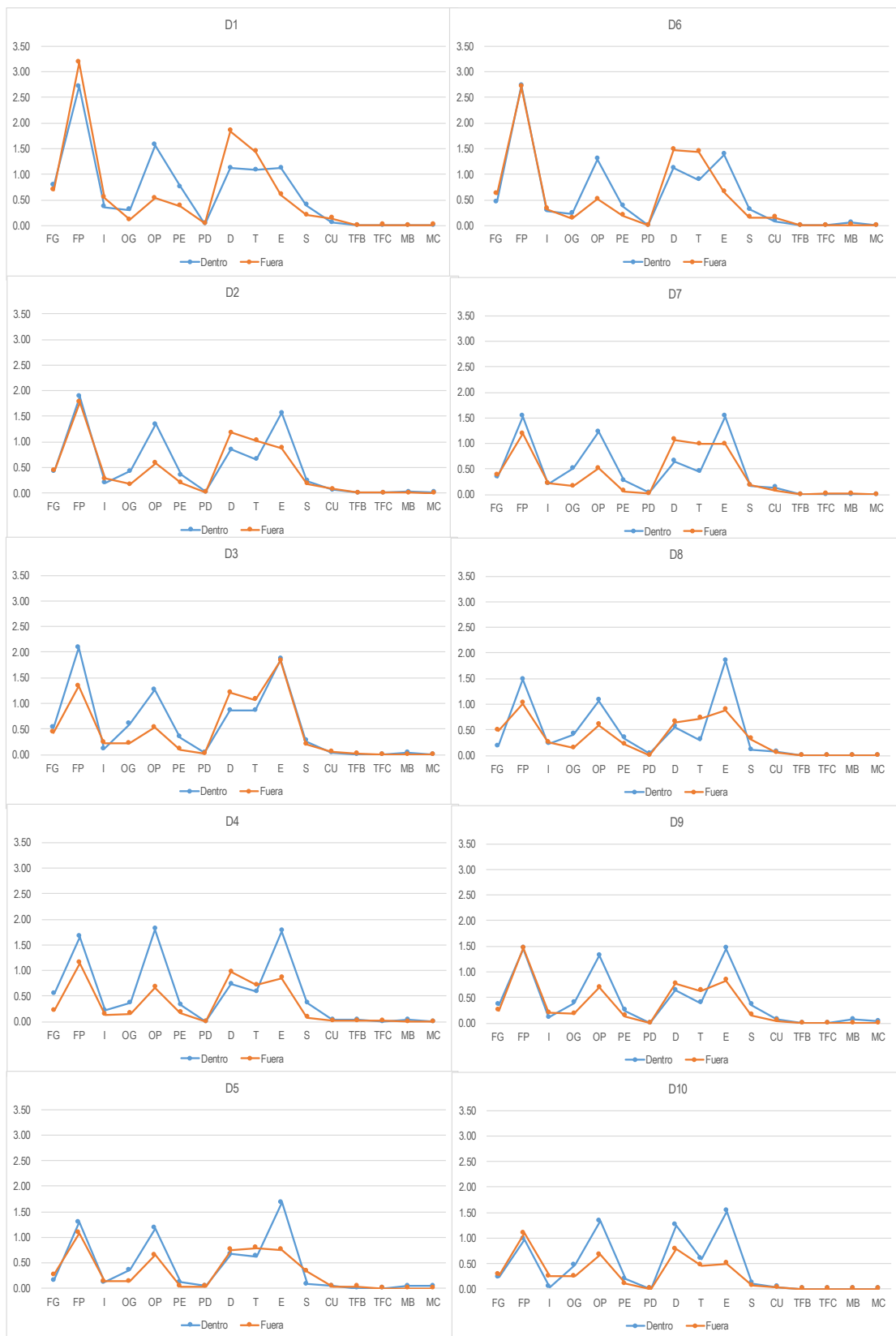


Figura 33. Frecuencias relativas para los tipos de *minutiae* menos frecuentes por dedo y área (dentro y fuera del círculo), en las mujeres. FG: fragmento grande, FP: fragmento pequeño, I: interrupción, OG: ojal grande, OP: ojal pequeño, PE: punto entre crestas, PD: punto dentro de crestas, D: desviación, T: transversal, E: empalme, S: secante, CU: cuña, TFB: trifurcación bifurcante, TFC: trifurcación convergente, MB: M bifurcante, MC: M convergente, VI: vuelta insólita.

Los diferentes tipos de *minutiae* presentaron un patrón topológico de distribución sobre el dactilograma similar en todos los dedos, tanto en varones como en mujeres, de forma que, los mismos tipos de minucias presentaban mayor densidad dentro de círculo que fuera y viceversa, en todos los dedos. Así, por ejemplo, los fragmentos pequeños (FP) los ojales grandes y pequeños (OG y OP), los puntos entre crestas (PE), los empalmes (E), las secantes (S) presentaron, en todos los dedos mayor frecuencias dentro que fuera del círculo (figura 32 y 33).

En las tablas de la 1.11 a 1.15 del Anexo 1 se muestra agrupados los tipos de minucias en función de su mayor frecuencia dentro o fuera del círculo, para cada uno de los diez dedos y en ambos sexos.

En la figura 34a se muestra el análisis de correspondencia entre los tipos de minucias en el área central del dactilograma y los dedos (D1,..., D10), y en la figura 34b entre los tipos de minucias en el área central del dactilograma y los dedos en ambos sexos. Como se puede observar en la figura 34a, el análisis mostró una asociación estadísticamente significativa ($\text{Chi}^2=2435.2$ $\text{df}=171$ $p<0,0001$) en ambos casos. Las dos dimensiones del análisis explican el 92.78% de la inercia encontrada. La primera dimensión explica el 68.01% de la inercia y separa los dedos de la mano derecha (D1,..., D5) de los dedos de la mano izquierda (D6,..., D10). La segunda dimensión, que explica el 24.77% de la inercia, separa los dedos pulgares e índices de ambas manos, del resto de los dedos. Esta separación viene marcada por las asociaciones presentadas entre los diferentes tipos de *minutiae* y los dedos. Así, las bifurcaciones (B), se presentaron asociadas con los dedos medio (D8), anular (D9) y meñique (D10) de la mano izquierda, mientras que las convergencias (C) se asociaron con los mismos dedos, pero de la mano derecha. En cuanto a las abruptas, las iniciales (Ai) se mostraron asociadas a los dedos pulgares (D6) e índices (D7) de la mano izquierda, mientras que las finales (Af) se asociaron a los mismos dedos, pero de la mano derecha, mostrando así, al igual que las bifurcaciones y convergencias, un efecto especular. Los dedos, pulgar (D1) e índice (D2) derechos, fueron los dedos que mostraron una asociación positiva con un mayor número de tipos diferentes de *minutiae*.

En la figura 34b se muestra el análisis de correspondencia entre los tipos de minucias en el **área central** del dactilograma y los dedos (D1,...D10), en ambos sexos, presentando esta asociación una dependencia estadísticamente significativa ($\text{Chi}^2=3014.1$ $\text{df}=361$

$p < 0,0001$) y una distribución muy similar a la anterior. Las dos dimensiones del análisis explican el 87.12% de la inercia encontrada, explicando la primera dimensión el 55.86% de la inercia y separando los dedos de la mano derecha de los de la mano izquierda de ambos sexos, y la segunda dimensión, que explica el 31.26% de la inercia separa en las mujeres los dedos pulgares de ambas manos (M1 y M6) del resto de los dedos, mientras que en los varones separa pulgares (V1 y V6), índices (V2 y V7) y medios (V3 y V8) de ambas manos, del resto de dedos. Así, en las mujeres, las bifurcaciones (B) se presentaron asociadas con los dedos índice (M7), medio (M8), anular (M9) y meñique (M10) de la mano izquierda, mientras que las convergencias (C) se asociaron con los mismos dedos, pero de la mano derecha. En cuanto a las abruptas, las iniciales (Ai) se mostraron asociadas al pulgar izquierdo (M6) y las finales (Af) al pulgar derecho (figura 34b). Mientras que, en los varones, las bifurcaciones (B), se presentaron asociadas con los dedos anular (V9) y meñique (V10) de la mano izquierda, mientras que las convergencias (C) se asociaron con los mismos dedos, pero de la mano derecha. En cuanto a las abruptas, las iniciales (Ai) se mostraron asociadas a los dedos pulgares (V6), índices (V7) y medios (V8) de la mano izquierda, mientras que las finales (Af) se asociaron a los mismos dedos, pero de la mano derecha (V1, V2, V3). Los dedos, pulgar (V1) e índice (V2) derechos, en los varones, y el pulgar derecho (M1) en las mujeres fueron los dedos que mostraron una asociación positiva con un mayor número de tipos diferentes de *minutiae* (figura 34b).

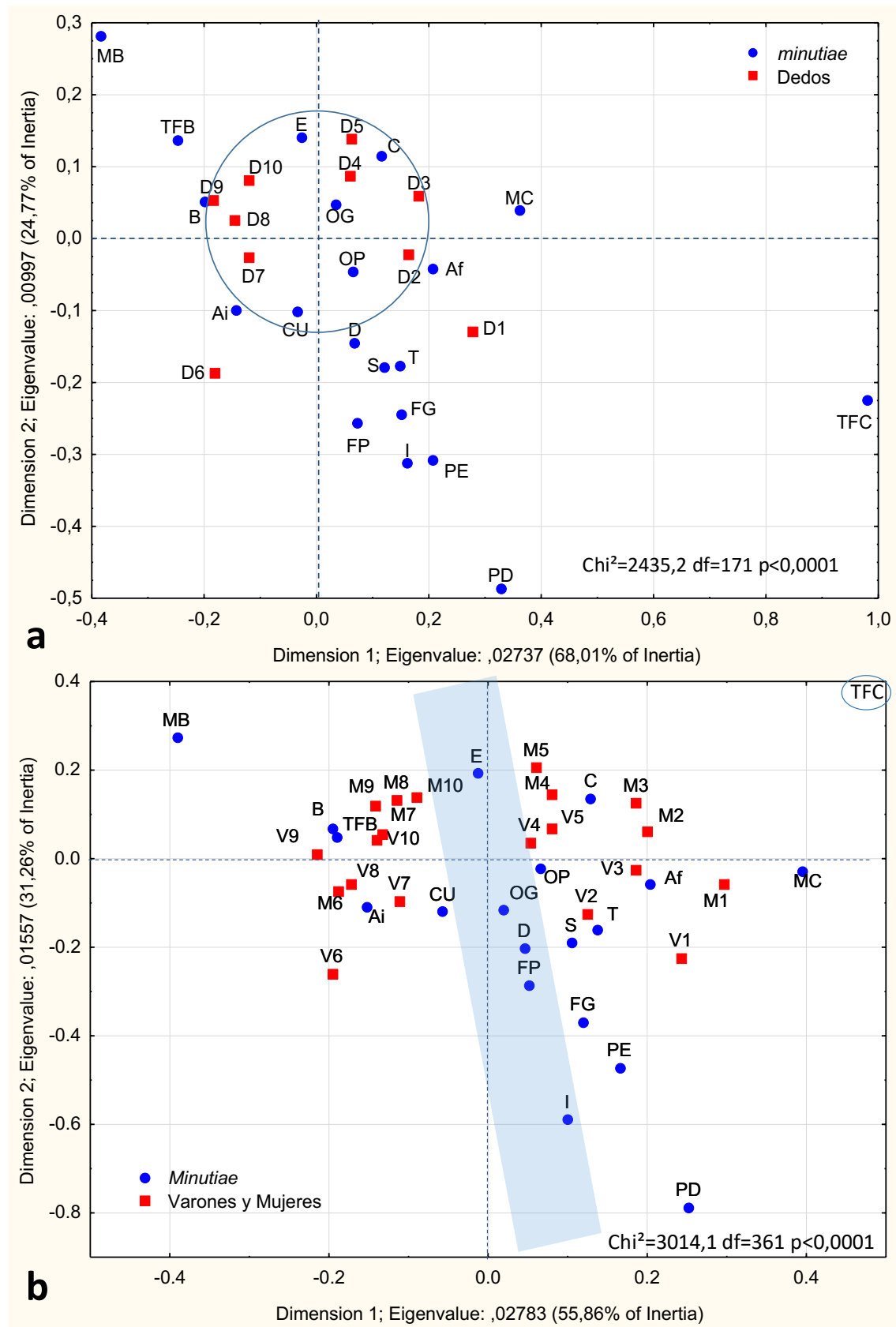


Figura 34. Análisis de Correspondencia entre los tipos de minucias en el área central del dactilograma y los dedos (D1,..., D10) (a), y dedos (1,...10) y sexo (V: varones, M: mujeres) (b).

En la figura 35 se muestran los análisis de correspondencia entre los tipos de minucias en el **área periférica** del dactilograma y los dedos (D1,..., D10) (figura 35a), y dedos (1,...10) y sexo (V: varones, M: mujeres) (figura 35b). En la figura 35a se observó una asociación significativa ($\text{Chi}^2=2351.4$ $\text{df}=171$ $p<0,0001$) entre los tipos de minucia fuera del círculo y los dedos. Las dos dimensiones del análisis explican el 90.76% de la inercia encontrada. La primera dimensión explica el 80.57% de la inercia y separa los dedos D1 y D2 de la mano derecha con el D6 de la izquierda del resto de dedos. Mientras que la segunda dimensión que sólo explica el 10,19% de la inercia separa el pulgar e índice derechos y el medio anular y meñique izquierdo del pulgar e índice izquierdos y del medio, anular y meñique derecho. El análisis muestra, al contrario que lo hallado dentro del círculo (figura 34a), una asociación de las convergencias (C) con los dedos D8, D9 y D10 de mano izquierda y de las bifurcaciones (B) con los dedos D7, D3, D4 y D5. Mientras que las abruptas mostraron un patrón similar al encontrado dentro del círculo, asociándose abruptas finales (Af) con dedo D1 y D2, y la iniciales (Ai) con D6.

En el análisis de correspondencia mostrado en la figura 35b se valoró además el efecto del sexo, encontrándose una asociación significativamente estadística ($\text{Chi}^2=3460.3$ $\text{df}=361$ $p<0,0001$). Las dos dimensiones del análisis explican el 85.154% de la inercia encontrada para la muestra de la periferia de ambos sexos. La primera dimensión explica el 77.50% de la inercia asociada y separa en los varones los dedos pulgares (D1 y D6) índices (V2 y V7) y medio (V3) derecho del resto de dedos; y en las mujeres separa los dedos pulgares de ambas manos (M1 y M6) del resto de dedos. La segunda dimensión, que explica el 7.654% de la inercia, separa, en ambos sexos, los pulgares e índices de la mano derecha y los medios, anulares y meñiques de la mano izquierda, de los pulgares e índices de la mano izquierda y los medios, anulares y meñiques de la mano derecha, y asocia a las convergencias (C) en las mujeres con los dedos M7, M8, M9 y M10 y en los varones con los dedos V8, V9, V10 y las bifurcaciones (B) con M2, M3, M4 y M5, varones con V4, V5.

De este modo dentro del círculo las convergencias están asociadas a los dedos medios, anular y meñique de la mano derecha (D3, D4 y D5), mientras que fuera del círculo están asociadas a los dedos índice, medio, anular y meñique de la mano izquierda (D8, D9 y D10). Lo contrario ocurre con las bifurcaciones que dentro del círculo se asocian

con los dedos de la mano izquierda (D8, D9 y D10) y fuera con los dedos de la mano derecha (D7, D3, D4 y D5). Mientras que las abruptas, tanto iniciales como finales mantienen la misma asociación de lateralidad, tanto dentro como fuera del círculo, asociándose las iniciales (Ai) al pulgar izquierdo y las finales (Af) al pulgar derecho.

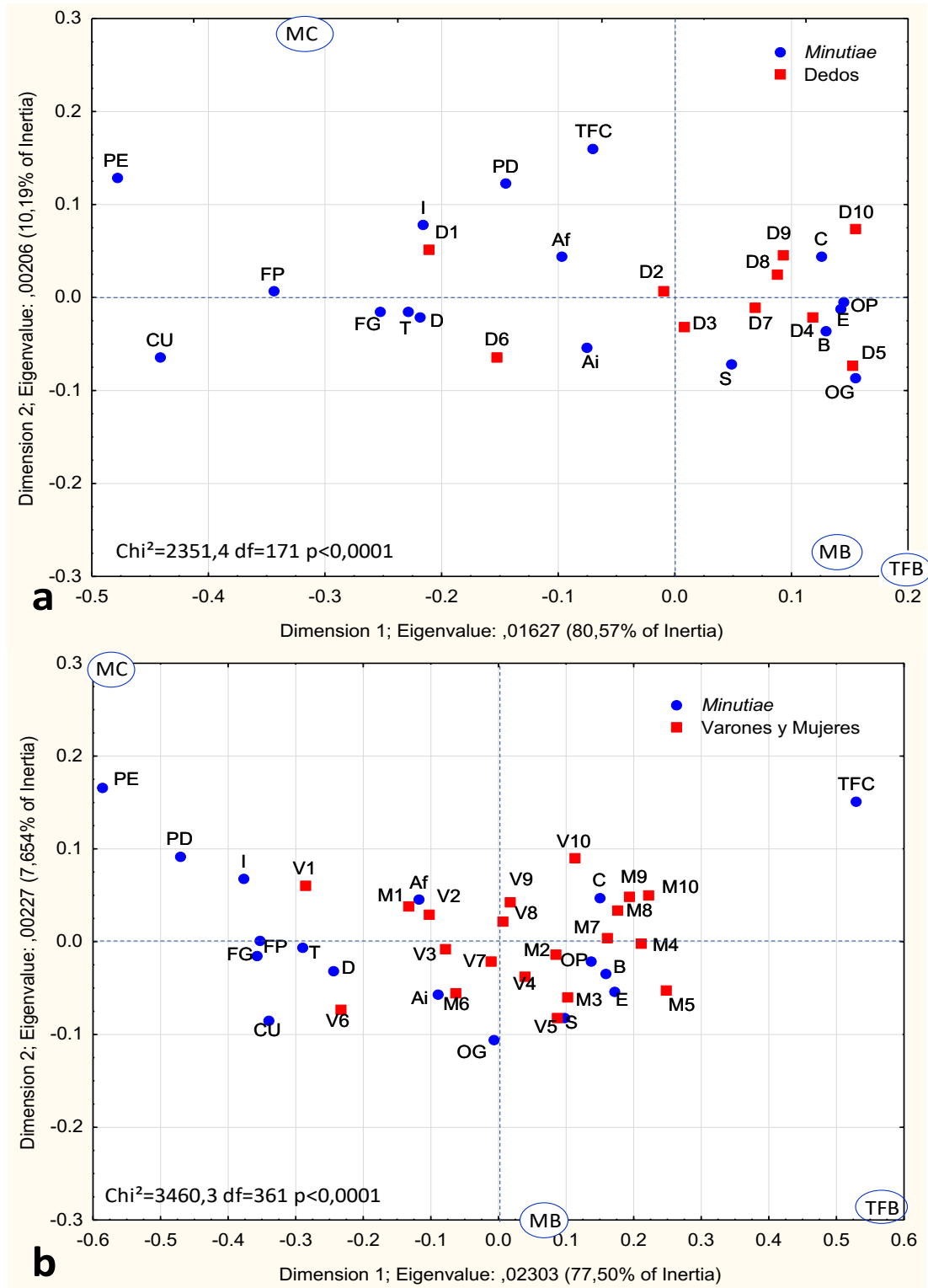


Figura 35. Análisis de Correspondencia entre los tipos de minucias en el área periférica del dactilograma y los dedos (D1,..., D10) (a), y dedos (1,...10) y sexo (V: varones, M: mujeres) (b).

3.3.3. Variabilidad por tipo de figura principal

En las figuras 36 y 37 se muestran las frecuencias relativas de abrupatas iniciales (Ai), finales (Af) bifurcaciones (B) y convergencias (C), para las **presillas ulnares** y **torbellinos** en varones y mujeres, dentro del círculo (figura 36) y fuera de él (figura 37). Así, **en las presillas ulnares, en ambos sexos, dentro del círculo**, las Ai presentaron la frecuencia más alta de aparición en la mano izquierda, con los valores más elevados en el pulgar (D6) y los más bajos en el meñique (D10), mientras que las Af presentaron el mismo patrón, pero sobre la mano derecha, mostrando la frecuencia más alta en el pulgar derecho (D1) y la más baja en el meñique derecho (D5). La frecuencia de bifurcaciones (B) sobre las presillas ulnares fue más alta en los dedos de la mano izquierda, presentado el valor más alto el anular izquierdo (D9) y el más bajo el pulgar derecho (D1), mientras que la frecuencia de convergencia (C) lo fue sobre los dedos de la mano derecha, presentando el valor más alto el anular derecho (D4) y el más bajo el pulgar izquierdo (D6) (figura 36a). Sin embargo, también **en ambos sexos fuera del círculo** (figura 37a), las Ai presentaron, en todos los dedos de la mano derecha, frecuencias más altas que en su interior, mientras que en los dedos de la mano izquierda las frecuencias fueron similares a las presentadas en el interior del círculo. Lo contrario ocurre para las Af, que presentaron fuera del círculo, en todos los dedos de la mano izquierda frecuencias mayores que dentro de él, pero no así en los dedos de la mano derecha. El patrón de distribución presentado por las bifurcaciones (B) fuera del círculo en los dedos de la mano derecha es muy semejante al presentado por las convergencias (C) en los dedos de la mano izquierda, mientras que el patrón presentado por las bifurcaciones (B) en los dedos de la mano izquierda, es muy semejante al presentado por las convergencias (C) en los dedos de la mano derecha, mostrando así, un efecto especular en su distribución sobre los dedos de ambas manos (figura 37a).

Los resultados obtenidos en **los torbellinos**, para las frecuencias relativas de abrupatas iniciales (Ai), finales (Af) bifurcaciones (B) y convergencias (C), dentro y fuera del círculo se muestran también en las figura 36 y 37. Así, **dentro del círculo (figura 36)**, en **ambos sexos**, las Ai presentaron la frecuencia más alta de aparición en la mano izquierda, presentado los valores más altos en el pulgar izquierdo (D6) y los más bajos en el pulgar derecho (D1), mientras que las Af presentaron un patrón muy parecido

sobre la mano derecha, mostrando la frecuencia más alta en el pulgar derecho (D1) y la más baja en el anular (D4) en varones y en el medio (D8) en mujeres. La frecuencia de bifurcaciones (B) fue más alta en los dedos de la mano izquierda, presentado el valor más alto el anular izquierdo (D9) en los varones y el medio (D8) en las mujeres, y el valor más bajo en el pulgar derecho (D1) en ambos sexos, mientras que la frecuencia de convergencia (C) lo fue sobre los dedos de la mano derecha, presentando el valor más alto el dedo medio derecho (D3) en los varones y el meñique derecho (D5) en las mujeres, y el más bajo en el medio izquierdos (D6 y D8) en los varones y el pulgar izquierdo (D6) en las mujeres (figura 36 a, b).

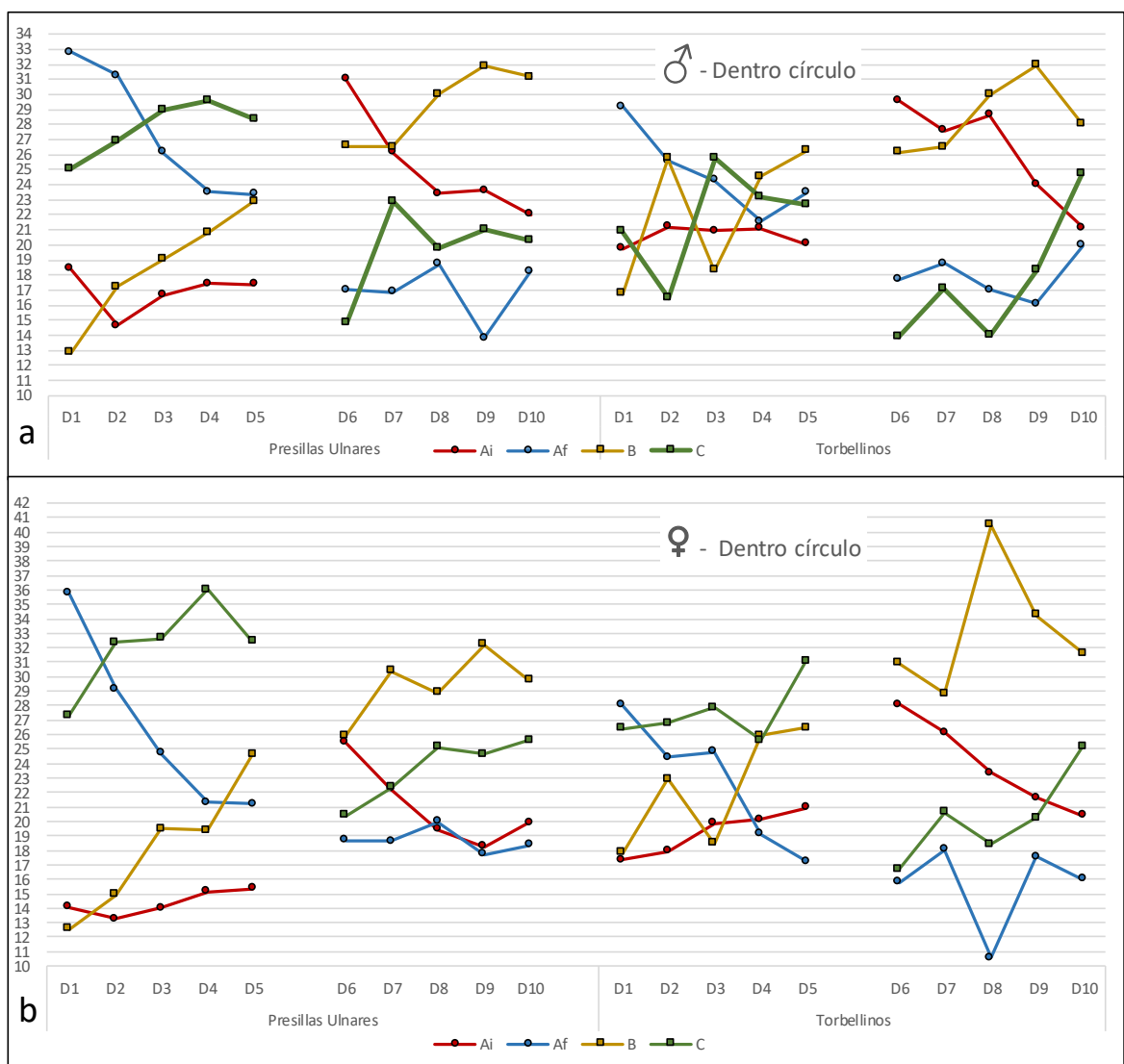


Figura 36. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (Ai), finales (Af) bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro del círculo para presilla ulnares y torbellinos en varones y mujeres.

Fuera del círculo, en ambos sexos, las Ai presentaron la frecuencia más alta de aparición en la mano izquierda, presentado los valores más altos en el pulgar izquierdo (D6) y los más bajos en el pulgar derecho (D5), mientras que las Af presentaron un patrón muy parecido sobre la mano derecha, mostrando la frecuencia más alta en el pulgar derecho (D1) y la más baja en el meñique (D10) en varones y en el meñique derecho (D5) en mujeres. La frecuencia de bifurcaciones (B) presentó el valor más alto, en ambos sexos, en el meñique derecho (D5) y el valor más bajo el pulgar derecho (D1), mientras que la frecuencia de convergencias (C) presentó, en ambos sexos, el valor más alto en el meñique izquierdo (D10) y el más bajo en el pulgar izquierdo (D6) (figura 37 a,b).

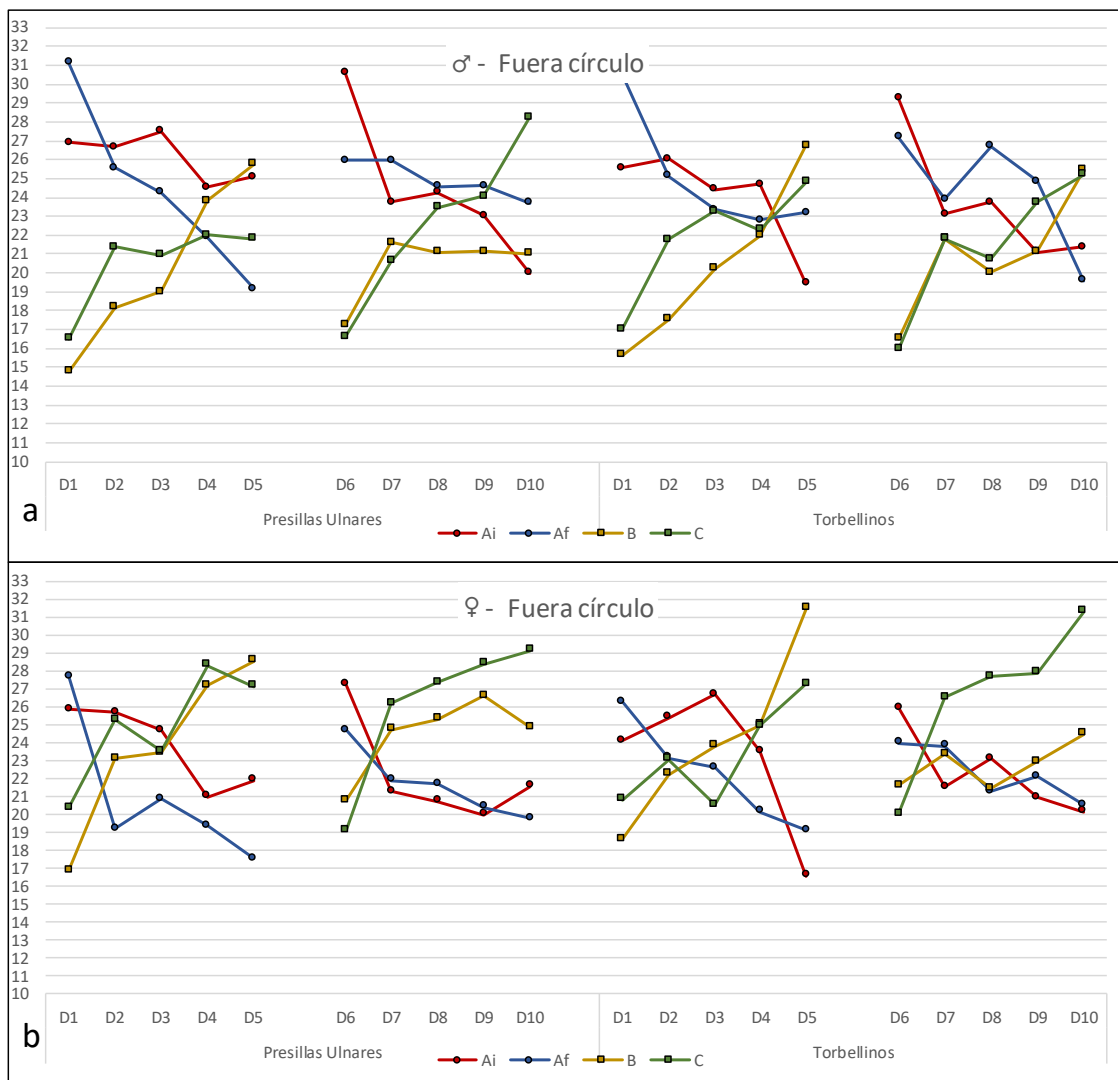


Figura 37. Frecuencias relativas de abruptas iniciales (Ai), finales (Af) bifurcaciones (B) y convergencias (C) fuera del círculo para las presilla ulnares en varones y mujeres.

En las presillas ulnares, la distribución de frecuencias observada dentro y fuera del círculo para las abruptas iniciales (Ai), finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C), presentó diferencias significativas en algunos dedos tanto en la muestra total, como en la de varones y mujeres (tabla 20). Así, las Ai presentan diferencias significativas, tanto en la muestra total como en ambos sexos, en todos los dedos de la mano derecha, excepto en el anular (D4) en la muestra de mujeres, mientras que no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los dedos de la mano izquierda. Sin embargo, las Af presentaron diferencias significativas tanto en la muestra total, como en la de varones para todos los dedos de la mano izquierda y el dedo índice de la mano derecha (D2); sólo para la muestra total, se hallaron diferencias significativas en el pulgar (D1) y meñique derecho (D5); y en las mujeres para ambos pulgares (D1 y D6). Las bifurcaciones (B) presentaron diferencias significativas en su distribución por área, en todos los dedos de la mano izquierda para la muestra total y en el anular derecho (D4); en los varones se presentaron en todos los dedos de la mano izquierda excepto en el índice (D7); además, en las mujeres se encontraron diferencias significativas en el índice derecho (D2) y en ambos anulares (D4 y D9). Por el contrario, las convergencias (C) presentaron diferencias significativas para el total de la muestra y ambos sexos en todos los dedos de la mano derecha a excepción del índice (D2); en la muestra total y en varones también se encontraron para el meñique izquierdo (D10). Los resultados encontrados para los **torbellinos** se muestran en la tabla 21. Así, las Ai presentaron diferencias significativas para la muestra total, varones y mujeres sólo el pulgar derecho (D1); además, en la muestra total y en la de mujeres se encontraron para el índice derecho (D2), mientras que en las Af se encontraron diferencias significativas sobre la muestra total para todos los dedos de la mano izquierda, en la de varones para todos los dedos de la mano izquierda excepto el índice (D7), y en la de mujeres sólo en el pulgar izquierdo (D6). Las bifurcaciones (B) presentaron diferencias significativas en su distribución por área, en el dedo (D2) de la mano derecha en la muestra total y en varones; en los dedos pulgares, medios y anulares de la mano izquierda (D6, D8 y D9 respectivamente) para la muestra total, varones y mujeres, y sólo en el índice izquierdo (D7) en la muestra total. Por el contrario, las convergencias (C) presentaron diferencias significativas para el total de la muestra y ambos sexos, en el pulgar (D1) de la mano derecha, y en los dedos de la mano izquierda y en el dedo medio izquierdo (D8) para el total de la muestra, y en el meñique izquierdo (D10) para muestra total y de mujeres.

Tabla 20.

Diferencias significativas en la distribución de frecuencias dentro y fuera del círculo en las Presillas ulnares, para las abruptas iniciales (Ai), finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C), por dedo (D1, ..., D10), para la muestra total (T), para la de varones (♂) y para las mujeres (♀).

** p< 0.001, * p<= 0.05.

		Presillas Ulnares									
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Ai	T	**	**	**	*	**					
	♂	*	**	**	*	*					
	♀	*	**	**		*					
Af	T	*	**			*	**	*	*	*	*
	♂		*				**	*	*	*	*
	♀	**	**				*				
B	T				*		**	*	**	**	**
	♂						**		**	**	**
	♀		*		*					*	
C	T	**	*	**	**	**					**
	♂	*		**	*	*					**
	♀	*	*	**	*	*					

Tabla 21.

Diferencias significativas en la distribución de frecuencias dentro y fuera del círculo en los torbellinos, para las abruptas iniciales (Ai), finales (Af), bifurcaciones (B) y convergencias (C), por dedo (D1,..., D10), para la muestra total (T), para la de varones (♂) y para las mujeres (♀).

** p< 0.001, * p<= 0.05.

		Torbellinos									
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Ai	T	**	*								
	♂	*									
	♀	*	*								
Af	T						**	*	*	*	*
	♂						*		*	*	*
	♀						*				
B	T		*				**	*	**	**	
	♂		*				**		*	**	
	♀						**		**	**	
C	T	**							*		*
	♂	*									
	♀	*									*

En la figura 38 se muestran cuatro análisis de correspondencia realizados entre los tipos de minucias, y los dedos (D1,..., D10) por tipo de figura (presilla ulnar-PU y torbellino-T), para cada sexo y área del dactilograma (dentro y fuera del círculo). Los resultados mostraron una asociación estadísticamente significativa en los cuatro casos. Así, tanto en **los varones como en las mujeres, dentro del círculo** (figura 38a,c), el análisis mostró una asociación significativa entre los tipos de minucias y las presillas ulnares (PU) y torbellinos (T) por dedo (varones: $\text{Chi}^2=1805,0$ $\text{df}=342$ $p<0,0001$; mujeres: $\text{Chi}^2=1699,9$ $\text{df}=342$ $p<0,0001$). Las dos dimensiones representadas en el análisis explicaban el 81.65% de la inercia encontrada en los varones y el 80,49% en las mujeres. En ambos casos, la primera dimensión separa para ambos tipos de figura (PU y T), los dedos de la mano derecha (D1, ..., D5) de los de la mano izquierda (D6, ...D10), excepto para el dedo anular (D4) y meñique (D5) derechos con torbellinos. La segunda dimensión, separa, principalmente, los dedos pulgares, de ambas manos y con ambos tipos de figura, del resto de dedos. El análisis muestra una asociación de los dedos pulgares (1PU, 1T) e índices (2PU, 2T), para ambas figuras, y el dedo medio con torbellinos (3T) con las abruptas finales (Af), y del mismo modo las abruptas iniciales (Ai) se asocian con el dedo pulgar (6PU y 6T) para ambas figuras, y con el índice (7T) y medio (8T) con torbellinos en los varones y el índice (7T) y anular (9T) con torbellinos en las mujeres. Por otra parte, las convergencias (C) se asociaron con los dedos anulares (4PU, 4T) y meñique (5PU, 5T) de la mano derecha para ambas figuras, y el dedo medio (3PU) con presilla ulnar en los varones y en las mujeres sólo a presillas ulnares en los dedos medio, anular y meñique. Lo contrario sucede con las bifurcaciones (B) que se asociaron, en ambos sexos a los dedos medio y anulares izquierdos con presilla ulnares y a los meñiques con ambos tipos de figura (PU y T), además en los varones se asociaron al índice izquierdo con presilla ulnar y al anular izquierdo con torbellino, y en las mujeres con el meñique (5T) y medio (8T) izquierdos con torbellinos.

Por otro lado, en el **área externa al círculo** (figura 38b,d) el análisis mostró una asociación significativa entre los tipos de minucias y las presillas ulnares (PU) y torbellinos (T) por dedo (varones: $\text{Chi}^2=1756.5$ $\text{df}=342$ $p<0,0001$; mujeres: $\text{Chi}^2=1521.9$ $\text{df}=361$ $p<0,0001$). Las dos dimensiones representadas en el análisis explicaban el 75.48% de la inercia encontrada en los varones y el 76.84% en las mujeres. En ambos casos, la primera dimensión separa para ambos tipos de figura (PU y T), los dedos pulgares de ambas manos (1PU, 1T, 6PU, 6T), y el dedo índice de la mano derecha con

torbellinos (2T). El análisis muestra una asociación de los dedos pulgares mano derecha (1PU, 1T) con abruptas finales (Af) y de los pulgares mano izquierda (6PU, 6T) con abruptas iniciales (Ai) en ambos sexos. En los varones, además el dedo medio con presilla ulnares (3PU) se asoció con las abruptas iniciales (Ai) y dedo índice de ambas figuras (2PU, 2T), y el dedo medio de la mano izquierda con torbellinos (8T) con las abruptas finales (Af); las bifurcaciones (B), se asociaron con los dedos de la mano derecha, anular y meñique para ambos tipos de figura, y con el dedo índice de mano izquierda (4PU, 4T, 5PU, 5T, 7PU, 7T) y el dedo medio de mano derecha para los torbellinos (3T); las convergencias (C), se asociaron a los dedos de la mano izquierda, anulares y meñiques de ambas figuras (9PU, 9T, 10PU, 10T), y con el dedo medio con presillas ulnares (8PU). En las mujeres los dedos índice y medio de mano derecha con torbellinos se asociaron con las abruptas iniciales (Ai). Sin embargo, las bifurcaciones (B) se asociaron con los dedos índice, medio y meñique de mano derecha e índice de la mano izquierda con presillas ulnares (2PU, 3PU, 5PU, 7PU) y anular derecho con torbellino (4T). Por otro lado, las convergencias (C) se asociaron a los dedos medio, anular y meñique de mano izquierda con ambos tipos de figuras (8PU, 8T, 9PU, 9T, 10PU, 10T), al dedo meñique de la mano derecha y dedo índice de mano izquierda con torbellinos (5T, 7T), y al dedo anular de mano derecha con presillas ulnares (4PU).

En ambas áreas, tanto fuera como dentro del círculo y para ambos sexos, las abruptas iniciales (Ai) se asocian con los dedos pulgares de la mano izquierda, con ambos tipos de figura (6PU y 6T), y las finales (Af) se asociaron a los pulgares derechos con ambos tipos de figura (1Pu y 1T). Además, en ambos sexos, pero dentro del círculo, los dedos índices con torbellinos (2T y 7T), para el área dentro del círculo y el índice derecho de torbellino (2T) en mujeres para el área fuera del círculo.

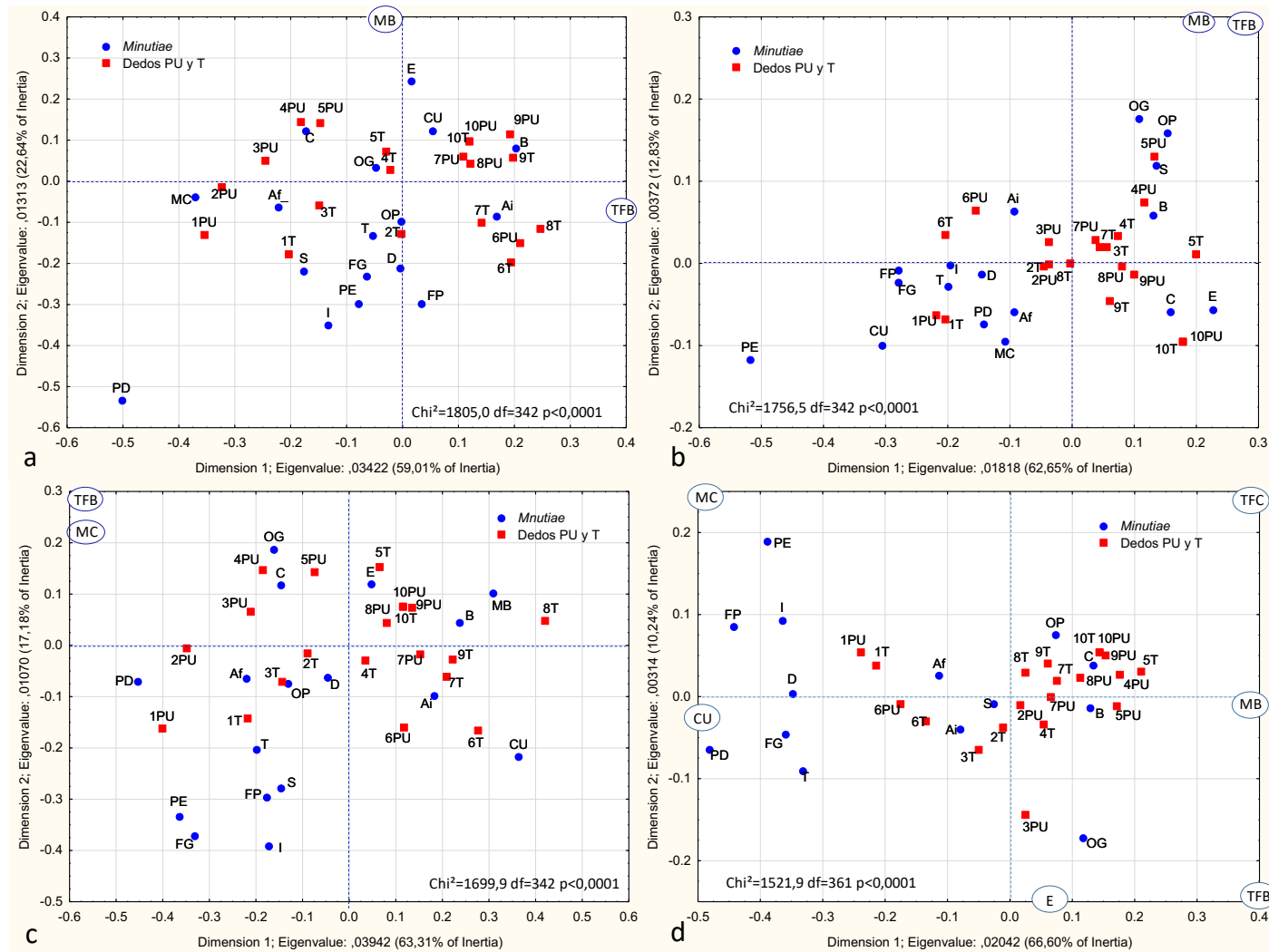


Figura 38. Análisis de correspondencia para los tipos de minucias, por dedo (D1, ..., D10) y tipo de figura, presilla ulnar (PU) y torbellino (T) para las áreas dentro y fuera del dactilograma, por sexos, varones dentro del círculo (a), varones fuera del círculo (b), mujeres dentro del círculo (c) y mujeres fuera del círculo (d)

3.4 Variabilidad de la densidad de *minutiae* por sectores, dedos y sexo

3.4.1. Variabilidad individual y sexual por sectores

La densidad de *minutiae* fue valorada, sumando el número de todos los tipos de minucias encontrados sobre el dactilograma, independientemente de su morfología, sobre ocho áreas resultantes de dividir el dactilograma en cuatro sectores, mediante dos ejes perpendiculares, y un círculo de 15 crestas de radio, en alguno de los sectores distales (Fig 13). Así quedaron diferenciados dos sectores distales, uno radial (RD) y otro ulnar (UD), que a su vez quedan divididos en dos áreas, dentro (RDD y UDD) y fuera (RDF y UDF) del círculo, y dos sectores proximales, radial (RP) y ulnar (UP), a su vez divididos también en dos áreas, dentro ((RPD y UPD) y fuera (RPF y UPF) del círculo.

La media de minucias de los diez dedos, para cada uno de los ocho sectores y en ambos sexos se muestra en la tabla 22 y en la figura 39. Los sectores comprendidos dentro del círculo presentaron menor cantidad de minucias que los sectores externos al él, y los sectores proximales, tanto dentro como fuera del círculo, presentan mayor cantidad de minucias que los distales.

Dentro de cada sexo, la densidad de minucias presentada en los sectores externos (RDF, UDF, RPF y UPF) fue comparada entre sí, encontrándose diferencias significativas entre todos ellos, del mismo se comparó la densidad de minucias presentada por los sectores internos al círculo (RDD, UDD, RPD y UPD), presentando diferencias significativas entre todos ellos en los varones, y en las mujeres, en todos, menos entre los sectores distales, ulnar y radial, dentro del círculo (RDD y UDD). Además, se comparó la densidad de minucias hallada dentro y fuera del círculo en cada uno de los sectores (RD: RDF con RDD; UD: UDF con UDD; RP: RPF con RPD; UP: UPF con UPD), encontrándose, en todos los casos, mayores y estadísticamente significativas densidades de minucias en los sectores externos. La comparación sexual reveló que los varones presentaron en todos los sectores valores más altos que las mujeres, siendo estas diferencias estadísticamente significativas en todos, excepto en el ulnar proximal fuera (UPF).

De forma global, la cantidad de minucias presentada en cada uno de los cuatro sectores (RD, UD, RP y UP), fue comparada entre sí, encontrándose diferencias significativas en todos los casos para los varones y en todos para las mujeres, excepto entre el sector radial (RD) y ulnar distal (UD). Del mismo modo, la distribución de la cantidad de minucias dentro y fuera del círculo presentó, en ambos sexos, diferencias significativas ($p < 0.05$), encontrándose a su vez, diferencias sexuales estadísticamente significativas en ambas áreas.

Tabla 22.

Medias de las *minutiae* por sector (radial R, ulnar U), por zona (distal D, proximal P), dentro y fuera del círculo para generalizar las ocho áreas de recuento: RD (radial distal), RDD (radial, distal, dentro), RDF (radial, distal, fuera), UD (ulnar distal), UDD (ulnar, distal, dentro), UDF (ulnar, distal, fuera), RP (radial proximal), RPD (radial, proximal, dentro), RPF (radial, proximal, fuera), UP (ulnar proximal), UPD (ulnar, proximal, dentro) y UPF (ulnar, proximal, fuera), para varones y mujeres.

Sector	Varones (n= 1000)		Mujeres(n=1000)	
	Media	DS	Media	DS
RD	19.74	7.45	17.05	6.26
RDD	7.68	3.41	6.94	3.22
RDF	12.06	5.91	10.11	4.98
UD	18.66	8.01	17.14	7.79
UDD	7.28	3.33	6.98	3.33
UDF	12.84	8.01	11.30	5.86
RP	26.75	10.62	24.44	11.17
RPD	8.62	4.37	7.66	3.87
RPF	19.26	9.33	17.49	10.09
UP	25.68	9.13	23.43	9.98
UPD	8.17	4.03	7.37	3.82
UPF	17.51	8.14	16.06	8.97
Dentro	31.17	10.36	28.71	9.95
Fuera	60.96	23.40	54.28	24.48

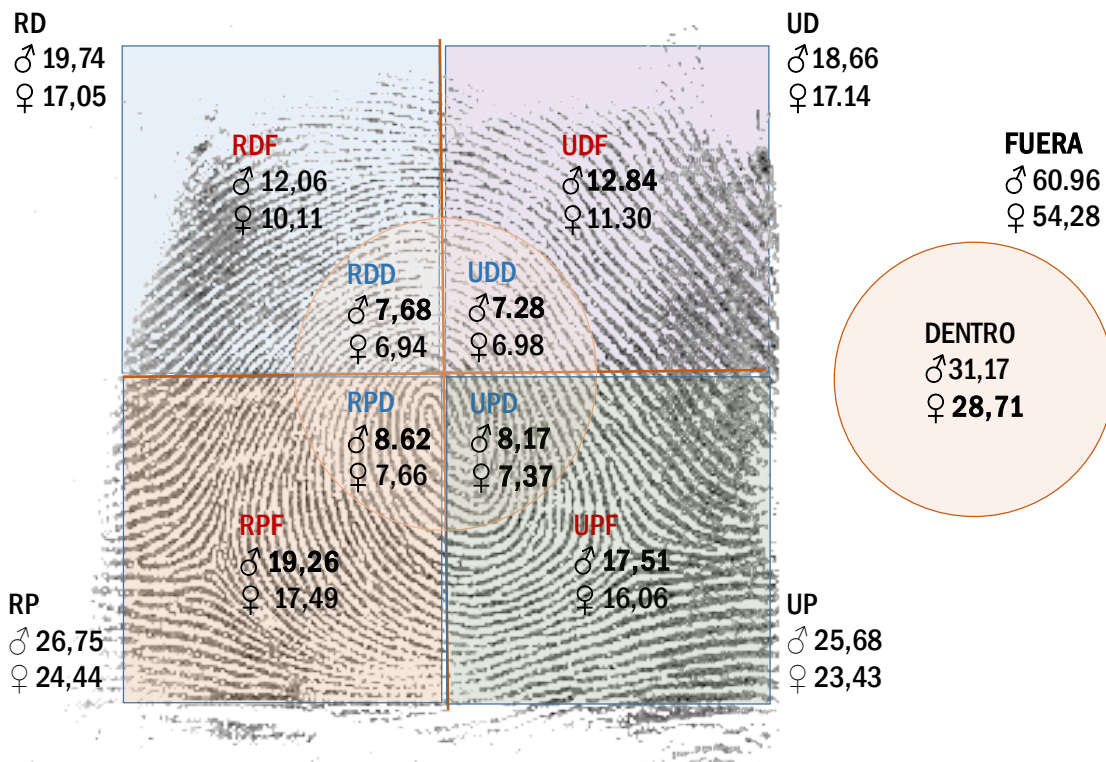


Figura 39.- Densidad media de minucias, a partir de los diez dedos, por sector y sexo.

3.4.2. Variabilidad dactilar y sexual por sectores

La densidad media de minucias encontrada por sector, área, dedo y sexo se muestra en la tabla 23 y en la figura 40.

En todos los sectores, en ambas manos y ambos sexos, la densidad de minucias fue mayor fuera del círculo que en su interior. El dedo que presentó un valor más alto, en ambos sexos y en todos los sectores fue los pulgares (D1 y D6), excepto dentro del círculo en el sector radial proximal (RPD), en donde el valor más alto fue presentado por los dedos anular y meñique izquierdo. Sin embargo, el dedo que presentó una menor densidad de minucias en ambos sexos, ambas manos y en todos los sectores **fuera del círculo** (RDF, UDF, RPF, UPF) fue el meñique, excepto en el sector radial proximal (RPF) en varones, mientras que los dedos índices, medios y anulares presentaron valores intermedios y más similares entre ellos (tabla 23 y figura 40).

Mientras que, **dentro del círculo** el valor más bajo presentó mayor variación entre los dedos, así, aunque la mayoría de dedos y sectores también presentaron el valor más bajo de minucias en los dedos meñiques, en los sectores radial (RD) y ulnar distales (UP) el valor más bajo fue encontrado en el dedo medio (D3) tanto en la mano derecha, en ambos sexos, como en la mano izquierda (D8) para los varones en los sectores radiales, tanto distal (RD) como proximal (RP) y para las mujeres en el sector radial distal (RD).

Tabla 23.

En esta tabla se muestra el valor de las medias de las *minutiae* por sector (radial R, ulnar U), por zona (distal D, proximal P), dentro y fuera del círculo para generalizar las ocho áreas de recuento: RDD (radial, distal, dentro), RDF (radial, distal, fuera), UDD (ulnar, distal, dentro), UDF (ulnar, distal, fuera), RPD (radial, proximal, dentro), RPF (radial, proximal, fuera), UPD (ulnar, proximal, dentro) y UPF (ulnar, proximal, fuera). Del dedo (D1, ..., D10) y para varones (♂) y mujeres (♀).

♂	RDD		RDF		UDD		UDF		RPD		RPF		UPD		UPF	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
D1	9,17	3,69	16,67	7,05	8,21	4,26	14,81	6,14	9,49	4,17	30,85	8,42	9,14	4,25	23,53	8,13
D2	7,58	3,36	10,72	5,28	6,85	2,82	11,89	5,39	8,73	3,96	19,28	6,49	8,17	3,69	15,61	6,22
D3	6,98	3,32	12,67	6,18	6,81	2,75	13,68	5,56	7,85	3,45	20,43	7,24	6,84	3,30	17,34	6,73
D4	7,12	2,94	13,46	5,44	7,74	3,12	12,57	5,81	7,39	3,34	15,18	7,40	9,12	3,99	16,70	7,64
D5	8,15	2,95	10,35	4,96	6,28	3,26	8,38	4,53	7,41	3,13	12,04	6,87	7,46	3,85	11,90	6,57
D6	9,48	4,46	14,72	6,59	7,75	3,67	15,56	6,61	10,11	4,10	28,16	8,36	9,44	4,65	24,52	8,80
D7	7,02	3,13	9,29	4,35	7,39	3,29	12,49	4,76	8,04	4,04	18,54	6,29	7,66	3,17	16,21	6,80
D8	6,89	3,02	11,16	4,42	7,70	3,28	15,37	6,06	7,60	3,38	17,62	6,23	7,58	4,17	17,59	6,83
D9	7,09	2,95	12,28	5,29	7,62	3,38	14,15	6,02	12,97	6,47	20,14	7,80	8,81	4,25	18,27	7,62
D10	7,35	2,95	9,29	4,51	6,48	2,71	9,51	5,03	12,97	3,05	20,14	5,63	7,52	4,03	13,41	6,82
♀	RDD		RDF		UDD		UDF		RPD		RPF		UPD		UPF	
	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS	MEDIA	DS
D1	7,94	4,04	15,33	4,97	7,32	3,44	14,18	6,27	8,93	4,28	30,97	9,04	8,99	4,43	26,24	8,78
D2	7,11	3,08	9,12	3,75	6,73	3,58	10,93	4,84	7,72	3,01	20,33	5,56	7,89	3,48	15,37	6,11
D3	6,32	3,06	11,20	4,19	7,08	3,03	13,06	5,02	7,18	2,95	19,37	6,75	6,32	3,44	17,01	8,05
D4	6,65	2,83	11,78	4,78	7,14	3,58	10,43	4,91	6,26	3,23	12,92	7,10	7,10	3,47	15,42	7,03
D5	6,72	2,69	8,13	3,70	5,64	2,92	6,21	3,77	6,85	3,22	7,59	5,21	6,37	3,70	8,65	5,83
D6	8,32	3,51	12,17	4,81	9,05	3,50	25,00	6,38	9,31	3,78	28,14	8,16	9,05	4,26	25,00	7,65
D7	6,3	3,26	7,80	4,57	7,47	3,26	11,04	4,66	7,46	3,02	17,29	5,60	8,12	3,79	14,37	6,64
D8	5,92	2,51	9,15	4,11	7,31	3,16	13,36	5,05	7,25	3,05	16,09	6,67	6,55	3,20	15,56	6,42
D9	6,73	2,99	10,13	4,79	7,09	3,27	11,12	5,54	9,25	6,27	16,07	7,80	7,49	3,58	14,00	7,78
D10	7,38	3,32	6,32	3,47	5,91	2,89	6,85	4,25	6,39	3,23	6,15	4,96	5,85	3,23	8,94	6,53

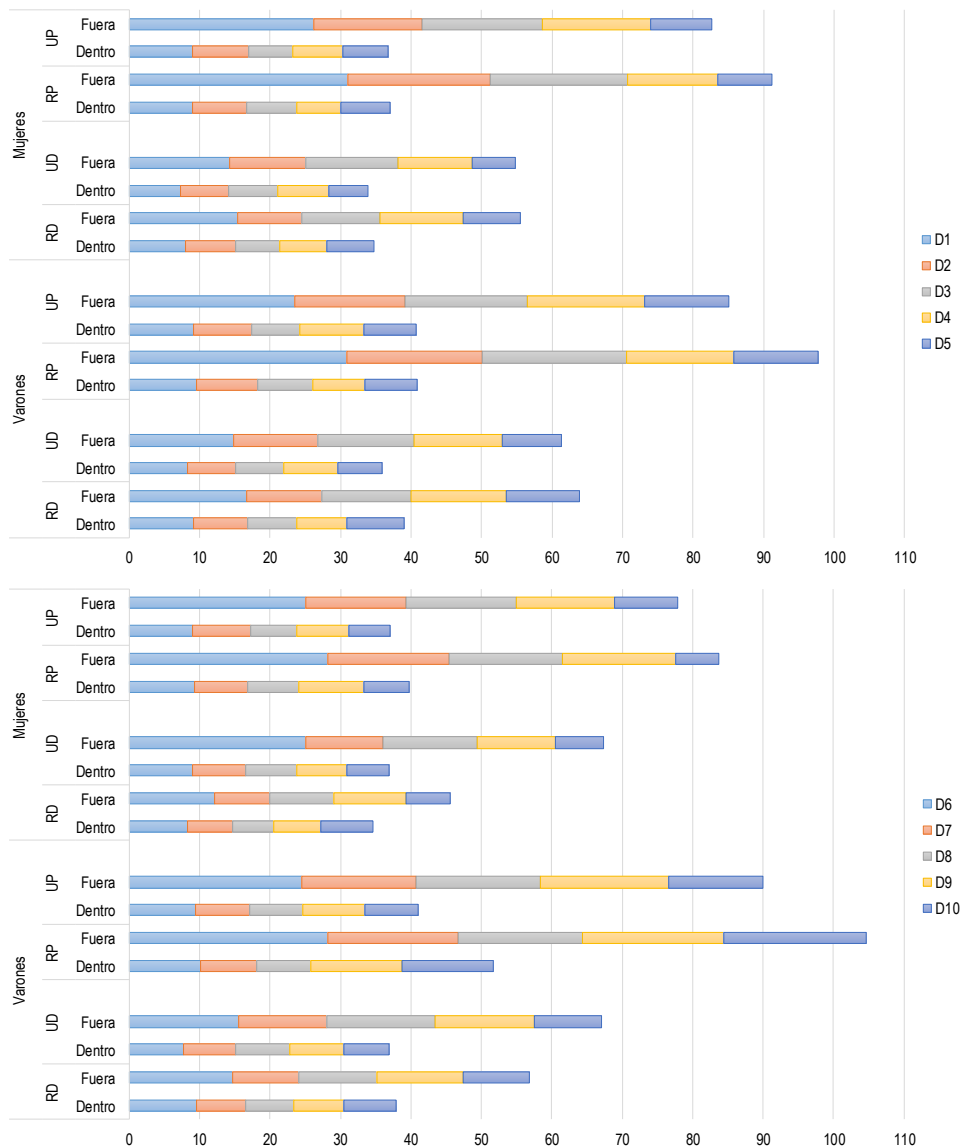


Figura 40. Media de las *minutiae* por sectores, distales (radial RD, ulnar UD) y proximales (radial RP y ulnar UP), dentro y fuera del círculo, para ambas manos y ambos sexos.

Un análisis de componentes principales (PCA) fue realizado con los recuentos de minucias para los ocho sectores por dedo y sexo (figura 41). Los resultados del PCA mostraron que el 93.5% de la varianza puede ser descrita por dos componentes principales. El primer componente (PC1: 84,11%) separa, en ambos sexos, los sectores externos al círculo, de los internos, con la excepción del sector radial distal fuera en las mujeres. La segunda componente (PC2: 9,39) separa los sectores por sexo, excepto el sector radial distal dentro (RDD) en las mujeres y el ulnar distal dentro (UDD) en los varones, y los dedos pulgares, índices y medios de ambas manos de los anulares y meñiques.

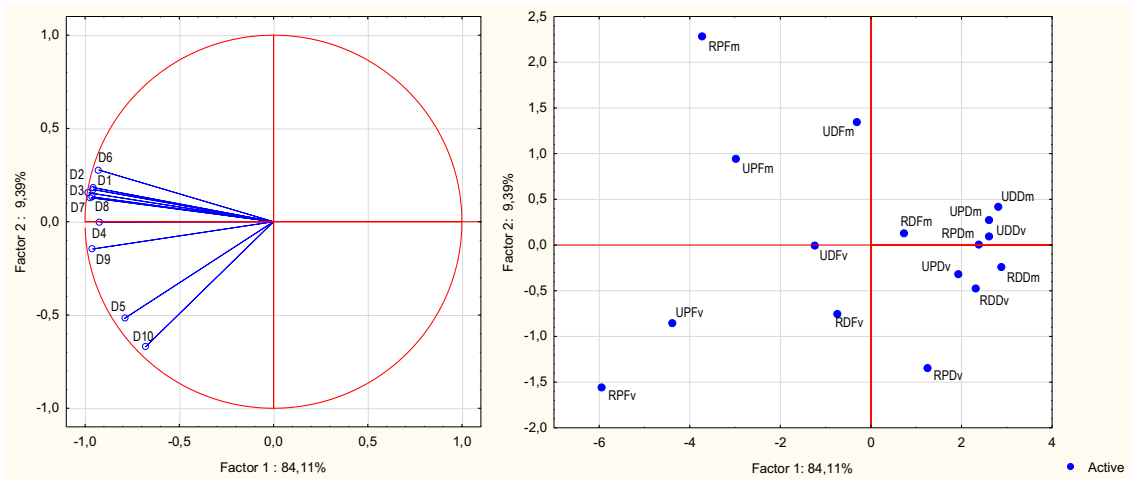


Figura 41. Análisis de componentes principales (PCA) por área de recuento, dedos y sexo. Dedos (D1, ..., D10); v: varón, m: mujer; sectores: RDD (radial distal dentro), RDF (radial distal fuera), UDD (ulnar distal dentro), UDF (ulnar distal fuera), RPD (radial proximal dentro), RPF (radial proximal fuera), UPD (ulnar proximal dentro) y UPF (ulnar proximal fuera).

La media de minucias por dedo y sector presentó las diferencias sexuales significativas que se muestran en la tabla 24. En los sectores de las áreas externas al círculo y entre los dedos de la mano izquierda se encontraron un mayor número de diferencias estadísticamente significativas. Sólo en los dedos meñiques (D5 y D10) y en el anular izquierdo (D9) se encontraron diferencias sexuales en todas las áreas periféricas de los cuatro sectores.

Tabla 24.

Diferencias sexuales significativas para la media de minucias dentro del círculo, por sectores (RDD: radial distal dentro, UDD: ulnar distal dentro, RPD: radial proximal dentro, UPD: ulnar proximal dentro) y fuera del círculo, por sectores (RDF: radial distal fuera, UDF: ulnar distal fuera, RPF: radial proximal fuera, UPF: ulnar proximal fuera) y para los diez dedos (D1, ..., D10). * $p < 0.05$, ** $p < 0.001$.

	Dentro				Fuera			
	RD	UD	RP	UP	RD	UD	RP	UP
D1	*							*
D2					*			
D3								
D4			*	**	*	*	*	
D5	**				*	**	**	**
D6	*				*			
D7					*	*		*
D8	*				*	*		*
D9			**	*	*	**	**	**
D10				*	**	**	**	**

La densidad media fue también calculada para los cuatro sectores (distal: radial-RD y ulnar-UD; proximal: radial-RP y ulnar-UP), y los resultados obtenidos por dedo, en ambos sexos, se muestran en la figura 42. En los varones la densidad media por sector fue mayor en la mano derecha para los sectores radiales, tanto distal-RD como proximal-RP, y en la mano izquierda para los sectores ulnares, tanto distal-UD como proximal-UP, excepto en el dedo 9 en sector ulnar distal-UD que presentó valores significativamente bajos. Mientras que, en las mujeres, los valores fueron más altos en la mano derecha, para todos los sectores, excepto en el sector ulnar distal-UD que presentó valores más altos en los dedos de la mano izquierda, salvo en el dedo anular (D9). En la comparación sexual, se puede observar que los varones presentaron valores más altos en todos los dedos, y en ambas manos, que las mujeres, excepto en los dedos pulgares (D1 y D6) en el sector ulnar proximal-UP, en el índice derecho (D2) en el sector radial próxima-RP y en el pulgar izquierdo (D6) en el sector ulnar distal-UD.

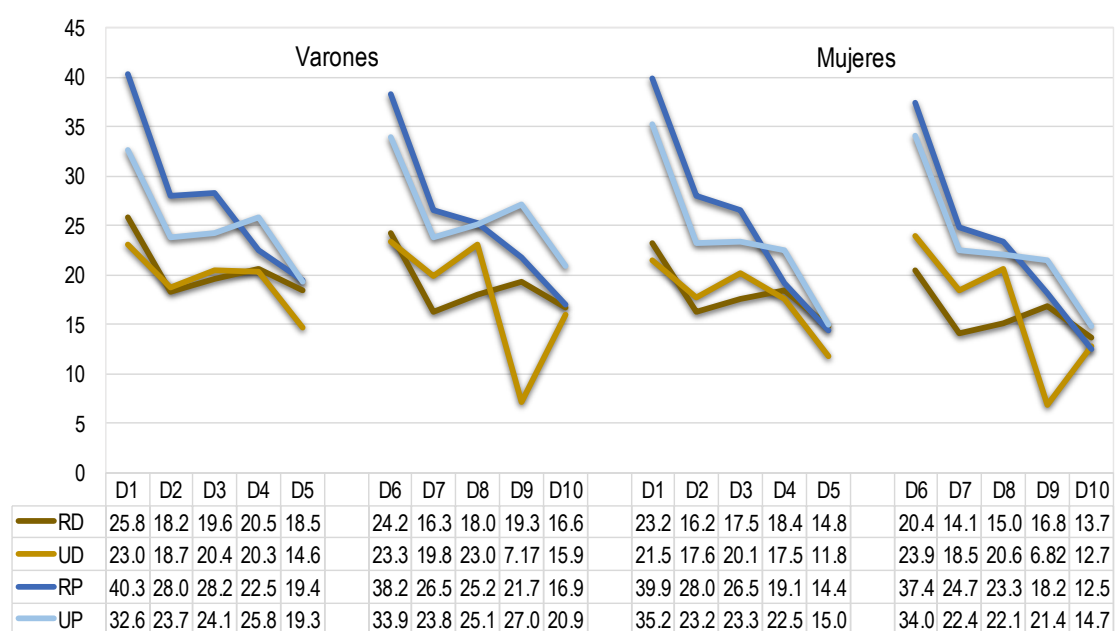


Figura 42. Medias de los tipos de *minutiae* por dedo, sexo y por sectores, RD: radial distal; UD: ulnar distal; RP: radial proximal; UP: ulnar proximal.

El sector radial distal (RD) fue el único sector que presentó diferencias sexuales estadísticamente significativas, para la media de minucias, en todos los dedos, siendo así el único que discriminaría el sexo en todos los dedos. Sin embargo, los dedos, anular de la mano derecha (D4) y los meñiques de ambas manos (D5 y D10), presentaron diferencias sexuales significativas en los cuatro sectores, siendo así los más discriminantes sobre cualquier área para el sexo, mientras que el dedo medio (D8) y

anular izquierdo (D9) las presentaron en dos sectores [D8 en el ulnar distal (UD) y ulnar proximal (UP); D9: radial proximal y ulnar proximal], y el resto de los dedos, medio derecho (D3) e índice izquierdo (D7) sólo en uno, en el radial proximal (RP) (tabla 25).

La densidad de minucias sobre el dactilograma fue también valorada sobre el área central y periférica al círculo diseñado para este estudio, y los valores registrados, tanto dentro como fuera del círculo y en el área total del dactilograma, se muestran en la figura 43. Como se puede observar, en los varones, la densidad media por área fue mayor en la mano derecha, tanto dentro como fuera del círculo, y sobre el área total, a excepción de los dedos pulgar-D1 y medio-D3, que presentaron valores más bajos dentro del círculo. Un patrón similar fue mostrado por las mujeres, en donde los valores más altos fueron encontrados también en la mano derecha y en las tres áreas, con la excepción, en este caso, de los dedos pulgar-D1, medio-D3 y anular-D4 dentro del círculo.

Tabla 25.

Diferencias sexuales significativas para la media de minucias por sectores (RD: radial distal, UD: ulnar distal, RP: radial proximal, UP: ulnar proximal), para los diez dedos (D1, ..., D10). * $p < 0.05$, ** $p < 0,001$.

	Total			
	RD	UD	RP	UP
D1	*			
D2	*			
D3	*		*	
D4	*	*	*	*
D5	*	**	**	**
D6	*			
D7	*		*	
D8	**	*		*
D9	*		**	**
D10	**	**	**	**

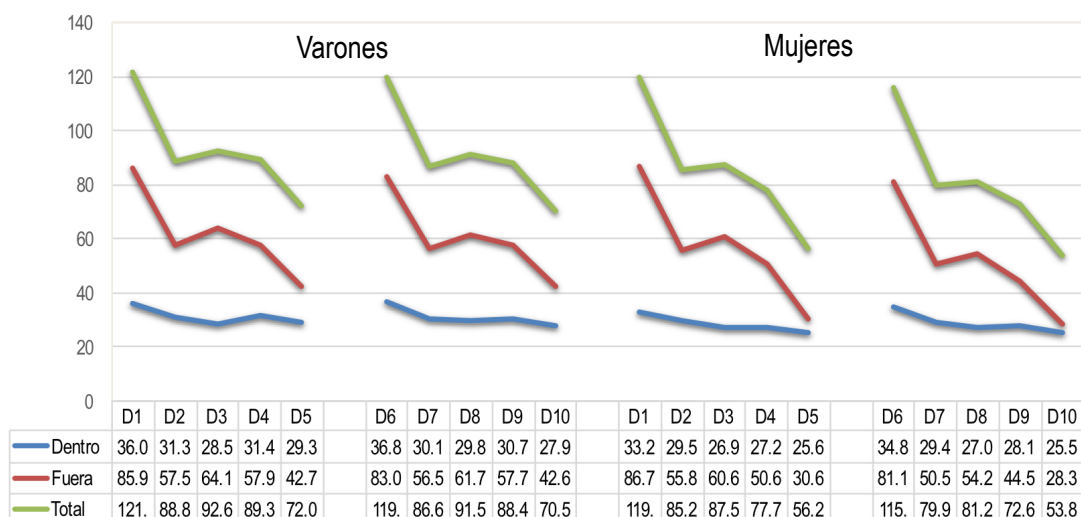


Figura 43. Medias de los tipos de *minutiae* por dedo, sexo y por área del dactilograma dentro y fuera del círculo.

La densidad media de *minutiae* presentó diferencias entre los dedos. Así, tanto en los varones como en las mujeres y en ambas manos, fuera del círculo y sobre el área total del dactilograma, el dedo que presentó mayores valores fue el pulgar, seguido del dedo medio, y este seguido del dedo anular y del índice en los varones y del dedo índice y anular en las mujeres y, en ambos casos, el que presentó valores más bajos fue el meñique (varones: pulgar > medio > anular > índice > meñique; mujeres: pulgar > medio > índice > anular > meñique) (figura 43). Sin embargo, dentro del círculo y en ambos sexos, se observaron menos diferencias entre la densidad de *minutiae* presentada por los dedos. Así, en los varones, los dedos se ordenaron de mayor a menor densidad de minucias en la mano derecha como sigue, pulgar > anular > índice > meñique > medio, y en la izquierda pulgar > anular > índice > medio > meñique, mientras que, en las mujeres, en ambas manos, el orden fue el mismo, pulgar > índice > anular > medio > meñique.

Al hacer la comparación sexual, se pudo observar que los varones presentaron valores más altos en todos los dedos y en ambas manos, encontrando diferencias estadísticamente significativas para el área total del dactilograma en todos los dedos, excepto en los pulgares (D1 y D6) de ambas manos (tabla 26). Mientras que, fuera del círculo, las diferencias sexuales fueron significativas, para el dedo anular (D4) y meñique (D5) de la mano derecha y en todos los de la mano izquierda, excepto en el pulgar (D6), y dentro del círculo, las diferencias sexuales estadísticamente significativas

fueron encontradas en la mano derecha, para los dedos pulgar, (D1), anular (D4) y meñique (D5), y en la izquierda para el medio (D8) y anular (D9) (tabla 26).

Tabla 26.

Diferencias sexuales significativas para la media de minucias por sectores por área (dentro y fuera del círculo) por dedo. * $p < 0.05$, ** $p < 0,001$.

	Dentro	Fuera	Total
D1	*		
D2			*
D3			*
D4	**	*	**
D5	*	**	**
D6			
D7		*	*
D8	*	*	**
D9	*	**	**
D10		**	**

Un análisis de agrupamiento fue realizado con la densidad de minucias por dedo, en ambos sexos, y sus resultados se muestran en la figura 44. Los resultados del dendrograma en los varones (figura 44a) claramente muestran una mayor similitud entre los dedos homólogos pulgares (V1 y V6), que los separa de todos los demás dedos, y dentro de estos, los índices (V2 y V7) aunque más parecidos entre ellos, presentan también mayor semejanza con el resto de dedos. Del mismo modo, en las mujeres, los resultados del dendrograma (figura 44b) muestran una mayor similitud entre los dedos homólogos pulgares (M1, M6) que se separan así del resto de dedos, y dentro de estos últimos los meñiques homólogos (M5, M10), se separan a su vez, debido a su mayor semejanza, del resto de dedos.

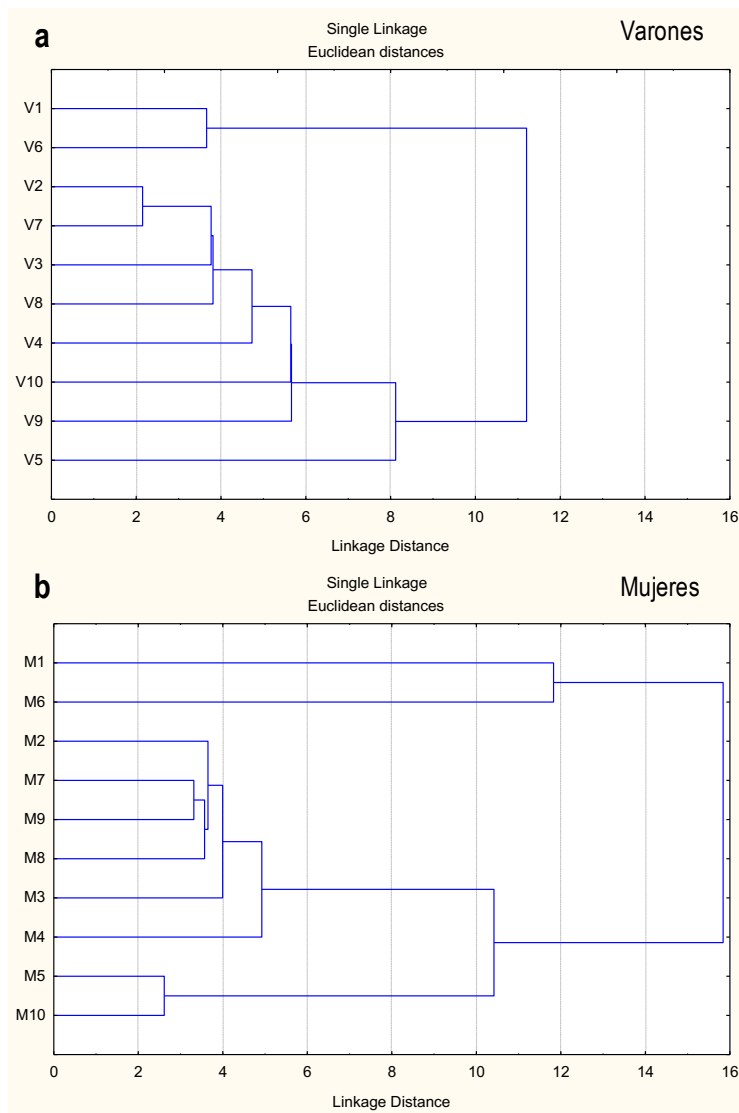


Figura 44. Análisis de Cluster basado en la densidad de minucias en los diez dedos (D1,...,D10) para los varones (a) y mujeres (b).

3.4.3. Variabilidad por tipo de figura principal

La variabilidad de la densidad de minucias fue valorada sobre cuatro tipos de figura principal, arco (A), presilla radial (PR), presilla ulnar (PU) y torbellino (T). Así, la densidad media de minucias observada, a partir de los diez dedos, en ambos sexos, para los ocho sectores se muestra en la figura 45. En ambos sexos densidad media, para los cuatro tipos de figura, fue mayor en todos los sectores proximales que en los sectores distales, tanto dentro como fuera del círculo. Los torbellinos (T), presentaron los valores medios de minucias más altos en todos los sectores, excepto en el ulnar proximal fuera

del círculo (UPF) en los varones, donde el valor más alto fue presentado por las presillas ulnares, y en el ulnar distal fuera del círculo (UDF) en las mujeres, en donde el valor fue más alto para los arcos. Numerosas diferencias significativas entre los tipos de figura en cuanto a la cantidad de minucias presentadas fueron encontradas para los ocho sectores valorados en ambos sexos (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$). Así, en los varones se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todos los sectores, excepto en el ulnar distal (UDF) y ulnar proximal (UPF) fuera del círculo, mientras que las mujeres presentaron diferencias significativas en todos los sectores, excepto en el radial distal (RDF) y ulnar proximal (UPF) fuera del círculo y en el radial proximal (RPD) dentro del círculo.



Figura 45. Medias de densidad de minucias por tipo de figura: arco-A; presilla ulnar-PU; presilla radial, sexo, y sectores (RDD: radial distal dentro; UDD: ulnar distal dentro; RDF: radial distal fuera; UDF: ulnar distal fuera; RPD: radial proximal dentro; UPD: ulnar proximal dentro; RPF: radial proximal fuera; UPF: ulnar proximal fuera). * diferencias significativas entre los tipos de figura $p < 0,05$.

Del mismo modo, la densidad media para los cuatro sectores, agrupando el área central y periférica en cada uno de ellos (RD, UD y RP, UP), fue valorada por tipo de figura principal. Los resultados obtenidos, para ambos sexos, se muestran en la figura 46. Una mayor cantidad media de minucias fue presentada por ambos sectores proximales, tanto en varones como en mujeres, siendo los torbellinos los que presentaron, en todos ellos, mayor densidad de minucias. Así, la cantidad de minucias encontradas en los diferentes sectores presentó diferencias significanticas entre los tipos de figuras valoradas (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$), siendo la media de minucias de los torbellinos en el sector radial distal (RD) estadística y significativamente mayor en los varones, que la presentada en los arcos, presillas radiales y ulnares, y en las mujeres que la presentada

en los arcos y presillas ulnares. Mientras que, en el resto de sectores (UD, RP y UP), sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los torbellinos (T) y las presillas ulnares (PU).

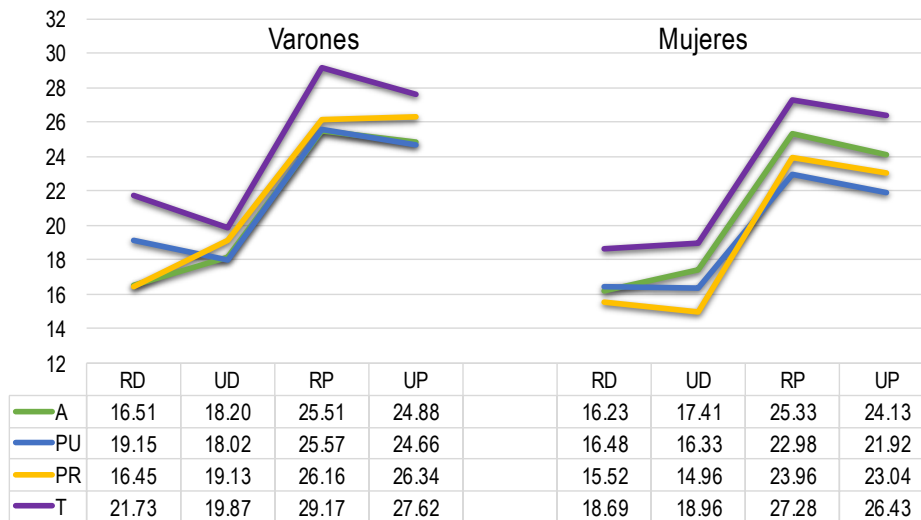


Figura 46.- Medias de densidad de minucias por tipo de figura: arco-A; presilla ulnar-PU; presilla radial, sexo, y sectores (RD: radial distal; UD: ulnar distal; RP: radial proximal; UP: ulnar proximal).

La variabilidad en la cantidad de minucias entre el área central y periférica del dactilograma fue también valorada en relación al tipo de figura principal presentada. Así, en la figura 47 se muestra la media de la densidad de minucias por tipo de figura, dentro y fuera del círculo, y en ambos sexos. Como puede observarse, los varones tuvieron mayor densidad de minucias que las mujeres en todos los tipos de figura, tanto dentro como fuera del círculo, siendo los torbellinos los que presentaron, en ambas áreas, los valores más altos. Los tipos de figuras pueden ser ordenados en función de la mayor a menor cantidad de minucias presentadas dentro del círculo, como sigue: torbellinos > presillas radiales > presillas ulnares > arcos; sin embargo, en la periferia del círculo, en las mujeres, la mayor cantidad de minucias, después de los torbellinos, la presentaron los arcos, seguidos de las presilla ulnares y radiales ($T > A > PU > PR$), mientras que en los varones, las presillas ulnares presentaron valores más altos que los arcos ($T > PU > A > PR$).

En ambos sexos, la cantidad de minucias dentro del círculo presentó diferencias significativas entre los cuatro tipos de figuras, mientras que fuera del círculo no fueron encontradas.

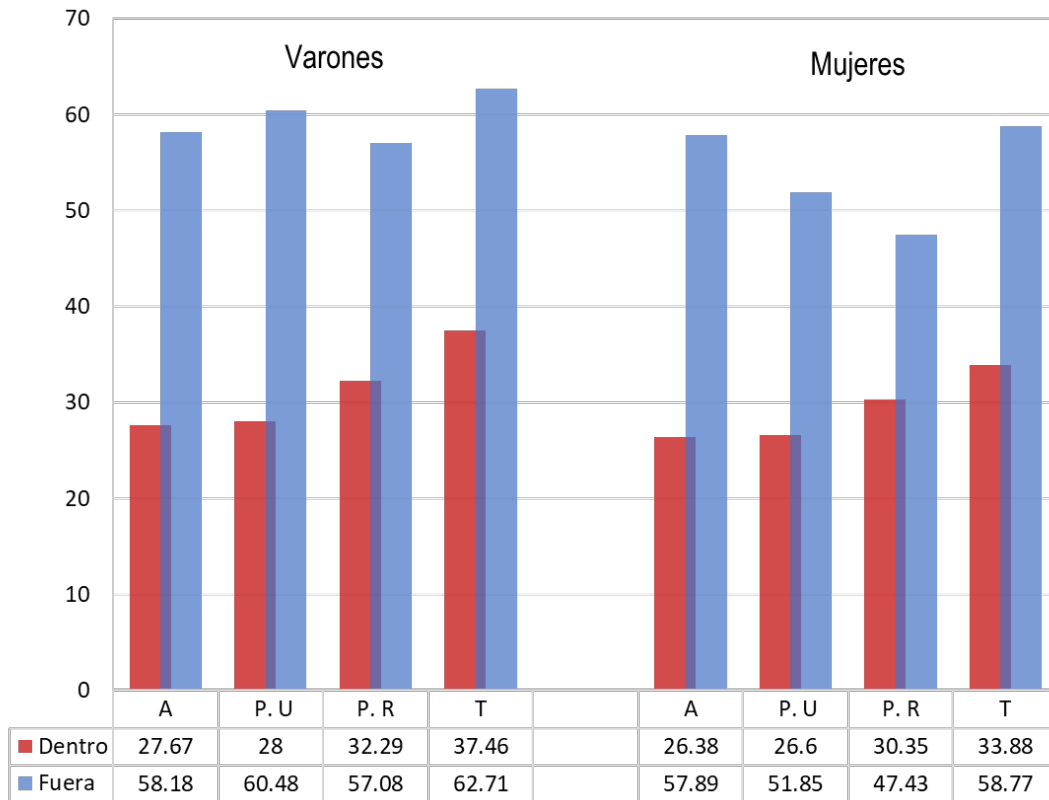


Figura 47. Medias de la densidad de *minutiae* por tipo de figura; arco (A), presilla ulnar (PU), presilla radial (PR) y torbellino (T), dentro y fuera del círculo y de ambos sexos, varones y mujeres.

3.5. Comparación interpoblacional

3.5.1 Tipo de figura principal

En la figura 48, se muestran las frecuencias relativas obtenidas para los cuatro tipos de figuras principales valorados en las tres muestras de población, española, argentina y mexicana. El tipo de figura más frecuente en todas las muestras fue la presilla ulnar, seguida del torbellino, presentado frecuencias considerablemente más bajas los arcos y las presillas radiales.

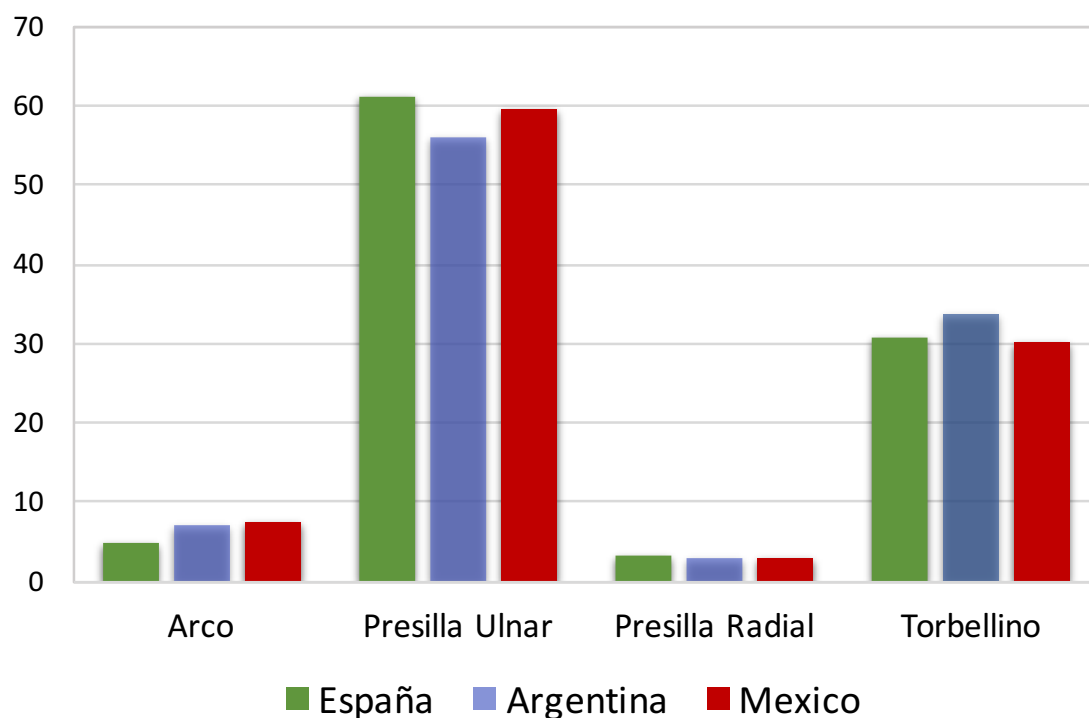


Figura 48.- Frecuencia por tipo de figura principal para tres poblaciones.

En la figura 49 se muestra mediante un análisis de correspondencias la dependencia estadísticamente significativamente encontrada entre los tipos de figura y las muestras de las tres diferentes poblaciones. La primera dimensión del análisis que explica el 76,35% de la inercia, separa los torbellinos asociados a la muestra argentina, y los arcos asociados a la muestra mexicana de las presillas ulnares y radiales más asociadas a la muestra española.

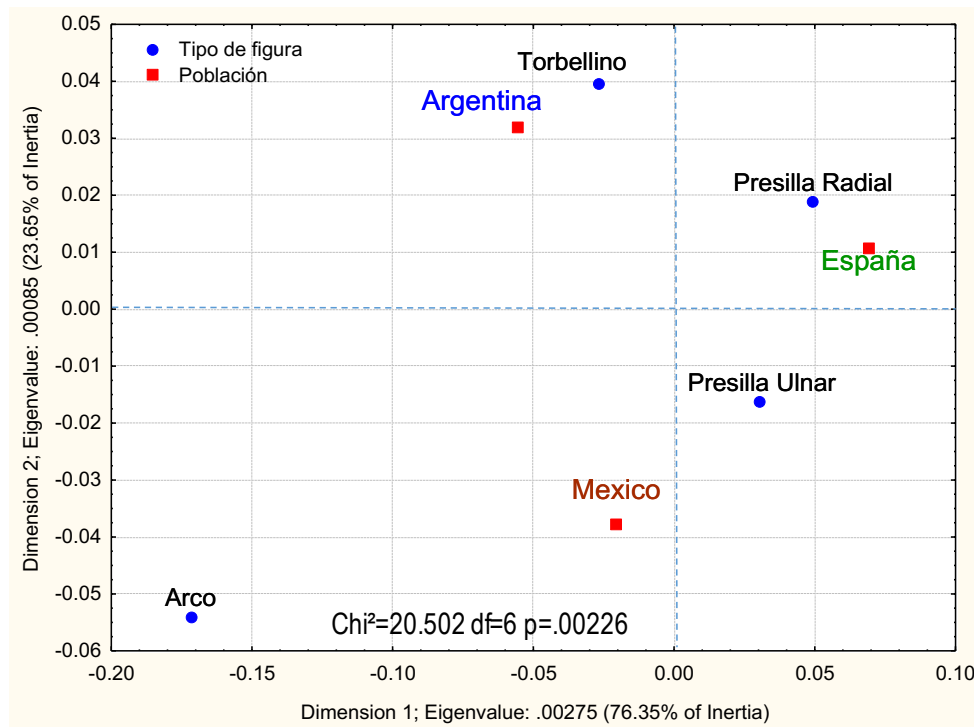


Figura 49. Análisis de correspondencia entre los tipos de figura principal y las poblaciones.

3.5.2 Densidad de crestas

Todas las poblaciones analizadas con la misma metodología han sido comparadas estadísticamente (tabla 27). La comparación de los resultados muestra que, en el área radial, las impresiones dactilares tanto de mujeres como de varones mexicanos presentan un recuento de crestas significativamente mayor y, por tanto, crestas más finas, que el resto de las poblaciones. En el área ulnar, los individuos mexicanos presentaron significativamente mayor densidad de crestas que el resto de las poblaciones, a excepción de los individuos de Jujuy y los varones de Tailandia. Por último, en el área proximal, la densidad de crestas de las muestras de México fue significativamente mayor a la del resto de poblaciones, a excepción de la muestra de Buenos Aires que fue significativamente menor.

Tabla 27.

Comparación entre las diferentes poblaciones que siguen la misma metodología mediante el test *t* de Student para muestras independientes.

		VARONES		MUJERES	
		t	p	t	p
RADIAL	México - Chubut	6.972	< 0,001	4.604	< 0,001
	México - Buenos Aires	9.122	< 0,001	7.824	< 0,001
	México - Ramal (Jujuy)	2.901	0.004	1.937	0.054
	México - Puna Quebrada (Jujuy)	4.329	< 0,001	4.785	< 0,001
	México - España	6.858	< 0,001	7.441	< 0,001
	México - Subsaharianos	16.303	< 0,001	-	-
	México - Palampur (India)	8.944	< 0,001	7.759	< 0,001
	México - Filipinas	17.017	< 0,001	17.836	< 0,001
	México - Tailandia	10.403	< 0,001	13.303	< 0,001
	México - Sudán	25.561	< 0,001	24.845	< 0,001
ULNAR	México - Chubut	6.240	< 0,001	4.569	< 0,001
	México - Buenos Aires	4.704	< 0,001	2.918	0.004
	México - Ramal (Jujuy)	-0.464	0.643	-0.260	0.795
	México - Puna Quebrada (Jujuy)	-1.726	0.086	0.305	0.761
	México - España	3.535	0.001	6.110	< 0,001
	México - Subsaharianos	7.711	< 0,001	-	-
	México - Palampur (India)	2.692	0.008	2.901	0.004
	México - Filipinas	17.876	< 0,001	18.516	< 0,001
	México - Tailandia	-1.243	0.215	3.411	0.001
México - Sudán	17.509	< 0,001	14.750	< 0,001	
PROXIMAL	México - Chubut	-2.746	0.007	-2.157	0.032
	México - Buenos Aires	1.388	0.167	0.437	0.663
	México - Ramal (Jujuy)	-3.061	0.003	-4.002	< 0,001
	México - Puna Quebrada (Jujuy)	-4.411	< 0,001	-8.639	< 0,001
	México - España	8.782	< 0,001	14.170	< 0,001
	México - Subsaharianos	8.390	< 0,001	-	-
	México - Palampur (India)	12.992	< 0,001	14.394	< 0,001
	México - Filipinas	12.130	< 0,001	12.269	< 0,001
México - Sudán	24.764	< 0,001	21.985	< 0,001	

En la tabla 28 se muestran los resultados promedio de los recuentos de crestas que se han encontrado en otras poblaciones. En todas las poblaciones, las mujeres presentan recuentos de crestas significativamente mayores que los varones.

Tabla 28.

Estudios de densidad de crestas del área radial, ulnar y proximal de varones y mujeres. Valores: Media (desviación estándar).

Muestra	Referencia	Densidad de crestas					
		Varones			Mujeres		
		Área radial	Área ulnar	Área proximal	Área radial	Área ulnar	Área proximal
USA (Afro-americanos)	Acree, 1999	10.90 (1.15)			12.61 (1.43)		
USA (Caucaso-americanos)	Acree, 1999	11.14 (1.31)			13.32 (1.24)		
Malasia	Nayak et al., 2010b	11.44 (0.988)			13.63 (0.906)		
China	Nayak et al., 2010b	11.73 (1.066)			14.15 (1.038)		
India (Karnataka)	Gungadin, 2007	12.80 (0.90)			14.60 (0.085)		
India (Manipal)	Nayak et al., 2010a	11.05 (1.11)			14.20 (0.63)		
India (Mysore)	Nithin et al., 2011	12.57 (1.49)			14.15 (1.68)		
India (Sikh Jat)	Kaur y Garg, 2011	12.05 (0.97)			14.14 (0.72)		
India (Banía)	Kaur y Garg, 2011	12.99 (1.19)			15.61 (1.43)		
Indo-Mauritania	Agnihotri et al., 2012	11.37			13.98		
India (Palampur)	Krishan et al., 2012	15.84 (1.231)	15.51 (1.081)	11.29 (1.108)	17.94 (1.232)	17.11 (1.207)	12.05 (0.870)
Sub-Sahara	Gutiérrez-Redomero et al., 2013b	14.33 (1.22)	14.51 (1.29)	12.07 (1.15)			
España	Gutiérrez-Redomero et al., 2008	16.23 (1.39)	15.31 (1.32)	11.87 (1.37)	17.91 (1.47)	16.38 (1.46)	11.96 (1.05)
Argentina (Mataco-Mataguayó)	Gutiérrez-Redomero et al., 2011	16.62 (2.71)	16.54 (2.80)	14.20 (2.01)	17.82 (2.87)	17.29 (1.76)	14.63 (1.42)
Argentina (Puna-Quebrada)	Gutiérrez-Redomero et al., 2013a	16.67 (1.78)	16.39 (1.75)	14.33 (1.31)	18.47 (1.56)	17.62 (1.62)	16.13 (1.54)
Argentina (Ramal)	Gutiérrez-Redomero et al., 2013a	17.04 (1.68)	16.10 (1.61)	14.08 (1.30)	19.08 (1.84)	17.75 (1.69)	15.12 (1.40)
Argentina (Buenos Aires)	Rivaldería et al., 2016	15.56 (1.49)	14.96 (1.55)	13.27 (1.11)	17.82 (1.36)	17.00 (1.68)	14.27 (1.18)
Argentina (Chubut)	Rivaldería et al., 2016	16.08 (1.47)	14.65 (1.48)	14.07 (1.42)	18.36 (1.83)	16.58 (1.68)	14.78 (1.34)
Filipinas	Taduran et al., 2016	14.57 (1.43)	13.10 (1.27)	11.36 (1.54)	15.89 (1.69)	14.22 (1.51)	11.97 (1.70)
Tailandia	Soanboon et al., 2015	15.98 (1.16)	16.23 (1.54)		17.23 (1.17)	16.99 (1.64)	
Sudán	Ahmed y Osman, 2016	12.80 (0.92)	13.02 (0.90)	9.75 (0.80)	14.50 (1.18)	14.73 (1.25)	10.80 (0.93)
México	Trabajo actual	17.73 (1.70)	16.00 (1.45)	13.52 (1.30)	19.56 (1.66)	17.69 (1.57)	14.35 (1.32)

3.5.3 Tipos de *minutiae*

Los resultados obtenidos en la muestra de población mexicana fueron comparados estadísticamente con los publicados para una muestra española (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011) y otras de población argentina (Rivaldería *et al.*, 2017).

Las frecuencias obtenidas para los tres tipos de *minutiae* más utilizados en identificación (abruptas, bifurcaciones y convergencias), dentro y fuera del círculo diseñado sobre el dactilograma, en ambos sexos, para las tres poblaciones, se muestran en la figura 50. Como puede observarse, en ambos sexos, la frecuencia más alta para las abruptas fue encontrada en las muestras de los españoles, seguida de los argentinos y mexicanos, mientras que, tanto para las bifurcaciones como para las convergencias, las frecuencias más altas fueron halladas en las muestras mexicanas, seguidas de las argentinas y las bajas fueron las presentadas por las muestras españolas, a excepción de las convergencias fuera del círculo.

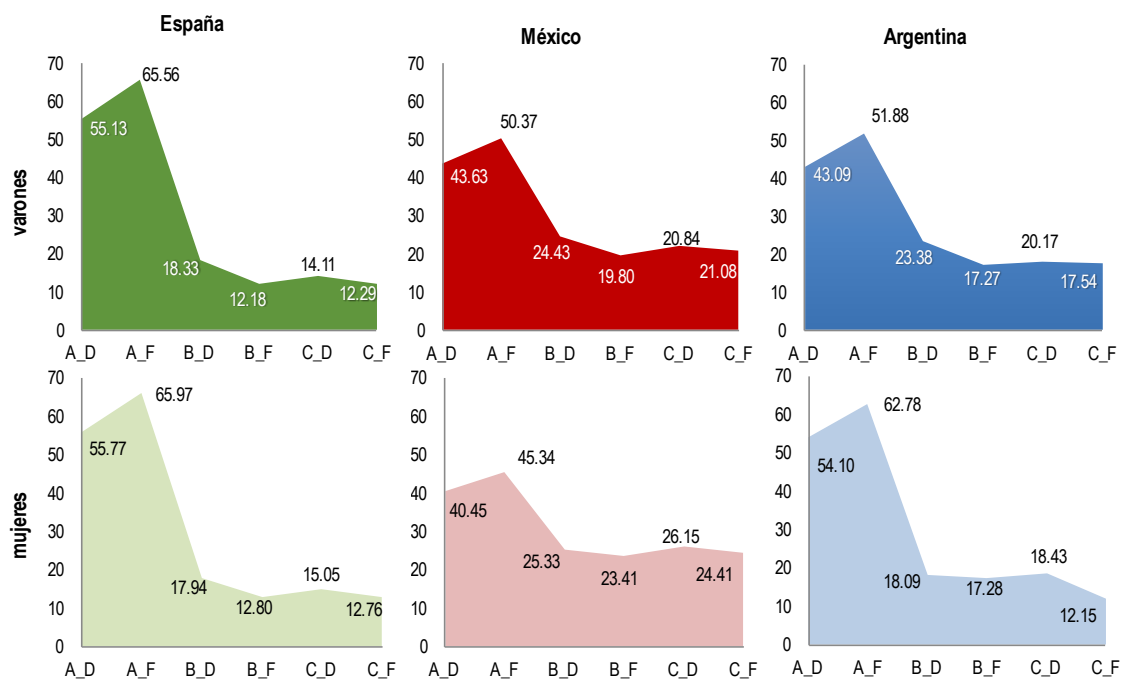


Figura 50.- Frecuencia relativas, a partir de las obtenidas en los diez dedos, de abruptas (A), bifurcaciones (B) y convergencias (C) dentro (D) y fuera (F) del círculo, para ambos sexos, de las muestras de población española, mexicana y argentina.

La distribución de las frecuencias encontrada para las abruptas, bifurcaciones y convergencias presentó diferencias estadísticamente significativas entre las tres poblaciones estudiadas (española, mexicana y argentina) ($\chi^2=9835.7$ $df=4$ $p<0.001$).

Así, como puede observarse en el análisis de correspondencias de la figura 51, es la primera componente, con un 99,47% de la inercia, la que explica toda la dependencia presentada por las muestras y separa la población española y argentina de la población mexicana. El análisis revela una clara asociación de las abruptas con las muestras españolas, de las convergencias con las muestras mexicanas, y de las bifurcaciones con las muestras argentinas.

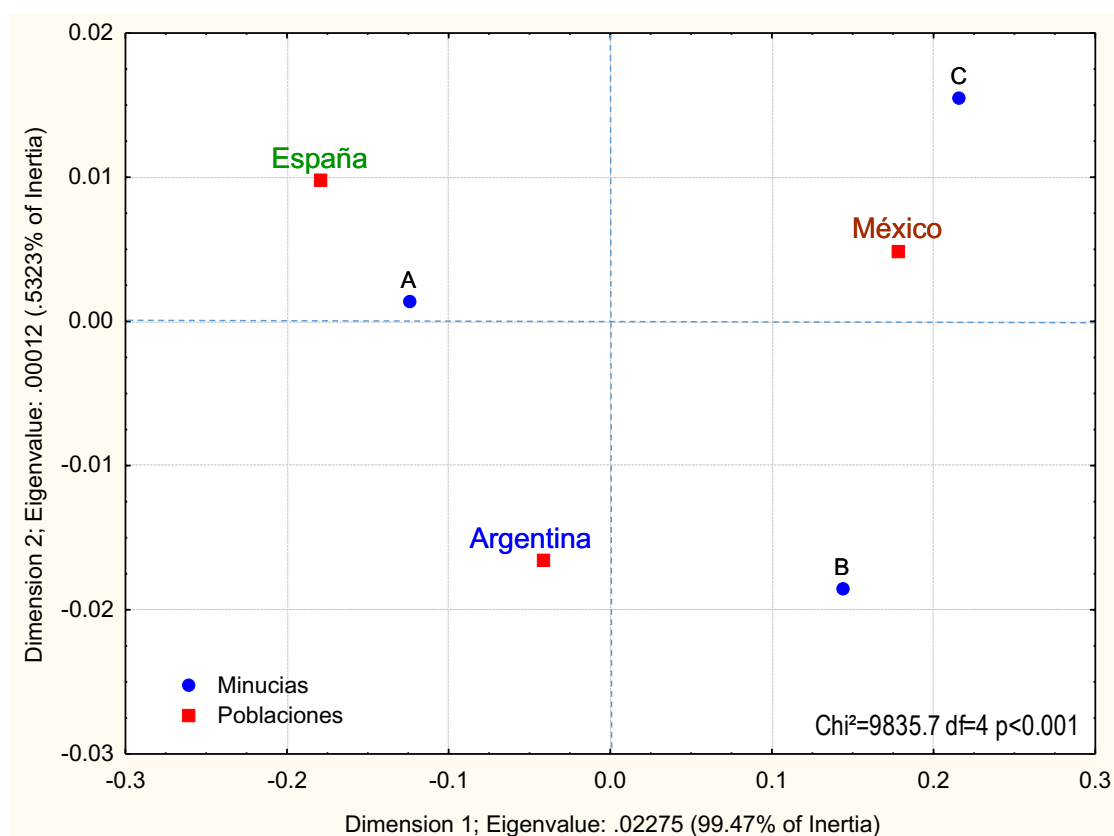


Figura 51. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias) y las poblaciones.

También fue valorada la asociación entre los tres tipos de *minutiae* (abruptas, bifurcaciones y convergencias) por área (dentro y fuera del círculo) y las tres poblaciones, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($\chi^2=20647$, $df=10$, $p<0.001$) (figura 52). Las dos dimensiones del análisis de correspondencia explican el 100% de la inercia, siendo la primera dimensión la que lleva mayor peso al explicar el 94.09%. Así, la primera dimensión separa la muestra española, asociada a abruptas y bifurcaciones dentro del círculo, de las muestras

argentinas asociadas a las abruptas fuera del círculo y de las mexicanas asociadas a las convergencias tanto dentro como fuera del círculo.

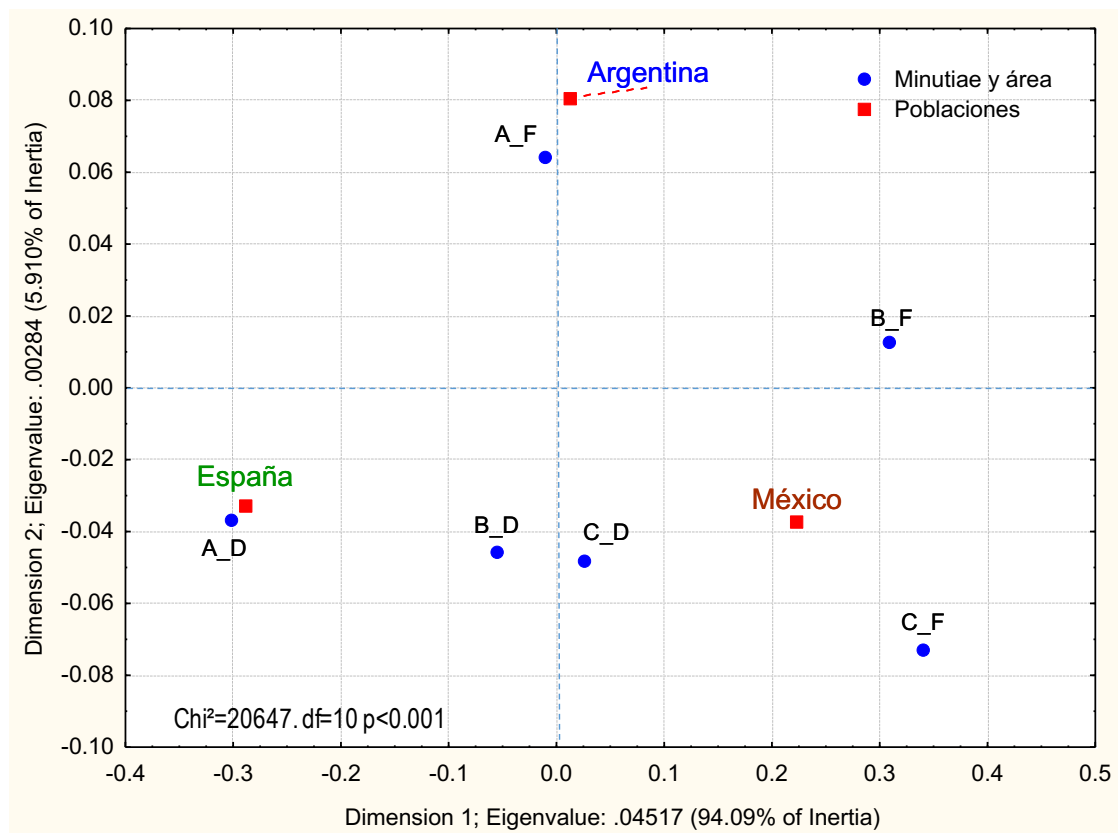


Figura 52. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias), dentro (D) y fuera (F) del círculo, y las poblaciones.

Las diferencias poblacionales también fueron evaluadas teniendo en cuenta el sexo. Así, en la figura 53 puede observarse el análisis de correspondencia resultante de valorar la asociación entre los tres tipos de *minutiae* (abruptas, bifurcaciones y convergencias) por área (dentro y fuera del círculo) y las tres poblaciones por sexo, que mostró una asociación estadísticamente significativa ($\chi^2=22648$. $df=25$ $p<0.001$). Las dos dimensiones del análisis de correspondencia explican el 98,54% de la inercia. La primera dimensión que explica el 90,59% separa las muestras españolas de ambos sexos y las mujeres argentinas, de las muestras mexicanas de ambos sexos y los varones argentinos. Las abruptas y bifurcaciones dentro del círculo se asociaron con las muestras de varones y mujeres españoles, las abruptas fuera del círculo con las mujeres argentinas y las convergencias tanto dentro como fuera del círculo con las mujeres mexicanas y las bifurcaciones fuera del círculo con los varones mexicanos y argentinos.

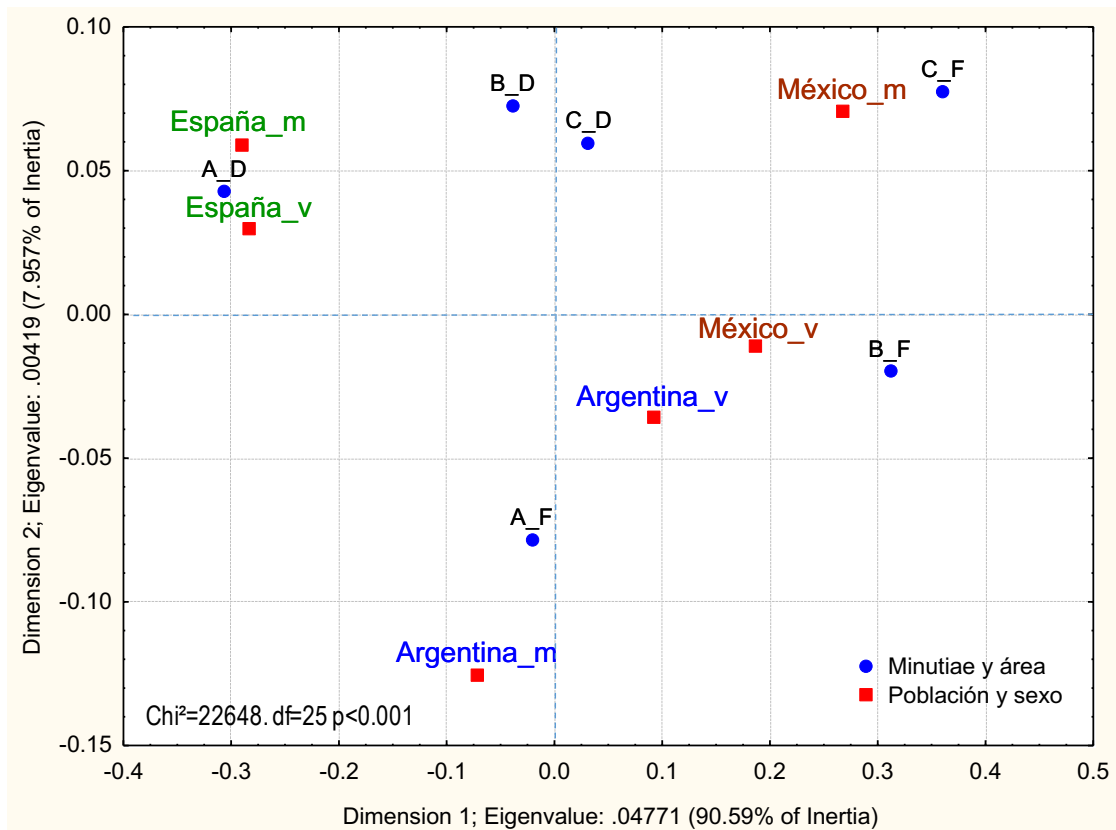


Figura 53. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias), dentro (D) y fuera (F) del círculo, por sexo (v: varones, m: mujeres) y las poblaciones.

Por último, la asociación entre los tres tipos de *minutiae* (abruptas, bifurcaciones y convergencias) y las poblaciones por tipos de patrón principal (arco, presilla radial y ulnar y torbellino) fue también valorada mediante un análisis de correspondencia que mostró una asociación estadísticamente significativa ($\text{Chi}^2=10189$. $\text{df}=22$ $p<0.001$) (figura 54). Las dos dimensiones del análisis de correspondencia explican el 100% de la inercia, siendo la primera dimensión la que explica el 98.22% y separa, independiente del tipo de figura, las muestras mexicanas de las españolas y argentinas, excepto para las presillas radiales de los argentinos. Las principales asociaciones se observaron para las convergencias que se asociaron a las muestras mexicanas con presillas radiales y ulnares, las bifurcaciones que se asociaron también a las muestras mexicanas, pero con torbellinos y arcos, y las abruptas que se asociaron a las muestras españolas con los cuatro tipos de figura y a las argentinas con torbellinos.

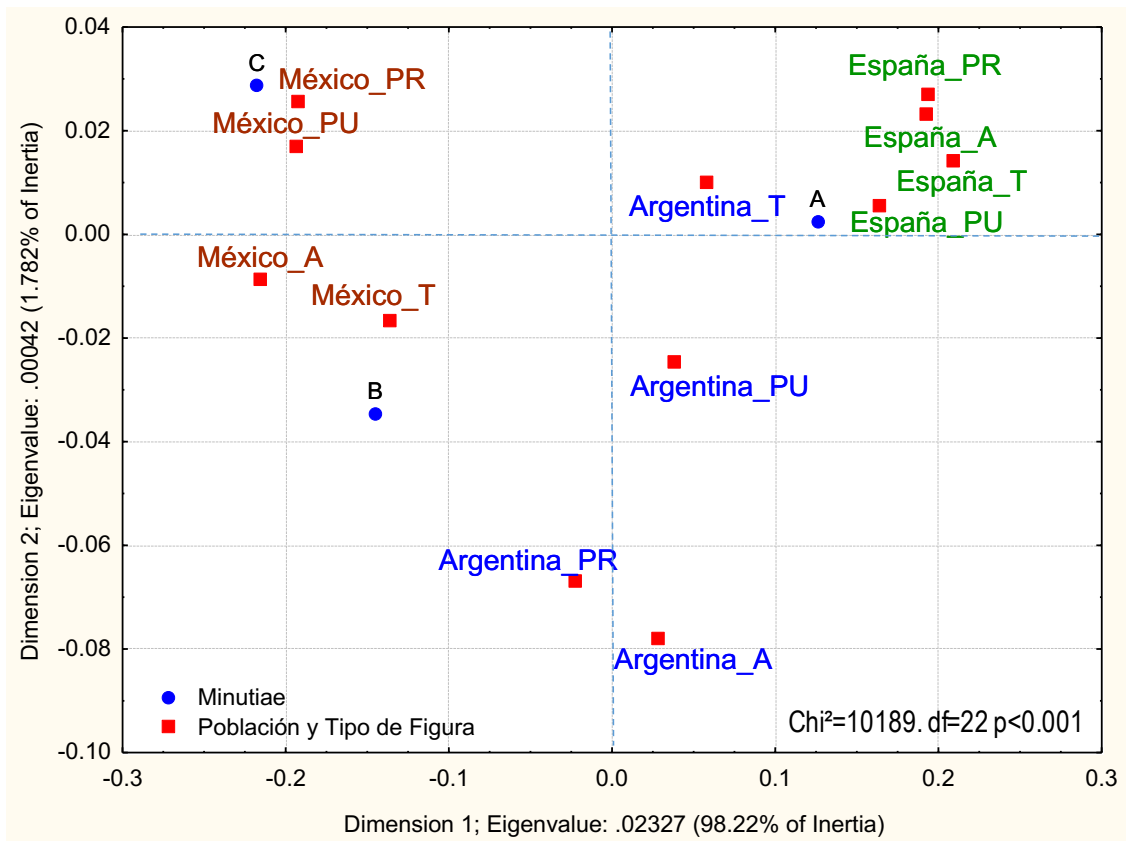


Figura 54. Análisis de correspondencia entre los tipos de *minutiae* (A: abruptas, B: bifurcaciones, C: convergencias), por tipo de figura (A: arco, PR: presilla radial, PU: presilla ulnar, T: torbellino) y las poblaciones.

Capítulo 4

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

1. Discusión

Las huellas dactilares han sido ampliamente utilizadas para establecer la identidad humana debido a la gran variabilidad que presentan sus rasgos morfológicos, lo que permite la identificación incluso de los gemelos monocigóticos. Aunque se han llevado a cabo numerosos estudios sobre las huellas dactilares de las diferentes poblaciones, algunas de sus características han recibido más atención que otras, tales como la frecuencia de los principales tipos de patrón (arco-A, presilla radial-RL, pesilla ulnar-UL y torbellino-W) y el recuento de crestas parcial (RC) o total (RCT), así como su variabilidad y herencia en diferentes poblaciones humanas. Sin embargo, otras características, como las *minutiae* o la anchura y densidad de crestas han recibido relativamente menos atención, a pesar de su considerable interés, debido a su relevancia directa en la identificación personal.

Durante la última década de este siglo, el desarrollo de modelos estadísticos en apoyo de la identificación forense con huellas dactilares ha sido objeto de una creciente atención por parte de la comunidad científica, siendo vistos, cada vez más, como herramientas útiles para apoyar el proceso de identificación (Saks 2000, 2010; Kennedy, 2003; Cole, 2005, 2006, 2008; Grivas y Komar, 2008; Koehler y Saks, 2010).

Después de más de un siglo de aceptación de los peritajes basados en pruebas dactiloscópicas, no ha sido hasta el año 2010, que la *International Association for Identification* (IAI) ha anulado la prohibición a sus expertos para emitir sus conclusiones como posibles, o probables (Polski *et al.*, 2011), decidiendo apoyar el uso futuro de modelos estadísticos válidos (siempre que sean aceptados por la comunidad científica), para su empleo en las evaluaciones de identificación por los profesionales. Además, el *European Fingerprint Working Group* (EFPWG) de la Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses (ENFSI) también ha abogado por el desarrollo de modelos estadísticos, que permitan estimar el valor científico de las evidencias dactiloscópicas, sic “*The EFPWG promotes research in order to improve the methods used to estimate the scientific value of the fingerprint evidence...*” (EFPWG, 2011).

Por todo ello, y dado que dentro del campo forense se considera que las modalidades dominantes de bioinformación son y serán el ADN y las huellas dactilares (Nuffield Council on Bioethics, 2007), se hace necesario invertir en el desarrollo de modelos que

permitan la cuantificación del peso de la evidencia. Resulta paradójico que, mientras que los especialistas en ADN deben indicar el peso de la evidencia a través de una estadística, que se calcula a partir de los principios genéticos y una base de datos de referencia adecuada, los tribunales acepten que los peritos de huellas dactilares expresen sus opiniones de forma categórica.

El problema para alcanzar este objetivo es que la investigación sobre el uso de modelos estadísticos en la identificación con huellas dactilares, aunque se está desarrollando, está todavía en sus etapas iniciales. Los estudios poblacionales para establecer una probabilidad de coincidencia en las huellas dactilares comenzaron con los cálculos de Galton (1892), que estableció una probabilidad para la coincidencia morfológica de dos huellas diferentes de $1,45 \times 10^{-11}$. Aunque este dato ha sido ampliamente utilizado como medida de individualización y garantía de aplicación en el proceso de identificación, su cálculo ha sido cuestionado y desestimado desde hace tiempo. Otros intentos para establecer esta probabilidad fueron realizados sin éxito. Así, aunque en la actualidad, ninguno de los modelos conocidos tiene la certificación o el reconocimiento oficial de las instituciones de identificación forense para su aplicación en casos prácticos (Stoney, 2001; Pankanti *et al.*, 2002; NRC, 2009; Polski *et al.*, 2011), algunas aportaciones muy interesantes han sido hechas, lo que anuncia un cambio en el futuro (Neumann *et al.*, 2006, 2007, 2011, 2012; Neumann, 2013; Abraham *et al.*, 2013a, 2013b). Las recientes actualizaciones en instituciones forenses clave, como ENFSI, admitiendo la aplicación de modelos de probabilidad, proporcionan razones de peso para la investigación en el desarrollo de éstos modelos, allanan el camino para su utilización en el marco del protocolo ACE-V. V (análisis, comparación, evaluación y verificación) (Saks 2000, 2010; Kennedy, 2003; Cole, 2005, 2006, 2008; Grivas, 2008; Koehler y Saks, 2010).

Durante la mayor parte del siglo XX, la identificación forense con huellas dactilares ha tenido una aceptación casi unánime como una evidencia forense sólida, por lo que ha sido ampliamente utilizada en todo el mundo con fines forenses. Así, los testimonios prestados por los peritos en este campo han sido raramente cuestionados, en virtud de la base científica de sus testimonios. Sin embargo, en las dos últimas décadas, se han planteado una serie de cuestiones que reflejan la necesidad de revisar y mejorar la base científica en que se sustenta la identificación forense a partir de huellas dactilares (Cole, 2008; Haber y Haber, 2008; Saks, 2010; Koehler y Saks, 2010). La decisión *Daubert*

tomada por la Corte Suprema en los EE.UU. en 1993, en el caso de *Daubert v Merrell Dow Farmacéutica* (Page *et al.*, 2011), ampliamente conocida, hace referencia a los criterios científicos necesarios para la admisibilidad del testimonio de un experto sobre una prueba pericial y supuso un antes y un después en la revisión de las disciplinas forenses. Estas directrices han marcado el camino a seguir en las jurisdicciones internacionales, como lo demuestran diferentes documentos de consulta que también establece normas similares (The UK Law Commission 2011).

La gran variabilidad observada en los diseños presentados por las crestas dermopapilares sobre las superficies crestadas de la piel, han sido la base teórica tradicional de la que se ha derivado la existencia de un alto poder discriminante que ha llevado a considerar a estas características como “únicas” e individualizadoras. Pero, dado que no es imposible estudiar todas las impresiones dactilares, palmares o plantares dejadas por los individuos del planeta, los expertos o analistas nunca podrán probar la exclusividad o “unicidad” de la fuente a través de la lógica inductiva, y sólo pueden realizar una inferencia (Vanderkolk, 2011). Por lo que, cada vez son más los expertos, que no consideran necesario que las características empleadas en identificación deban ser individualizadoras, mientras presenten un alto poder discriminante.

Hay también una falta de consenso en lo que se refiere a la cuantificación de las tasas de error en la determinación de los puntos en "correspondencia" entre las huellas dubitadas e indubitadas (Koehler, 2008; Ulery *et al.*, 2011, 2012, 2014; Expert Working Group on Human Factors in Latent Print Analysis, 2012; Fraser-Mackenzie *et al.*, 2013; Kellman *et al.*, 2014; Mustonen *et al.*, 2015), lo que viola claramente los criterios *Daubert* (Saks y Koehler, 2005, 2008; Cole, 2006; Kaye, 2010; Page *et al.*, 2011). Por todo ello, es también necesario realizar la investigación necesaria para establecer el cálculo de las tasas precisas de error en el proceso de identificación dactiloscópica.

La regla tripartita establecida por Edmond Locard ha sido la base de la utilización de un estándar numérico a alcanzar en las conclusiones de identificación realizadas por los profesionales de huellas dactilares (Champod, 1995; Champod, 2009). En general, esta regla tripartita puede ser vista como un marco probabilístico, donde la aplicación con éxito de la primera y segunda regla, son una declaración de certeza de que la huella y la impresión comparten la misma fuente, mientras que, en la aplicación de la tercera norma, se plantea un rango de probabilidad de entre 0% y 100%. Desde que esta regla

fue establecida, en la mayoría de los países sólo se aplica la primera parte de la misma, estableciendo así un estándar numérico que con el tiempo ha ido variando de unos países a otros. A partir de la resolución de la *International Association for Identification* (IAI, 1973) algunos países, como Australia, Reino Unido y EE.UU. (Champod *et al.*, 2004; Polski *et al.*, 2011) adoptaron un enfoque integral, donde no se exige ninguna norma numérica estricta, dejando al criterio del experto la decisión de cuándo hay características suficientes en el cotejo para establecer una identificación. Sin embargo, actualmente, se utilice uno u otro método, los informes de los peritajes dactiloscópicos se limita, en gran medida, a las conclusiones que transmiten una declaración de certeza, a favor o en contra de la identidad, ignorando así, el resultado probabilístico del tercer enunciado de la regla.

En los últimos tiempos, sin embargo, el marco probabilístico para la identificación con huellas dactilares ha recibido una mayor aceptación dentro de la comunidad forense, que está apoyando el desarrollo de modelos adecuados, basados en sólidos principios científicos. El reciente cambio de posición de organizaciones de gran predicamento dentro de las ciencias forenses, como la IAI o ENFSI, anulando la prohibición de emitir las conclusiones como posibles o probables, y apoyando el uso futuro de modelos estadísticos en las evaluaciones de identificación, ha supuesto un cambio sustancial de pensamiento que, sin duda, proporciona fundamentos de peso para justificar inversión en la investigación necesaria para su desarrollo.

En el contexto actual planteado, la investigación desarrollada en esta tesis aporta los primeros datos sobre la variabilidad de las *minutiae* en población mexicana, que podrán ser utilizados tanto en la elaboración de protocolos de trabajo e informes periciales, como para el desarrollo de modelos probabilísticos. Además, los datos aportados en relación con las diferencias sexuales en densidad de crestas abren una puerta a su aplicación, a partir de huellas de origen desconocido, en la inferencia del sexo.

Si bien los resultados obtenidos que se presentan en esta tesis, en relación a las frecuencias de *minutiae* y cálculo de la densidad de crestas, constituyen las primeras aportaciones en muestras de población mexicana, los expuestos en relación al tipo de patrón principal, complementan otros ya publicados sobre poblaciones de nuestro país.

En lo que respecta a la frecuencia presentada por los **tipos de figura** principal en la muestra estudiada, se encontró una asociación significativa entre el tipo de figura principal y los diferentes dedos. De este modo, los dedos pulgares y anulares se asocian con los torbellinos; los dedos meñiques y medios con las presillas ulnares y los dedos índices con los arcos y, en menor medida, con las presillas radiales. Esta distribución coincide con la descrita en otros trabajos como los de Schaumann y Alter (1976), Gutiérrez-Redomero *et al.* (2008; 2011; 2013a; 2013b) o Rivaldería *et al.* (2016) entre otros.

Por otra parte, las frecuencias globales encontrados para el **tipo de figura principal** en la muestra de México, se asemejan a los descritos por otros autores, por ejemplo; para la década de los treinta, cuando surgen investigaciones impulsadas por la Universidad de Tulane Cummins (1932), Cummins y Steggerda (1936). Leche y colaboradores desarrollan diversas investigaciones dermatoglíficas en las regiones sureste y el altiplano mexicanos, en grupos tales como tarahumaras (1933), chamulas (1936), aztecas (1936); en colaboración con Tharp, en zinacantecos, huastecos, amatenangos y tzetzales (1944) y en los tarascos (1936); Kalmus *et al.* (1964) y Zavala *et al.* (1969), en población mestiza.

La estandarización de la nomenclatura de los parámetros dermatoglíficos fundada por Penrose en 1968, abre una nueva etapa de estudio en este campo en México, no solo para brindar aportaciones en el campo del diagnóstico clínico, sino también en la biología en relación con los aspectos evolutivos de los primates y principalmente en la antropología como un medio para determinar las distancias genéticas que separan a los diversos grupos étnicos de México, así como el flujo poblacional en Mesoamérica (Figueroa 1990).

En la década de los setenta, Alfonso León de Garay, en colaboración con Kalmus Rodarte y Cobo (1964), describen las frecuencias de los patrones digitales en una población urbana, es así como, corresponde a de Garay el impulso de la dermatoglifia en México con investigaciones especializadas en grupos indígenas tales como los otomíes y lacandones.

Otras investigaciones enfocadas al campo de la dermatoglifia son: Ferré D'Amaré y Stephens (1974), en poblaciones nahuas y huastecas; en descendientes tlaxcaltecas en el

estado de Coahuila, Crawford *et al.*, (1976). Pueden citarse también los trabajos de Aréchiga en Tojolabales (1979) y Lagunas *et al.* (1985), en mazahuas y en grupos de filiación otopame (2004). No dejaremos de mencionar que corresponde a Serrano el haber dado el mayor número de contribuciones en esta área, algunas son: grupos de Puebla (Serrano 1969, 1975a) de Yucatán (Serrano 1973, 1975b), del Estado de México (Serrano 1975c), los huastecos, zoques, totonacos, nahuas y tuzantecos (Serrano, 1974), en mayas (Serrano 1975, 1979) y en coras (Serrano, 1980), por mencionar solo algunos de sus trabajos, situándose dentro del rango de variabilidad descrito para poblaciones.

Además, debido a la gran variabilidad de rasgos morfológicos que presentan las crestas papilares de las huellas dactilares, se encontraron diferencias sexuales en relación a rasgos como el grosor de crestas al presentar, generalmente, las mujeres crestas más finas que los varones, ha posibilitado su aplicación en la inferencia del sexo en el ámbito forense (Cummins *et al.*, 1941; Taduran *et al.*, 2016).

En relación a la anchura y densidad de las crestas, clásicamente el número de crestas de un dactilograma ha sido evaluado a partir del recuento de crestas entre el trirradio o delta y el núcleo de la figura (recuento de la línea de Galton o valor cuantitativo), y sobre las impresiones de la palma de las manos se ha realizado fundamentalmente, mediante los recuentos de crestas entre los trirradios de las áreas interdigitales. De esta manera, el recuento de crestas ha sido ampliamente utilizado, siendo la principal variable cuantitativa analizada en los estudios dermatoglíficos. Los resultados obtenidos a partir de estos recuentos han presentado diferencias digitales radio-ulnares, bimanuales, sexuales y poblacionales (Mavalwala, 1977; Meier 1980; ver revisiones bibliográficas Figueras, 1993; Kumbnani, 2007). Aunque este tipo de recuento de crestas es de gran interés, sólo puede realizarse sobre los patrones que presenten un trirradio o delta, como es el caso de las presillas y los torbellinos, pero no en los arcos. Además, el recuento de crestas siempre se realiza en el área proximal del dactilograma, donde se encuentran situados los trirradios y, dado que la línea de recuento no siempre es perpendicular a la dirección de las crestas, este tipo de recuento tampoco permite estimar la anchura de cresta.

En este estudio, a diferencia de los que han utilizado el método clásico de recuento, la variabilidad de la densidad de crestas de las impresiones digitales ha sido estudiada a

partir de métodos que permiten analizar las diferencias topológicas dentro de cada dedo, en todos los tipos de patrones principales, tengan o no trirradio.

El primer método que permitió la evaluación de la densidad de las crestas sobre la superficie completa de las impresiones dactilares, en todos los tipos de patrones, y palmares, fue desarrollado por Cummins *et al.* (1941). El recuento de crestas se llevó a cabo sobre una línea, de un 1 cm, siempre perpendicular al flujo de cresta, que se situaba sobre diferentes áreas de las impresiones dactilares o palmares. Los trabajos basados en esta metodología mostraron diferencias para la anchura de las crestas entre diferentes áreas topológicas, sexos y poblaciones (Cummins *et al.*, 1941; Ohler y Cummins, 1942; Penrose y Loesch, 1967; Jantz y Parham 1978; Králík y Novotný, 2003).

Más recientemente y con un enfoque para su aplicación forense, Acree (1999) propuso un modelo para valorar la densidad de crestas a partir de su recuento sobre la diagonal de un cuadrado de 5 mm x 5 mm, situado sobre el lado radial de la impresión (sin especificar más sobre su localización). A partir de las diferencias sexuales obtenidas en la distribución de la densidad de crestas calculaba el *likelihood ratio*, como método para la inferencia del sexo, de cara a su aplicación sobre huellas latentes de sexo desconocido reveladas en la escena del delito. Posteriormente, Gutiérrez-Redomero *et al.* (2008), propuso ampliar a tres las áreas de recuento, estandarizando su ubicación sobre el dactilograma. Esta metodología permite valorar diferencias topológicas sobre la superficie dactilar en todos los tipos de figura principal, incluido el arco, e inferir la anchura de crestas. Han sido diferentes los estudios publicados que han seguido la metodología de Acree (Gungadin, 2007; Nayak *et al.*, 2010a, 2010b; Kaur y Garg, 2011; Nithin *et al.*, 2011; Agnihotri *et al.*, 2012), en los que el área de recuento se localiza sobre el lado radial del dactilograma, aunque en muchos de estos trabajos, hay que tener en cuenta que no se especificó el método de obtención de la impresión dactilar (rodado o posado), aspecto especialmente relevante teniendo en cuanto los resultados aportados en el estudio de Gutiérrez-Redomero *et al.* (2014). En este estudio los autores demostraron la existencia de diferencias significativas en los recuentos de crestas según la localización del área de recuento (central o periférica) sobre el dactilograma, y del método empleado en la obtención de la impresión dactilar (posado o rodado). Así, la densidad de crestas fue, tanto en las impresiones rodadas como en las posadas,

independientemente del sexo, mayor en las áreas centrales que en las periféricas. Además, para ambos sexos las impresiones rodadas presentaron en las áreas radiales y proximales mayores recuentos que las posadas, mientras que en la zona ulnar ocurría lo contrario, siendo las rodadas las que presentaron recuentos más bajos, posiblemente por un efecto de distorsión en el proceso de rodado. Por todo ello, la comparación de los resultados entre diferentes muestras, especialmente de cara a su aplicación forense, requiere la estandarización en la localización de las áreas de recuento sobre la superficie del dactilograma y un mismo procedimiento en la toma de la muestra (rodado o pasado).

Siguiendo este razonamiento en este estudio hemos seguido el método de estandarización propuesto para la valoración de la densidad de las crestas por Gutiérrez-Redomero *et al.* (2008). De este modo, se ha valorado la densidad de crestas en tres áreas, dos en la zona distal (radial y ulnar) y otra en la zona proximal.

Las diferencias topológicas y digitales encontradas para la densidad de crestas en la muestra de población mexicana presentaron un patrón común de distribución en ambos sexos, aunque variaban en su dimensión. El recuento de crestas en las tres áreas analizadas muestra las diferencias en el grosor de estas sobre la superficie dactilar. En general, se observa un patrón de distribución de mayor densidad en la región distal, respecto a la menor densidad observada en el área proximal. Esto indica, por tanto, que en la región distal de los dedos hay crestas más finas que en la proximal. Este gradiente distoproximal observado en las huellas dactilares se corresponde con el patrón de disminución de grosor de crestas que Cummins *et al.* (1941) y Ohler y Cummins (1942) describieron que se produce desde la falange distal de los dedos (con crestas más finas) hasta la región proximal de la palma (con crestas más gruesas). Además, se ha encontrado que, tanto en varones como en mujeres, los dedos pulgares e índices son los que presentan, en la zona distal de ambas manos, una menor densidad de crestas, y de este modo, crestas más gruesas, mientras que son los dedos anulares, los que poseen una mayor densidad de crestas y, por tanto, crestas más finas en su superficie dactilar que el resto de los dedos. En la zona proximal, sin embargo, los dedos meñiques son los que presentan una menor densidad de crestas en ambos sexos, y así, crestas más gruesas, mientras que los dedos pulgares y anulares son los que presentan una mayor densidad y por tanto crestas más finas. Estos resultados coinciden con los encontrados en otras poblaciones que han valorados este rasgo siguiendo la misma metodología, como en la

población española (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2008), la población argentina de Mataco-Mataguayo (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011), de Ramal y Puna-Quebrada (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013a), de Buenos Aires y Chubut (Rivaldería *et al.*, 2016) así como población subsahariana, concretamente una muestra de varones (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013b), filipina (Taduran *et al.*, 2016), tailandesa (Soanboon *et al.*, 2016); y sudanesa (Ahmed y Osman, 2016), entre otros, lo que hace pensar en un posible patrón universal, que debe ser corroborado con la realización de un mayor número de estudios que puedan ser comparables al compartir una misma metodología.

En cuanto a la lateralidad, en nuestra población hemos encontrado diferencias significativas entre ambas manos, en todas las áreas. En ambos sexos, la densidad de crestas de la mano izquierda fue significativamente más alta, presentando así crestas más finas, que en la mano derecha. Además, los resultados encontrados en el presente estudio también revelan diferencias significativas en relación con el grosor de crestas entre los sexos. Así, las mujeres presentan crestas significativamente más finas, con un recuento de crestas por área superior al de los varones en las tres áreas valoradas (radial, ulnar y proximal). Estas diferencias en la anchura de crestas, bimanuales y entre sexos, también han sido encontradas en otros estudios que la han valorado del mismo modo (Acree, 1999; Gungadin, 2007; Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2008; 2011; 2013a; Nayak *et al.*, 2010a, 2010b; Nithin *et al.*, 2011; Kaur y Garg, 2011; Agnihotri *et al.*, 2012; Krishan *et al.*, 2012; Soanboon *et al.*, 2015; Rivaldería *et al.*, 2016; Taduran *et al.*, 2016; Ahmed y Osman, 2016). Además, las diferencias sexuales en densidad de crestas, y así en grosor, también han sido observadas en todos los estudios que han valorado la densidad de crestas, siguiendo el método de Acree (1999) sobre el área radial (Gungadin, 2007; Nayak *et al.*, 2010a, 2010b; Kaur y Garg, 2011; Nithin *et al.*, 2011; Agnihotri *et al.*, 2012).

Al realizar una comparación con todas las poblaciones que han evaluado la densidad de crestas sobre las tres áreas dactilares, siguiendo la metodología de Gutiérrez-Redomero *et al.* (2008) se observa que, en el área radial, en ambos sexos, las muestras mexicanas son las que tienen mayor densidad de crestas, mientras que en el área ulnar y proximal, los valores más altos los presentaron las muestras de argentina. Por el contrario, los valores más bajos y así las crestas más gruesas fueron presentadas por las muestras

sudanesas (Ahmed y Osman, 2016) para las tres áreas en los varones, y para el área radial y proximal en las mujeres.

Pero si la comparación se realiza con todos los estudios que han evaluado la densidad de crestas en la zona radial de la impresión, independientemente del método seguido para la ubicación del área, las muestras de México, en ambos sexos, son las que presentan mayor densidad de crestas; y la muestra poblacional que, en este caso, presentan menor densidad de crestas, sería la de norteamericanos de origen africano descrita por Acree (1999).

Las diferencias sexuales halladas de forma sistemática para la densidad de crestas en los diferentes estudios han permitido la aplicación de métodos estadísticos, como es el cálculo del *likelihood ratio* (LR), cuyos resultados podrían ser aplicados para inferir el sexo a partir de una huella de origen desconocido. El *likelihood ratio* (LR), es un método que se ha comenzado a utilizar en el ámbito forense, como apoyo probabilístico en el peso de la evidencia, de cara a evitar las opiniones categóricas en los informes forenses de identificación (identificación o exclusión), basadas únicamente en la experiencia y conocimiento del perito. Este método permite que las probabilidades obtenidas, puedan ser interpretadas como grados de certeza acerca del problema de atribución de la fuente, dejando la decisión sobre la culpabilidad o inocencia del acusado al tribunal encargado del caso. Actualmente, un número considerable de expertos en ciencias forenses recomienda su uso, dada su universalidad y sencillez, al demandar como requisito necesario para su utilización, el conocimiento representativo en la población de las características que se vayan a evaluar (Champod y Evett, 2001; Aitken y Taroni, 2005; Neuman *et al.*, 2007, 2015; Langenburg, 2009; Lucena *et al.*, 2012; Abraham *et al.*, 2013b; Alberink *et al.*, 2014; Morrison y Stole, 2013; Tang y Srihari, 2014; Martire *et al.*, 2014). Estos autores también apuntan que, dado que la identificación por ADN se realiza mediante el LR, el unificar, en la medida de lo posible, todos los procedimientos dentro de las ciencias forenses, facilitaría la tarea de los tribunales de justicia en el momento de tomar una decisión final (Rivaldería, 2016). Así, el LR es calculado a partir de la evidencia, y de la información potencial obtenida de la población, siendo el cociente entre dos probabilidades, la distribución intra-fuente (probabilidad de que la huella dubitada e indubitada procedan de la misma fuente) y el de las inter-fuentes (probabilidad de que la huella dubitada e indubitada procedan de

diferente fuente). Una vez calculado el LR, éste se multiplica por las probabilidades *a priori*, lo que podrá modificar las probabilidades *a posteriori*. Estas probabilidades *a posteriori* constituyen el conjunto de información sobre las que un tribunal debe basarse para tomar la decisión final.

Por ello, en este trabajo, las probabilidades de las densidades de crestas se utilizaron para inferir el sexo más probable por medio de los cocientes de probabilidad (LRs) para las tres áreas (radial, ulnar y proximal), utilizándose el teorema de Bayes para establecer el umbral de discriminación entre varones y mujeres de la muestra. Los resultados mostraron que, dependiendo de las probabilidades *a priori* de varones y mujeres, las probabilidades *a posteriori* cambian. Así, con una probabilidad *a priori* igual para ambos sexos de 50%, el umbral de diferenciación sexual para la muestra de Ciudad de México se sitúa entre 17 y 18 crestas/7,07 mm en la **zona radial**. Se podría inferir, por tanto, que una densidad de crestas igual o menor que 17 indicaría una mayor probabilidad de que la huella dactilar perteneciese a un individuo de sexo masculino (62%). La probabilidad de que la impresión dactilar provenga de un individuo masculino aumenta a medida que el número de crestas del área de recuento disminuye. Así, un recuento igual o menor a 16 crestas muestra una probabilidad del 82% de pertenecer a un individuo varón. Mientras que la zona ulnar una densidad de crestas igual o menor que 15 crestas/7,07 mm indicaría una mayor probabilidad de que la huella dactilar perteneciese a un individuo de sexo masculino y una densidad mayor de 18 crestas/7,07 mm indicaría una mayor probabilidad de que la huella pertenezca a una mujer. En la zona proximal el umbral de discriminación se situó entre 13 y 14 crestas/7,07 mm.

Es importante señalar que, en situaciones reales dentro del contexto delictivo, las probabilidades *a priori* no son iguales para ambos sexos, ya que las estadísticas demuestran que, las posibilidades de que un varón esté relacionado con la escena de un delito son más altas que las de una mujer. En general, se ha observado que la probabilidad de que el autor de un delito sea de sexo masculino estaría en torno al 70% (aunque este dato varía dependiendo del delito) (UNODC, 2011). Por tanto, si cambian las probabilidades *a priori*, siendo mayores para los varones, cambiarían también las probabilidades *a posteriori*. Por ejemplo, con probabilidades de 70% para varones y del 30% para mujeres, el umbral de diferenciación sexual para el **área radial** quedaría

situado entre 19 y 20 crestas/7,07 mm. De este modo, una densidad de crestas igual a 19 en la zona radial implicaría una probabilidad del 66% de que la impresión dactilar perteneciese a un varón, pero si el recuento en la zona es de 15 crestas o menos, la probabilidad de pertenecer a un individuo masculino se eleva al 97%. En el caso del **área ulnar**, el umbral de discriminación estaría entre 17 y 18 crestas/7,07 mm, así una densidad de crestas igual a 17 implicaría una probabilidad del 70% de que la impresión dactilar perteneciese a un varón, pero si el recuento en la zona es de 15 crestas o menos, la probabilidad de pertenecer a un individuo masculino se eleva al 91%.

Por otra parte, dada las diferencias poblaciones encontradas para la densidad de crestas, algunos trabajos también han aplicado este método para evaluar la posibilidad de inferir el origen poblacional del individuo (Gutiérrez Redomero *et al.*, 2013a; Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2013b). En uno de ellos se aplicó el cálculo del LR para discriminar el origen argentino o español a partir de las muestras dactilares estudiadas, encontrando que, con una probabilidad *a priori* igual (del 50%) para ambas poblaciones, el área que se reveló con mayor poder de discriminación fue el área proximal (umbral de discriminación se estableció en 12-13 crestas) (Gutiérrez Redomero *et al.*, 2013a). De ello se puede inferir que, una densidad de crestas igual o menor de 12 indicaría una mayor probabilidad de que la huella dactilar perteneciese a un individuo de origen español (69%). La probabilidad de que la impresión dactilar provenga de un individuo de origen español aumenta a medida que el número de crestas del área de recuento disminuye, de modo que, un recuento igual o menor a 10 crestas, muestra una probabilidad del 98% de pertenecer a un individuo de origen español. El otro trabajo exploró la inferencia del origen poblacional del individuo mediante el cálculo del LR, a partir de muestras españolas y subsaharianas, ha sido el de Gutiérrez-Redomero *et al.* (2013b). En este caso, con una probabilidad *a priori* igual para ambos orígenes, el umbral de discriminación estimado por el LR se situó en 13-14 crestas en el área radial, y 12-13 cresta para el área ulnar. Estos resultados mostraron que, si el recuento de crestas en la huella dactilar dubitada es igual o menor a 12, la probabilidad de que esa huella pertenezca a un individuo subsahariano sería de un 84% en el caso de que el recuento corresponda al área radial, y un 93% si corresponde al área ulnar.

En cuanto a la discusión sobre los resultados obtenidos con respecto a la variabilidad de los diferentes tipos de *minutiae*, hay que tener en cuenta que estos no pueden ser

comparados de una manera directa con los escasos trabajos que han sido publicado sobre su distribución en diferentes muestras de población, debido a la gran diversidad de clasificaciones utilizadas, con diferentes tipos de *minutiae*, así como a las áreas dactilares y tipos de figura sobre las que han sido valoradas. Partiendo de la clasificación de Galton con cuatro tipos (abruptas, bifurcaciones, fragmentos y ojales) (Galton, 1892), se han desarrollado otras, principalmente con propósitos de identificación, que van desde clasificaciones muy básicas con solo dos puntos (abruptas y bifurcaciones) como la de Loesch (1973), hasta clasificaciones con 95 tipos (Ökrös, 1965), conteniendo la mayoría, un rango que va desde 4 a 20 puntos (Locard, 1931; Santamaría, 1955; Cummins y Midlo, 1961, Steffens, 1965; Grzeszyk, 1971; Okajima, 1966, Stoney y Thornton, 1986). La clasificación propuesta por Penrose (1968), que incluía los seis tipos más comunes de *minutiae* propuestos por Cummins y Midlo (1961) (finales, bifurcaciones, islas, fragmentos, ojales y crestas incipientes) y a la que se añadía un nuevo tipo, que denomino “combinado”. Esta clasificación fue recomendada para su uso clínico durante la *The Conference on Dermatoglyphic Nomenclature* celebrada en Londres en 1967. Más recientemente se han propuesto clasificaciones con nueve tipos (Champod, 1996; Ashbaugh, 1999). La clasificación utilizada en nuestros estudios se basa en la empleada por el Servicio de identificación y criminalística de Policía Científica y Guardia Civil en España que, a su vez, está basada en la propuesta por Santamaría (1955), con modificaciones del grupo de Lofoscopia del Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Policiales (IUICP) de la Universidad de Alcalá (España) (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011).

A pesar de las diferencias metodológicas existentes en los trabajos mencionados, se observan algunos patrones comunes descritos en el trabajo de Rivaldería (2016). Por ejemplo, en todos los estudios, el tipo de *minutiae* más frecuente es la abrupta, encontrando un rango de variabilidad para este tipo de *minutiae* que va desde el 37,4% en el estudio de Champod (1996), hasta un 75,44%, en el trabajo de Okajima (1970), y mostrando valores en torno al 50-60% en la mayoría de los trabajos. El segundo tipo de *minutiae* más frecuente es la bifurcación que, en la mayoría de los trabajos, es valorada conjuntamente con la convergencia, y muestra valores que van desde el 13,5% (Champod, 1996) hasta el 43% (Stoney y Thornton, 1987). Y, en general, el tercer tipo de *minutiae* más frecuente, es el fragmento (siendo a veces valorado conjuntamente con el punto), y cuya frecuencia se ha observado que varía, entre el 2,2% hallado en la

muestra analizada por nosotros en la población de Ramal y el 18,2% del trabajo de Steffens (1965). Todos los demás *minutiae* presentan frecuencias considerablemente más bajas en todos los trabajos.

Dado que para la obtención de los resultados sobre la variabilidad de los diferentes tipos de *minutiae* en esta tesis se ha seguido la metodología propuesta por Gutiérrez-Redomero *et al.* (2011a), se puede hacer una comparación más exhaustiva con los datos obtenidos en los estudios que la han seguido y han sido publicados sobre muestras de población española y argentina. En este sentido, es preciso destacar que los resultados obtenidos para la muestra mexicana presentan una frecuencia mayor de abruptas, en la periferia del dactilograma (fuera del círculo), mientras que la frecuencia de bifurcaciones y convergencias fueron mayores en el área central del dactilograma (dentro del círculo), a excepción de las convergencias en los varones, coincidiendo con lo hallado en población española y argentina (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011a; Rivaldería, 2016).

Es importante tener en cuenta, que la frecuencia que muestra las bifurcaciones y convergencias, aun tratándose de un mismo tipo morfológico de *minutiae* que sólo difiere por su orientación en el dactilograma, exhibe diferencias significativas entre las áreas valoradas, nucleares y periféricas, y entre los sexos, lo que justifica que se valoren de forma independiente. Champod (1996) y Champod y Margot (1996) también han valoraron este punto según orientación, concluyendo que las diferencias halladas en sus distribuciones dentro del dactilograma eran motivo suficiente para que fuesen consideradas de forma independiente, y no como un solo tipo de *minutiae*, tal y como se ha venido haciendo en la mayoría de los estudios.

Diferencias sexuales han sido también encontradas en estos estudios para algunos tipos de *minutiae*. Así, en la muestra mexicana valoradas, los varones presentaron mayor frecuencia de abruptas que las mujeres, y las mujeres mayor frecuencia de bifurcaciones y convergencias que los varones. Diferencias sexuales significativas para estos tres tipos de *minutiae*, se encontraron en el dedo índice de una muestra de población española (Gutiérrez *et al.*, 2007). Más recientemente, Reinart (2014) en un estudio con muestras de población norteamericana de origen europeo, asiático, africano, nativo americano e hispano, halló diferencias sexuales en el grupo de origen europeo y africano, pero no en

las muestras correspondientes al resto de las poblaciones. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de los diez dedos en estos tres tipos de minutiae en población española (Gutiérrez-Redomero, *et al.*, 2011a), no mostraron diferencias significativas, aunque cuando se tuvieron en cuenta los valores individuales por dedos; no obstante, el análisis de correspondencia sí que reveló una asociación significativa entre los sexos (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2011a). Recientemente, los resultados obtenidos por Fournier y Ross (2016), a partir de los valores de frecuencias de cinco tipos de minutiae en el dedo índice (único dedo valorado) en una muestra de población norteamericana, no mostraron diferencias sexuales. Sin embargo, en muestras de población argentina, tanto del noroeste, en la provincia de Jujuy, como en la de Buenos Aires y Chubut, se encontraron diferencias sexuales significativas para abruptas, bifurcaciones y convergencias al igual que en nuestra muestra (Gutiérrez-Redomero *et al.*, 2012; Rivaldería *et al.*, 2017) Por lo tanto, son necesarios más estudios, en los que se tenga en cuenta el sexo del individuo, para clarificar las posibles diferencias que haya en la frecuencia de aparición de los diferentes tipos de minutiae.

En cuanto a los resultados obtenidos para la densidad de minucias, estos han puesto de manifiesto una mayor densidad de minucias en los sectores proximales frente a los distales, estos resultados coinciden con los encontrados por Champod *et al.* (2004) y se deben a la presencia en estas áreas, de los deltas o trirradios, que son zonas de mayor riqueza de puntos característicos.

Nuestros resultados sólo pueden ser parcialmente ser comparados con los aportados para una muestra de población española (Gutiérrez *et al.*, 2007), sobre el dedo índice derecho, que valoraba la densidad de minucias dentro y fuera de un círculo de 18 crestas, en lugar de 15 como es nuestro caso. En este trabajo, se encontraron diferencias sexuales sobre las tres áreas valoradas (total y dentro y fuera del círculo), con la presencia de un mayor número de minutiae en las impresiones dactilares de los varones, sin embargo, en el dedo índice derecho de la muestra mexicana solamente se encontraron diferencias significativas para el área total, aunque en el mismo sentido. Sin embargo, el mayor número de diferencias sexuales encontradas en nuestro estudio en los diferentes sectores y dedos podría estar determinado, en parte, por el mayor tamaño de los dedos en los varones, así la zona periférica sería más discriminante para el sexo.

Por otra parte, los dedos que mayor número de minucias presentaron, tanto dentro como fuera del círculo, fueron los pulgares y los que menor número presentaron fueron los meñiques, también tanto dentro como fuera del círculo. Este hecho que, en principio, podría achacarse a la diferencia de tamaño entre estos dos tipos de dedos, sólo explicaría las diferencias en el número de minucias sobre el área total del dactilograma y fuera del círculo, pero no así las diferencias encontradas dentro del círculo, diseñado para eliminarlas.

Además, en la población española (Gutiérrez *et al.*, 2007) la densidad de minucias presentó, en ambos sexos, diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de figura principal, para las tres áreas valoradas, mientras que en la muestra mexicana analizada, también en ambos sexos, sólo fueron encontradas dentro del círculo. El patrón general no es el responsable de las diferencias de sexo en el interior del círculo, por lo que debe haber otros factores que determinen las diferencias significativas entre los sexos con respecto al número total de minucias encontradas, siendo este uno de los resultados más relevantes. de nuestro estudio. Este hecho no se ha aclarado previamente y refleja la necesidad de tener en cuenta el sexo como una característica distintiva de las características que se analizan.

La asociación entre el número de minucias y el tipo de patrón principal encontrado en nuestro estudio ya había sido observada por otros autores como Okajima (1970) y Dankmeijer *et al.* (1980). Al igual que Dankmeijer (1938) en su estudio de los varones liberianos, encontramos un mayor número de minucias en los torbellinos, seguidos por las presillas, coincidiendo también con lo encontrado por Okajima (1970) en el dedo índice de la población japonesa para la misma área (el interior de un radio de 18 crestas de círculo).

La muestra analizada en este estudio, revela la relación entre la estructura genética de la población mexicana que corresponde a la Ciudad de México del país y los efectos que los movimientos poblacionales han causado en la conformación heterogénea con ractaer ancestral indígena y los movimientos poblacionales en el pasado y su expresión en la población actual, han causado un mestizaje que se puede observar en las características de la muestra, lo que podría ser la causa de las diferencias observadas en este estudio, con respecto a los estudios que se han realizado, por ejemplo en población argentina y

española analizada por Gutiérrez-Redomero *et al.* (2012). Ahora bien, todo parece indicar que, existen en común patrones encontrados para la muestra analizada, con otras muestras estudiadas en comparación, y al igual que los tipos de figura principal y los tipos de minucias, podrían tener un componente genético considerable que debe ser adecuadamente delimitado y establecido, lo que brindaría sin duda la justificación de la búsqueda de los genes responsables de su formación.

Hasta el momento los estudios realizados han puesto de manifiesto que existen frecuencias de los diferentes tipos de *minutiae* y que varían considerablemente entre ellos, lo que resulta especialmente útil en el proceso de identificación, ya que cuanto menos frecuente es un tipo *minutiae*, mayor poder de discriminación posee. Sin embargo, por el momento en México no existen trabajos que hayan abordado el estudio sistemático, en todos los dedos, de las *minutiae*, tipos de figura, considerando ambos sexos, como lo presentado en esta tesis.

A partir del 2010 el desarrollo de modelos estadísticos en apoyo de la identificación forense con huellas dactilares ha sido objeto de una creciente atención por parte de la comunidad científica, siendo vistos, cada vez más, como herramientas útiles para apoyar el proceso de identificación personal, después de más de un siglo de aceptación de los peritajes basados en pruebas dactiloscópicas, siendo de gran apoyo e interés en su aplicación forense, por lo que los resultados obtenidos en esta tesis son totalmente novedosos y suponen una importante contribución al conocimiento de los rasgos dermatoglíficos para la población mexicana situándola en el segundo país de Latinoamérica, seguida de Argentina, en poder aplicar a la identificación dactiloscópica, una más completa información sobre las principales características utilizadas en el cotejo de huellas, en especial sobre las *minutiae*, que constituyen la base de la identificación dactiloscópica.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios que se recopilan en esta tesis sobre las diferencias topológicas, digitales, sexuales y poblacionales halladas en esta muestra, deberían ser tomados en cuenta como base científica para mejorar la estima del peso de la evidencia en la identificación dactiloscópica, como ya se reconoció y menciono en 2009, con el informe del *National Research Council* (NRC, 2009) de la *US National Academies of Sciences*, en donde se abogaba sobre la necesidad de llevar a cabo

estudios sistemáticos para conocer la variabilidad de las *minutiae*, y mejorar su aplicación en el proceso de identificación.

Por último, es indispensable conocer la gran diversidad de distribuciones que adoptan los diferentes tipos de *minutiae* sobre las superficies epidérmicas de dedos, palmas de las manos y plantas de los pies, lo que hace de ello, como bien se ha mencionado, elementos morfológicos útiles para la identificación personal. Sus distribuciones y variabilidad no parece ser sólo una cuestión de azar durante el desarrollo del individuo, pero si bien, podrían estar determinados genéticamente en grado variable, éstos pueden y deben ser conocidos a través de su estudio sistemático en las diferentes poblaciones. Es indispensable y de vital relevancia saber cómo bien lo dice Rivaldería (2016), que, a partir de este conocimiento, es probable que la cantidad y el tipo de información necesaria para establecer una identificación positiva dependa, en mayor o menor medida, de la topología de la huella; área del dedo, del dedo de que se trate (número del dedo), del sexo, y de la población a la que pertenezcan los individuos.

Conclusiones

1. La presilla ulnar fue el tipo de figura más frecuente en casi todos dedos excepto en el pulgar derecho, que presentó más torbellinos. Esta distribución de frecuencias no presentó diferencias significativas entre los sexos, pero sí entre los diferentes tipos de dedos, poniéndose de manifiesto que los dedos homólogos entre la mano derecha e izquierda presentan una distribución de las frecuencias similar y significativamente diferentes entre los dedos correlativos.
2. La densidad de crestas sobre las superficies dermopapilares de los dedos muestra diferencias topológicas, dactilares y sexuales. Las mujeres mostraron una densidad de crestas mayor por unidad de superficie que los varones, presentando así crestas más finas. Las diferencias topológicas encontradas sobre la superficie dactilar de los dedos revelan la presencia de crestas más finas en la región distal respecto a la proximal.
3. La comparación de los resultados muestra que, en el área radial, las impresiones dactilares tanto de mujeres como de varones mexicanos poseen un recuento de crestas significativamente mayor y, por tanto, crestas más finas, que el resto de las poblaciones estudiadas hasta el momento. En el área ulnar, los individuos mexicanos presentaron significativamente mayor densidad de crestas que el resto de las poblaciones, a excepción de los individuos de Jujuy y los varones de Tailandia. Por último, en el área proximal, la densidad de crestas de las muestras de México fue significativamente mayor la del resto de poblaciones, a excepción de la muestra de Buenos Aires, que fue mas baja, presentando así crestas más finas en esta área dactilar.
4. Las diferencias sexuales halladas en la densidad de crestas permiten la inferencia del sexo, a partir del cálculo del *likelihood ratio* (LR) correspondiente, en las áreas radial, ulnar y proximal de esta población.
5. Los resultados obtenidos confirman la no-equiprobabilidad para la frecuencia de los diferentes tipos de *minutiae* valorados en la muestra de población mexicana, y así su diferente valor discriminatorio en la identificación.

6. Con respecto a la distribución de los diferentes tipos de *minutiae* valorados en la muestra estudiada se halló un patrón común con el encontrado en otras poblaciones, el cual revela la existencia de diferencias topológicas y digitales. Este patrón muestra que las abruptas son más frecuentes en la periferia del dactilograma y las bifurcaciones y convergencias en la zona central. También que las bifurcaciones y convergencias se asocian significativamente a los dedos medios anulares y meñiques, mientras que el resto de *minutiae* aparecen significativamente asociadas a los dedos pulgares e índices.
7. La distribución de frecuencias para las abruptas, tanto iniciales como finales, las convergencias y las bifurcaciones, no es homogénea sobre el dactilograma, sino que difiere significativamente entre el área central (dentro del círculo) y la periferia (fuera del círculo).
8. Existen diferencias sexuales significativas, en la distribución de las frecuencias por área (dentro y fuera del círculo), para las abruptas, tanto iniciales como finales, bifurcaciones y convergencias. Las bifurcaciones y convergencias presentaron diferencias sexuales tanto sobre el área total del dactilograma como en la periferia, sin embargo, dentro del círculo, sólo se encontraron diferencias significativas para las convergencias.
9. Existe un patrón topológico de distribución de los diferentes tipos de *minutiae* sobre el dactilograma, que es similar en todos los dedos, y en ambos sexos, de forma que, los mismos tipos de minucias presentaban mayor densidad dentro de círculo que fuera y viceversa.
10. Se revela que la densidad de las *minutiae* por sector, dedo y sexo presenta en la muestra mexicana diferencias sexuales significativas, que podrían estar relacionadas, al menos en parte, con el mayor tamaño de los dedos en los varones, por lo que la zona periférica sería más discriminante para el sexo. Sin embargo, las diferencias encontradas dentro del círculo, con mayor densidad de

minucias en los varones, poner de relieve que otros factores sexuales, además del dimorfismo sexual en tamaño, deben estar implicados.

11. Se han puesto de manifiesto diferencias dactilares en la media de minucias presentada por los diferentes dedos, presentando el mayor número de minucias los dedos pulgares y el menor los dedos meñiques, manteniendo el resto de los dedos valores intermedios. Estas diferencias no pueden ser sólo debidas a la diferencia de tamaño entre los dedos, ya que se ha encontrado también dentro del área del círculo, diseñada para eliminar este efecto.
12. Se confirma que existen diferencias significativas en la distribución de frecuencias relativas presentada por los diferentes tipos de *minutiae* entre poblaciones, y que estas son independientes de las diferencias presentadas para el tipo de patrón principal. Estas diferencias se hallaron entre las muestras mexicanas, española y argentina.
13. Los resultados obtenidos en este trabajo, en relación a las diferencias estadísticamente significativas encontradas en la frecuencia con que los diferentes tipos de *minutiae* aparecen sobre el área del dactilograma, por dedo y sexo, confiere a cada tipo de minucia un valor de discriminación diferencial en el proceso de identificación.
14. Estos resultados ponen de manifiesto, que la variabilidad biológica intra e inter-poblacional encontrada debería ser tomada en cuenta como base científica, para mejorar la estima del peso de la evidencia en la identificación dactiloscópica.

ANEXO 1

Tabla 1.1.

Frecuencias relativas de los tipos de *minutiae* en el pulgar derecho (D1), por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D1	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	17.8112	25.3987	23.2269	19.3083	26.0448	24.0547	16.1543	24.7463	22.3686
Af	30.5436	28.7665	29.2752	30.2288	30.7034	30.5632	30.8921	26.8104	27.9399
B	15.5794	16.5978	16.3063	15.3867	15.1975	15.2534	15.7926	18.0120	17.3978
C	24.3634	18.7263	20.3399	22.0861	16.7732	18.3427	26.8837	20.6988	22.4103
FG	0.9013	0.8434	0.8600	1.0076	0.9934	0.9976	0.7836	0.6919	0.7173
FP	2.9471	3.2702	3.1777	3.1590	3.3569	3.2985	2.7125	3.1827	3.0525
I	0.7153	0.6827	0.6921	1.0349	0.8221	0.8850	0.3617	0.5420	0.4921
OG	0.5293	0.1147	0.2334	0.7353	0.1142	0.2977	0.3014	0.1153	0.1668
OP	1.5880	0.4303	0.7617	1.6068	0.3311	0.7080	1.5672	0.5304	0.8173
PE	1.0014	0.5909	0.7084	1.2255	0.7993	0.9252	0.7535	0.3805	0.4837
PD	0.1288	0.0688	0.0860	0.2179	0.1028	0.1368	0.0301	0.0346	0.0334
D	1.2732	1.8474	1.6830	1.4161	1.8497	1.7216	1.1151	1.8450	1.6430
T	1.0014	1.7212	1.5152	0.9259	1.9982	1.6814	1.0850	1.4414	1.3428
E	1.1016	0.6368	0.7699	1.0893	0.6737	0.7965	1.1151	0.5996	0.7423
S	0.4149	0.1721	0.2416	0.4357	0.1370	0.2253	0.3918	0.2076	0.2585
CU	0.0858	0.1147	0.1065	0.1089	0.0913	0.0965	0.0603	0.1384	0.1168
TFB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TFC	0.0000	0.0057	0.0041	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0115	0.0083
MB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MC	0.0143	0.0115	0.0123	0.0272	0.0114	0.0161	0.0000	0.0115	0.0083
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.2.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el índice derecho (D2) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D2	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	20.6723	24.3862	23.1164	21.9857	25.3591	24.2176	19.2176	23.2719	21.8694
Af	21.4508	23.6392	22.8909	21.6460	25.0149	23.8749	21.2345	22.0634	21.7766
B	24.8570	21.4795	22.6344	24.4261	19.7973	21.3636	25.3344	23.4064	24.0734
C	23.9530	22.6311	23.0831	21.9731	21.0760	21.3795	26.1460	24.4123	25.0120
FG	0.5834	0.6097	0.6007	0.7265	0.7559	0.7460	0.4250	0.4422	0.4362
FP	2.1651	1.9965	2.0541	2.4152	2.1890	2.2655	1.8880	1.7760	1.8147
I	0.4231	0.4500	0.4408	0.6290	0.5935	0.6055	0.1951	0.2856	0.2543
OG	0.5818	0.2379	0.3554	0.7202	0.2927	0.4374	0.4285	0.1750	0.2627
OP	1.2974	0.5659	0.8160	1.2548	0.5485	0.7875	1.3446	0.5859	0.8483
PE	0.5437	0.2937	0.3792	0.7170	0.3796	0.4938	0.3518	0.1953	0.2494
PD	0.0512	0.0404	0.0441	0.0786	0.0643	0.0692	0.0209	0.0129	0.0157
D	0.9801	1.3310	1.2110	1.1007	1.4604	1.3387	0.8465	1.1828	1.0664
T	0.6710	1.2580	1.0573	0.6856	1.4604	1.1982	0.6549	1.0262	0.8977
E	1.3966	0.8226	1.0189	1.2454	0.7704	0.9311	1.5640	0.8825	1.1182
S	0.2496	0.1666	0.1950	0.2642	0.1512	0.1894	0.2334	0.1842	0.2012
CU	0.0744	0.0738	0.0740	0.0818	0.0692	0.0734	0.0662	0.0792	0.0747
TFB	0.0083	0.0043	0.0057	0.0094	0.0032	0.0053	0.0070	0.0055	0.0060
TFC	0.0017	0.0034	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0074	0.0060
MB	0.0248	0.0052	0.0119	0.0252	0.0064	0.0128	0.0244	0.0037	0.0108
MC	0.0149	0.0052	0.0085	0.0157	0.0080	0.0106	0.0139	0.0018	0.0060
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.3.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el medio derecho (D3) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D3	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	16.5475	25.8331	22.9780	17.7908	26.7278	23.9784	15.2045	24.8681	21.8986
Af	24.8570	22.6277	23.3132	25.5334	24.3272	24.6983	24.1264	20.7949	21.8186
B	19.6569	21.1758	20.7088	18.8919	18.9755	18.9498	20.4833	23.5488	22.6068
C	29.5926	22.5008	24.6813	27.9766	21.5138	23.5020	31.3383	23.5653	25.9538
FG	0.4646	0.5792	0.5440	0.4129	0.7187	0.6246	0.5204	0.4288	0.4569
FP	2.2695	1.7296	1.8956	2.4432	2.0948	2.2020	2.0818	1.3358	1.5650
I	0.3931	0.4046	0.4011	0.6538	0.5657	0.5928	0.1115	0.2309	0.1942
OG	0.6254	0.2618	0.3736	0.6538	0.3058	0.4129	0.5948	0.2144	0.3313
OP	1.3402	0.4840	0.7473	1.4109	0.4434	0.7411	1.2639	0.5277	0.7539
PE	0.5897	0.2936	0.3846	0.8259	0.4740	0.5823	0.3346	0.0989	0.1714
PD	0.0715	0.0238	0.0385	0.1032	0.0306	0.0529	0.0372	0.0165	0.0228
D	1.0543	1.3726	1.2747	1.2388	1.5291	1.4398	0.8550	1.2038	1.0966
T	0.8041	1.2853	1.1374	0.7571	1.4832	1.2598	0.8550	1.0719	1.0053
E	1.3581	1.1980	1.2473	0.8947	0.6116	0.6987	1.8587	1.8305	1.8392
S	0.2502	0.1745	0.1978	0.2409	0.1529	0.1800	0.2602	0.1979	0.2170
CU	0.0536	0.0397	0.0440	0.0688	0.0306	0.0423	0.0372	0.0495	0.0457
TFB	0.0000	0.0159	0.0110	0.0000	0.0153	0.0106	0.0000	0.0165	0.0114
TFC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MB	0.0357	0.0000	0.0110	0.0344	0.0000	0.0106	0.0372	0.0000	0.0114
MC	0.0357	0.0000	0.0110	0.0688	0.0000	0.0212	0.0000	0.0000	0.0000
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.4.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el anular derecho (D4) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D4	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	18.5661	23.1092	21.5170	19.4436	24.5005	22.7238	17.5322	21.4837	20.1030
Af	21.1363	20.9926	21.0430	22.1632	22.2994	22.2515	19.9263	19.4659	19.6268
B	23.1316	24.6054	24.0889	23.2260	22.8412	22.9764	23.0203	26.6667	25.3925
C	28.3564	24.6328	25.9378	26.1019	22.4348	23.7232	31.0129	27.2008	28.5328
FG	0.6256	0.4288	0.4978	0.6877	0.6095	0.6370	0.5525	0.2176	0.3346
FP	1.8093	1.4688	1.5881	1.9381	1.7440	1.8122	1.6575	1.1474	1.3256
I	0.2198	0.3923	0.3319	0.2188	0.6095	0.4723	0.2210	0.1385	0.1673
OG	0.4904	0.2281	0.3200	0.5939	0.2878	0.3954	0.3683	0.1583	0.2317
OP	1.5049	0.6295	0.9363	1.2504	0.5926	0.8237	1.8048	0.6726	1.0682
PE	0.4396	0.1277	0.2370	0.5314	0.0847	0.2416	0.3315	0.1780	0.2317
PD	0.0000	0.0547	0.0356	0.0000	0.1016	0.0659	0.0000	0.0000	0.0000
D	1.0315	1.1130	1.0844	1.2817	1.2360	1.2521	0.7366	0.9693	0.8880
T	0.5749	0.9397	0.8119	0.5627	1.1344	0.9336	0.5893	0.7122	0.6692
E	1.6740	1.0309	1.2563	1.5942	1.1852	1.3289	1.7680	0.8506	1.1712
S	0.3213	0.1642	0.2193	0.2813	0.2370	0.2526	0.3683	0.0791	0.1802
CU	0.0507	0.0547	0.0533	0.0625	0.0847	0.0769	0.0368	0.0198	0.0257
TFB	0.0169	0.0182	0.0178	0.0000	0.0169	0.0110	0.0368	0.0198	0.0257
TFC	0.0000	0.0091	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0198	0.0129
MB	0.0507	0.0000	0.0178	0.0625	0.0000	0.0220	0.0368	0.0000	0.0129
MC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.5.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el meñique derecho (D5) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D5	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	17.3067	23.1548	20.6513	18.1666	24.1902	21.7379	16.3018	21.6808	19.2308
Af	21.9218	19.0123	20.2578	23.2185	19.8484	21.2204	20.4066	17.8221	18.9993
B	24.4096	27.2028	26.0071	23.4192	25.9361	24.9115	25.5668	29.0059	27.4395
C	29.0968	23.9509	26.1537	27.1997	22.1686	24.2168	31.3135	26.4879	28.6859
FG	0.3966	0.4453	0.4244	0.6022	0.5743	0.5857	0.1564	0.2616	0.2137
FP	1.4062	1.4843	1.4508	1.5055	1.7689	1.6617	1.2901	1.0791	1.1752
I	0.3425	0.3103	0.3241	0.5353	0.4365	0.4767	0.1173	0.1308	0.1246
OG	0.6490	0.2834	0.4399	0.9033	0.3905	0.5993	0.3518	0.1308	0.2315
OP	1.0456	0.6882	0.8412	0.9368	0.7122	0.8036	1.1728	0.6540	0.8903
PE	0.2884	0.1349	0.2006	0.4349	0.2068	0.2996	0.1173	0.0327	0.0712
PD	0.0180	0.0405	0.0309	0.0000	0.0459	0.0272	0.0391	0.0327	0.0356
D	0.5949	1.1739	0.9261	0.5353	1.4703	1.0896	0.6646	0.7521	0.7123
T	0.6129	0.9850	0.8257	0.6022	1.1257	0.9126	0.6255	0.7848	0.7123
E	1.6766	0.8096	1.1807	1.6728	0.8500	1.1850	1.6810	0.7521	1.1752
S	0.1262	0.2699	0.2084	0.1673	0.2297	0.2043	0.0782	0.3270	0.2137
CU	0.0721	0.0270	0.0463	0.1004	0.0230	0.0545	0.0391	0.0327	0.0356
TFB	0.0000	0.0135	0.0077	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0327	0.0178
TFC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MB	0.0180	0.0135	0.0154	0.0000	0.0230	0.0136	0.0391	0.0000	0.0178
MC	0.0180	0.0000	0.0077	0.0000	0.0000	0.0000	0.0391	0.0000	0.0178
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.6.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el pulgar izquierdo (D6) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D6	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	28.3027	28.6033	28.5120	29.8587	30.3983	30.2326	26.6245	26.7316	26.6994
Af	17.5958	24.9170	22.6937	17.6753	25.9544	23.4114	17.5101	23.8353	21.9375
B	27.1683	18.9864	21.4712	26.0197	16.9247	19.7183	28.4071	21.1363	23.3178
C	16.3508	18.0875	17.5601	14.6094	16.3456	15.8123	18.2289	19.9039	19.4013
FG	0.7332	0.8567	0.8192	0.9864	1.0873	1.0563	0.4600	0.6162	0.5694
FP	3.1263	2.8175	2.9113	3.4924	2.9311	3.1035	2.7315	2.6990	2.7088
I	0.5672	0.4827	0.5083	0.8264	0.6382	0.6960	0.2875	0.3204	0.3106
OG	0.4842	0.2353	0.3109	0.7198	0.3309	0.4504	0.2300	0.1356	0.1639
OP	1.2865	0.4404	0.6974	1.2797	0.3664	0.6469	1.2938	0.5176	0.7505
PE	0.6917	0.3499	0.4537	0.9864	0.4964	0.6469	0.3738	0.1972	0.2502
PD	0.0553	0.0302	0.0378	0.1066	0.0591	0.0737	0.0000	0.0000	0.0000
D	1.2312	1.6772	1.5418	1.3330	1.8674	1.7032	1.1213	1.4789	1.3716
T	0.8992	1.6048	1.3905	0.9064	1.7610	1.4985	0.8913	1.4420	1.2767
E	1.0928	0.6154	0.7604	0.8264	0.5791	0.6551	1.3801	0.6532	0.8713
S	0.2905	0.1448	0.1890	0.2666	0.1300	0.1720	0.3163	0.1602	0.2070
CU	0.0830	0.1448	0.1260	0.0800	0.1300	0.1146	0.0863	0.1602	0.1380
TFB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TFC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MB	0.0277	0.0060	0.0126	0.0000	0.0000	0.0000	0.0575	0.0123	0.0259
MC	0.0138	0.0000	0.0042	0.0267	0.0000	0.0082	0.0000	0.0000	0.0000
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.7.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el índice izquierdo (D7) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D7	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	24.2757	22.9290	23.4098	25.6268	24.5404	24.9180	22.8620	21.0891	21.7408
Af	18.1985	22.9567	21.2579	18.0072	24.0721	21.9645	18.3986	21.6832	20.4759
B	27.3393	23.9645	25.1694	25.4640	22.2164	23.3450	29.3015	25.9604	27.1885
C	21.7782	23.0399	22.5895	21.1983	20.9851	21.0592	22.3850	25.3861	24.2830
FG	0.6327	0.5178	0.5588	0.9118	0.6417	0.7355	0.3407	0.3762	0.3632
FP	2.0313	1.5717	1.7358	2.5073	1.9077	2.1161	1.5332	1.1881	1.3150
I	0.4329	0.3883	0.4042	0.6513	0.5376	0.5771	0.2044	0.2178	0.2129
OG	0.6660	0.2496	0.3983	0.8141	0.3295	0.4979	0.5111	0.1584	0.2880
OP	1.2654	0.6934	0.8976	1.3025	0.8498	1.0071	1.2266	0.5149	0.7765
PE	0.4496	0.1757	0.2735	0.6187	0.2775	0.3961	0.2726	0.0594	0.1378
PD	0.0833	0.0370	0.0535	0.1303	0.0520	0.0792	0.0341	0.0198	0.0250
D	0.7493	1.2019	1.0403	0.8466	1.3181	1.1542	0.6474	1.0693	0.9142
T	0.4829	1.1372	0.9036	0.5210	1.2660	1.0071	0.4429	0.9901	0.7890
E	1.2488	0.8413	0.9868	0.9769	0.7111	0.8034	1.5332	0.9901	1.1897
S	0.2165	0.1757	0.1902	0.2605	0.1734	0.2037	0.1704	0.1782	0.1753
CU	0.0999	0.0647	0.0773	0.0651	0.0520	0.0566	0.1363	0.0792	0.1002
TFB	0.0333	0.0000	0.0119	0.0651	0.0000	0.0226	0.0000	0.0000	0.0000
TFC	0.0000	0.0092	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0198	0.0125
MB	0.0167	0.0277	0.0238	0.0326	0.0347	0.0339	0.0000	0.0198	0.0125
MC	0.0000	0.0185	0.0119	0.0000	0.0347	0.0226	0.0000	0.0000	0.0000
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.8.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el medio izquierdo (D8) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D8	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	22.2513	22.7098	22.5590	24.3083	24.2020	24.2366	19.9408	20.9749	20.6306
Af	17.9125	23.1879	21.4531	18.0501	24.6149	22.4794	17.7580	21.5288	20.2734
B	30.2666	23.0342	25.4126	29.8090	21.1529	23.9687	30.7806	25.2216	27.0723
C	21.8331	24.7844	23.8139	19.1041	22.9316	21.6865	24.8983	26.9387	26.2594
FG	0.2962	0.5720	0.4813	0.3953	0.6511	0.5679	0.1850	0.4801	0.3818
FP	2.1607	1.2806	1.5700	2.7668	1.5087	1.9179	1.4798	1.0155	1.1701
I	0.4008	0.4354	0.4240	0.5599	0.5876	0.5786	0.2220	0.2585	0.2463
OG	0.5053	0.2220	0.3152	0.5929	0.2859	0.3857	0.4070	0.1477	0.2340
OP	0.9932	0.6318	0.7506	0.9223	0.6670	0.7500	1.0729	0.5908	0.7513
PE	0.4879	0.2134	0.3037	0.6258	0.2064	0.3429	0.3330	0.2216	0.2587
PD	0.0523	0.0512	0.0516	0.0659	0.0953	0.0857	0.0370	0.0000	0.0123
D	0.7667	0.8025	0.7907	0.9552	0.9370	0.9429	0.5549	0.6462	0.6158
T	0.3833	1.0160	0.8079	0.4611	1.2704	1.0072	0.2960	0.7201	0.5789
E	1.5159	0.7855	1.0257	1.2187	0.6987	0.8679	1.8498	0.8863	1.2070
S	0.1220	0.2049	0.1776	0.1318	0.1112	0.1179	0.1110	0.3139	0.2463
CU	0.0348	0.0598	0.0516	0.0000	0.0635	0.0429	0.0740	0.0554	0.0616
TFB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TFC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MB	0.0174	0.0000	0.0057	0.0329	0.0000	0.0107	0.0000	0.0000	0.0000
MC	0.0000	0.0085	0.0057	0.0000	0.0159	0.0107	0.0000	0.0000	0.0000
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.9.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el anular izquierdo (D9) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D9	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	21.5548	21.5233	21.5348	23.2588	22.3865	22.6894	19.6587	20.3820	20.1019
Af	16.2712	23.0040	20.5456	14.8562	24.4433	21.1139	17.8457	21.1011	19.8403
B	32.1218	22.8588	26.2411	31.8211	21.1797	24.8752	32.4565	25.0787	27.9361
C	21.7062	25.6460	24.2074	20.4153	23.7974	22.6229	23.1426	28.0899	26.1738
FG	0.5384	0.4549	0.4854	0.7029	0.6119	0.6435	0.3555	0.2472	0.2891
FP	1.7331	1.7033	1.7142	1.9808	1.8868	1.9194	1.4575	1.4607	1.4595
I	0.2861	0.4161	0.3686	0.4473	0.5779	0.5326	0.1066	0.2022	0.1652
OG	0.5553	0.2710	0.3748	0.7029	0.3400	0.4660	0.3910	0.1798	0.2616
OP	1.3461	0.7162	0.9462	1.3738	0.7309	0.9542	1.3153	0.6966	0.9363
PE	0.4207	0.2032	0.2826	0.5751	0.2550	0.3661	0.2488	0.1348	0.1790
PD	0.0168	0.0194	0.0184	0.0319	0.0340	0.0333	0.0000	0.0000	0.0000
D	0.8918	1.1129	1.0322	1.1182	1.3768	1.2870	0.6399	0.7640	0.7160
T	0.4543	1.0065	0.8049	0.5112	1.2919	1.0207	0.3910	0.6292	0.5370
E	1.5817	0.8807	1.1366	1.6933	0.9179	1.1872	1.4575	0.8315	1.0739
S	0.3029	0.1452	0.2028	0.2556	0.1360	0.1775	0.3555	0.1573	0.2341
CU	0.1010	0.0387	0.0614	0.1278	0.0340	0.0666	0.0711	0.0449	0.0551
TFB	0.0168	0.0000	0.0061	0.0319	0.0000	0.0111	0.0000	0.0000	0.0000
TFC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MB	0.0841	0.0000	0.0307	0.0958	0.0000	0.0333	0.0711	0.0000	0.0275
MC	0.0168	0.0000	0.0061	0.0000	0.0000	0.0000	0.0355	0.0000	0.0138
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.10.

Valores de las frecuencias relativas de las *minutiae* para el meñique izquierdo (D10) por sexo y área (dentro, fuera y total del círculo).

D10	Total			Varones			Mujeres		
	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total	Dentro	Fuera	Total
Ai	20.8441	20.3569	20.5662	21.7269	20.0874	20.7366	19.8590	20.7714	20.3384
Af	18.3265	21.9186	20.3754	18.4626	23.2168	21.3343	18.1747	19.9222	19.0928
B	30.1740	22.9504	26.0538	30.6423	21.4910	25.1147	29.6514	25.1946	27.3099
C	23.2136	28.7089	26.3480	21.1302	28.1178	25.3509	25.5386	29.6178	27.6817
FG	0.3147	0.4880	0.4136	0.3861	0.6213	0.5281	0.2350	0.2831	0.2603
FP	1.1477	1.2409	1.2009	1.2987	1.3346	1.3204	0.9792	1.0970	1.0411
I	0.2036	0.2928	0.2545	0.3510	0.3221	0.3336	0.0392	0.2477	0.1487
OG	0.6294	0.2649	0.4215	0.7722	0.2761	0.4726	0.4700	0.2477	0.3532
OP	1.2588	0.4601	0.8032	1.1934	0.3221	0.6671	1.3318	0.6723	0.9853
PE	0.2777	0.1255	0.1909	0.3510	0.1381	0.2224	0.1958	0.1062	0.1487
PD	0.0185	0.0279	0.0239	0.0351	0.0460	0.0417	0.0000	0.0000	0.0000
D	1.0367	1.1015	1.0736	0.8424	1.3116	1.1258	1.2534	0.7785	1.0039
T	0.7220	0.9063	0.8271	0.8424	1.1965	1.0563	0.5875	0.4600	0.5205
E	1.5365	0.9900	1.2247	1.5444	1.3116	1.4038	1.5276	0.4954	0.9853
S	0.2036	0.1115	0.1511	0.2808	0.1381	0.1946	0.1175	0.0708	0.0930
CU	0.0740	0.0558	0.0636	0.1053	0.0690	0.0834	0.0392	0.0354	0.0372
TFB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TFC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MC	0.0185	0.0000	0.0080	0.0351	0.0000	0.0139	0.0000	0.0000	0.0000
VI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 1.11.

Distribución de los diferentes tipos de *minutiae* en función de la frecuencia presentada por área (dentro (D) y fuera (F) del círculo por sexo en los dedos homólogos pulgar derecho (D1) y pulgar izquierdo (D6).

Dedo 1				Dedo 6			
D > F		F > D		D > F		F > D	
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
B	Af	Ai	Ai	B	B	Ai	Ai
C	C	Af	B	FP	FP	Af	Af
FG	FG	FP	FP	I	OG	C	C
I	OG	D	I	OG	OP	FG	FG
OG	OP	T	PD	OP	PE	D	I
OP	PE		D	PE	E	T	D
PE	E		T	PD	S	CU	T
PD	S		CU	E	MB		CU
E			TFC	S			
S			MC	MC			
CU							
MC							

Tabla 1.12.

Tipos de *minutiae* de las frecuencias relativas para los dedos homólogos el índice derecho (D2) e índice izquierdo (D7) por sexo y área (dentro y fuera del círculo).

Dedo 2				Dedo 7			
D > F		F > D		D > F		F > D	
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
B	B	Ai	Ai	Ai	Ai	Af	Af
C	C	Af	Af	B	B	D	C
FP	FP	FG	FG	C	FP	T	FG
I	OG	D	I	FG	OG	MB	I
OG	OP	T	D	FP	OP	MC	D
OP	PE		T	I	PE		T
PE	PD		CU	OG	PD		S
PD	E		TFC	OP	E		TFC
E	S			PE	CU		MB
S	TFB			PD			
CU	MB			E			
TFB	MC			S			
MB				CU			
MC				TFB			

Tabla 1.13.

Tipos de *minutiae* de las frecuencias relativas para los dedos homólogos el medio derecho (D3) y el medio izquierdo (D8) por sexo y área (dentro y fuera del círculo).

Dedo 3				Dedo 8			
D > F		F > D		D > F		F > D	
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Af	Af	Ai	Ai	Ai	B	Af	Ai
C	C	B	B	B	FP	C	Af
FP	FG	FG	I	FP	OG	FG	C
I	FP	D	D	OG	OP	I	FG
OG	OG	T	T	OP	PE	PD	I
OP	OP	TFB	CU	PE	PD	T	D
PE	PE		TFB	D	E	CU	T
PD	PD			E	CU	MC	S
E	E			S			
S	S			MB			
CU	MB						
MB							
MC							

Tabla 1.14.

Tipos de *minutiae* de las frecuencias relativas para los dedos homólogos el anular derecho (D4) y el anular izquierdo (D9) por sexo y área (dentro y fuera del círculo).

Dedo 4				Dedo 9			
D > F		F > D		D > F		F > D	
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
B	Af	Ai	Ai	Ai	B	Af	Ai
C	C	Af	B	B	FG	C	Af
FG	FG	PD	D	FG	OG	I	C
FP	FP	T	T	FP	OP	PD	FP
I	I	CU	TFC	OG	PE	D	I
OG	OG	TFB		OP	E	T	D
OP	OP			PE	S		T
PE	PE			E	CU		
D	E			S	MB		
E	S			CU	MC		
S	CU			TFB			
MB	TFB			MB			
	MB						
















Tabla 1.15.

Tipos de *minutiae* de las frecuencias relativas para los dedos homólogos el meñique derecho (D5) y el meñique izquierdo (D10) por sexo y área (dentro y fuera del círculo).

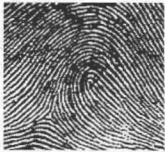

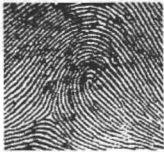

























Dedo 5				Dedo 10			
D > F		F > D		D > F		F > D	
♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Af	Af	Ai	Ai	Ai	B	Af	Ai
C	C	B	B	B	I	C	Af
FG	FP	FP	FG	I	OG	FG	C
I	OG	PD	I	OG	OP	FP	FG
OG	OP	D	D	OP	PE	PD	FP
OP	PE	T	T	PE	D	D	
PE	PD	MB	S	E	T	T	
E	E		TFB	S	E		
S	CU			CU	S		
CU	MB			MC	CU		
	MC						

ANEXO 2

Tabla 2.1. Morfología, abreviatura y definición de minucias

MORFOLOGÍA, ABREVIATURAS Y DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS CARACTERÍSTICOS		
	A	ABRUPTA: cresta papilar que, hallándose confinada entre otras dos crestas de mayor recorrido, se interrumpe definitivamente. Se clasifican en dos tipos: inicial (cuando partiendo del lado izquierdo del dactilograma la cresta comienza) y final (cuando partiendo del lado izquierdo del dactilograma la cresta se interrumpe).
	B	BIFURCACIÓN: punto en el que una cresta papilar, que parte del lado izquierdo del dactilograma, se desdobra en dos crestas.
	C	CONVERGENCIA: punto en el que dos crestas papilares, que parten del lado izquierdo del dactilograma, se fusionan en una sola.
	F	FRAGMENTO: cresta con ambos extremos abruptos y de longitud variable, siendo de tamaño “pequeño” si la longitud del fragmento es menor a cinco veces la anchura de la cresta, y “grande” si la longitud es de cinco a diez veces mayor que la anchura de la cresta.
	I	INTERRUPCIÓN: espacio que corta la trayectoria de una cresta completa, siempre que éste no sea mayor del doble de la anchura de la cresta, ni menor del ancho de la misma. Los extremos de las crestas que delimitan la interrupción han de ser redondeados.
	O	OJAL: espacio, más o menos elíptico, formado por las ramas de una cresta bifurcada que vuelven a fusionarse por convergencia; atendiendo a la longitud de los ojales, también pueden clasificarse en grandes y pequeños, siguiendo el mismo criterio expuesto para los fragmentos.
	P	PUNTO: pequeño fragmento de cresta, tan corto como ancho, que suele estar situado en el centro de una interrupción, en un delta hundido o, más frecuentemente, entre dos crestas, pudiendo llegar a aparecer adosado alguna de éstas.
	D	DESVIACIÓN: punto en el que dos crestas, procedentes de lados opuestos del dactilograma, no llegan a encontrarse, desviando sus trayectorias, quedando así separadas por un surco interpapilar (solapándose no más del triple del ancho de la cresta).
	T	TRANSVERSAL: cresta que se desvía de la dirección principal y cruza entre dos crestas de sentido opuesto.
	E	EMPALME: cresta corta de dirección oblicua, o perpendicular, que se fusiona, por sus extremos, con otras dos crestas paralelas.
	S	SECANTE: punto de contacto entre dos crestas que inmediatamente se separan formando un aspa.
	CU	ENSAMBLE o CUÑA: punto formado por tres abruptas, en el que una de ellas se adentra, no más de tres veces el ancho de la cresta, en el inicio del surco interpapilar formado por otras dos crestas que discurren en sentido contrario.
	TF	TRIFURCACIÓN: punto a partir del cual una cresta se ramifica en otras tres, pudiendo clasificarse en dos tipos: con sentido divergente (cuando partiendo del lado izquierdo del dactilograma, la cresta se ramifica en tres) y con sentido convergente (cuando, partiendo del lado izquierdo del dactilograma, tres crestas se fusionan en una sola).
	M	EN M: punto en el que confluyen dos convergencias y una bifurcación o viceversa, pudiendo clasificarse en dos tipos: con sentido divergente (cuando partiendo del lado izquierdo del dactilograma, encontramos primero dos bifurcaciones y luego una convergencia) y con sentido convergente (cuando, partiendo del lado izquierdo del dactilograma, encontramos primero una bifurcación y luego dos convergencias).
	VI	VUELTA INSÓLITA: cresta que, cambiando bruscamente de dirección, se curva en cayado prolongándose, incluso en sentido opuesto al de la principal, sin que llegue a constituir centro nuclear. Puede ser simple a doble.

I. Hoja de recuento de minucias
Lado anverso de la hoja:

DATOS PERSONALES							
Nº INDIVIDUO	EDAD:	PAÍS de nacimiento:	Observaciones:				
AÑO DEL ESTUDIO:	SEXO:						
DATOS DACTILOSCOPICOS							
PARTICULARIDADES DACTILOSCOPICAS ENCONTRADAS:							
Vuelta insólita:		Otras:					
Delta:							
CONSIDERACIONES PARA LA VALORACIÓN DEL TIPO DE FIGURA PRINCIPAL:							
MANO DERECHA		MANO IZQUIERDA					
							
Presilla ulnar o cubital Sinistrodelto	Presilla radial Dextrodelto	Presilla radial Sinistrodelto	Presilla ulnar o cubital Dextrodelto				
HUNDIDOS	BLANCOS	ABIERTOS	 Ha (1)	 Has (2)	 Hai (3)	 Hae (4)	
		CERRADOS	 Hc (5)	 Hcs (6)	 Hci (7)	 Hce (8)	
		PUNTEADOS	ABIERTOS	 Pa (9)	 Pas (10)	 Pai (11)	 Pae (12)
			CERRADOS	 Pc (13)	 Pcs (14)	 Pci (15)	 Pce (16)
	TRIPOIDALES	CORTOS		 Tc (23)	 Tcs (24)	 Tci (25)	 Tce (26)
		LARGOS		 Tl (27)	 Tls (28)	 Tli (29)	 Tle (30)

Lado reverso de la hoja:

Nº ficha:		Nº DEDO:		TIPO DE FIGURA:		TIPO DE DELTA (a la vista del observador):		IZ:		DCH:	
SECTOR SUPERIOR IZQUIERDO (S. I.)						SECTOR SUPERIOR DERECHO (S.D.)					
	DENTRO	NºT	FUERA	NºT		DENTRO	NºT	FUERA	NºT		NºT
A	F:				A	F:					
	I:					I:					
B					B						
C					C						
F	G:				F	G:					
	P:					P:					
I					I						
O	G:				O	G:					
	P:					P:					
P	E:				P	E:					
	D:					D:					
D					D						
T					T						
E					E						
S					S						
CU					CU						
TF	B:				TF	B:					
	C:					C:					
M	B:				M	B:					
	C:					C:					
VI					VI						
DE					DE						
Totales (D_S_S.I.)				Totales (F_S_S.I.)		Totales(D_S_S.D.)				Totales(F_S_S.D.)	
EMPASTADA				CICATRICES		EMPASTADAS				CICATRICES	
SECTOR INFERIOR IZQUIERDO (I.I.)						SECTOR INFERIOR DERECHO (I. D.)					
	DENTRO	NºT	FUERA	NºT		DENTRO	NºT	FUERA	NºT		NºT
A	F:				A	F:					
	I:					I:					
B					B						
C					C						
F	G:				F	G:					
	P:					P:					
I					I						
O	G:				O	G:					
	P:					P:					
P	E:				P	E:					
	D:					D:					
D					D						
T					T						
E					E						
S					S						
CU					CU						
TF	B:				TF	B:					
	C:					C:					
M	B:				M	B:					
	C:					C:					
VI					VI						
DE					DE						
Totales (D_S_I.I.)				Totales (F_S_I.I.)		Totales (D_S_I.D.)				Totales(F_S_I.D.)	
EMPASTADAS				CICATRICES		EMPASTADAS				CICATRICES	

Organigrama de la Coordinación General de Servicios Periciales



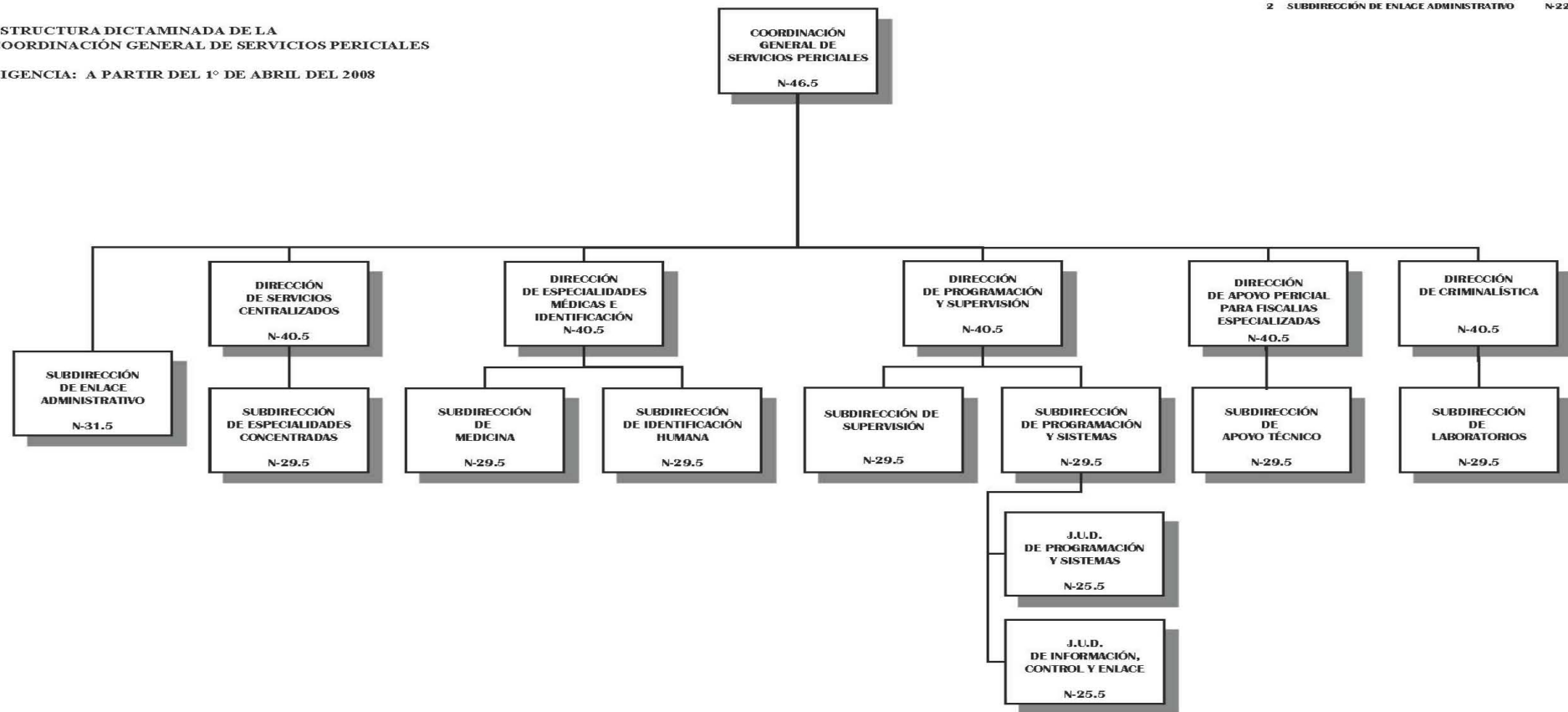
Oficialía Mayor
 Dirección General de Programación,
 Organización y Presupuesto

ESTRUCTURA DICTAMINADA DE LA
 COORDINACIÓN GENERAL DE SERVICIOS PERICIALES

VIGENCIA: A PARTIR DEL 1º DE ABRIL DEL 2008

ADICIONALMENTE CUENTA CON PUESTOS DE ENLACE "C"
 ADSCRITOS EN:

2 SUBDIRECCIÓN DE ENLACE ADMINISTRATIVO N-22.5



BIBLIOGRAFÍA

- Aase, J., Lyons, R.B. (1971) Technique for recording dermatoglyphics. *Lancet* 1, 432-433.
- Abel, W. (1936) Gestörte papillarmuster in verbindung mit einigen körperlichen und geistigen anomalier. *Zeitschrift für morphologie und anthropologie* 36, 1-38.
- Abel, W. (1938) Kritische studien über die entwicklung der papillarmuster auf den fingerbeeren. *Zeitschrift für menschliche vererbungsund konstitutionslehre* 34, 15-20.
- Abraham, J., Champod, C., Lennard, C., Roux, C. (2013a) Spatial analysis of corresponding fingerprint features from match and close non-match populations. *Forensic Science International* 230, 87-98.
- Abraham, J., Champod, C., Lennard, C., Roux, C. (2013b) Modern statistical models for forensic fingerprint examinations: a critical review. *Forensic Science International* 232, 131-150.
- Acree, M.A. (1999) Is there a gender difference in fingerprint ridge density? *Forensic Science International* 102, 35-44.
- Agnihotri, A.K., Jowaheer, V., Allock, A. (2012) An analysis of fingerprint ridge density in the Indo-Mauritian population and its application to gender determination. *Medicine, Science and the Law* 52, 143-147.
- Ahmed, A.A., Osman, S. (2016) Topological variability and sex differences in fingerprint ridge density in a sample of the Sudanese population. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 42, 25-32.
- Aitken, C.G.G., Taroni, F. (2005) *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Science*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Alberink, I., de Jongh, A., Rodriguez, C. (2014) Fingermark evidence evaluation based on automated fingerprint identification system matching scores: the effect of different types of conditioning on likelihood ratios. *Journal of Forensic Science* 59(1), 70-81.
- Amy, L. (1946) Valeur de la preuve en dactyloscopie. *Journal de la Société de Statistique de Paris* 88, 80-87.
- Anaya Pérez, Sandra Luz Marcela. (1987) Análisis de los patrones dermopapilares palmares en un grupo de chichimecas de ambos sexos pertenecientes a la misión de San Luis de la Paz, Guanajuato. Tesis, licenciatura en biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- ANON (1973) International Association for Identification: standardization committee report. *FBI Law Enforcement Bull* 42, 7-8.
- ANON (2002) European fingerprint standards, a pointless exercise. *Fingerprint Whorld* 28, 19.

- Anthonioz, A., Champod, C. (2014) Integration of pore features into the evaluation of fingerprint evidence. *Journal of Forensic Sciences* 59, 82-93.
- Anthonioz, A., Egli, N., Champod, C., Neumann, C., Puch-Solis, R., Bromage-Griffiths, A. (2008) Level 3 details and their role in fingerprint identification: a survey among practitioners. *Journal of Forensic Identification* 58(5), 562-589.
- Antón Barberá, F., de Luis-Turégano, J.V. (1993) *Policía Científica*, 2ed. Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Antón Barberá (1998) *Iniciación a la dactiloscopia y otras técnicas policiales*. Valencia: Tirant Lo Blanch.
- Aréchiga Viramontes Julieta. (1979) Algunos aspectos de la antropología física de los Tojolabales (estudio comparativo). Tesis de Maestría en antropología. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Ashbaugh, D.R. (1982) Poroscopy. *Fingerprint Whorld* 19(72), 5-12.
- Ashbaugh, D.R. (1999) *Quantitative-Qualitative Friction Ridge Analysis. An introduction to Basic and Advanced Ridgeology*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Babler, W.J. (1978) Prenatal Selection and Dermatoglyphic Patterns. *American Journal of Physical Anthropology* 48(1), 21-28.
- Babler, W.J. (1990) Prenatal communalities in epidermal ridge development. En *Trends in Dermatoglyphic Research*. Durham, N.M., Plato, C.C. (eds.) Dordrecht: Kluwer Academic Press, 54-68.
- Babler, W.J. (1991) Embryologic development of epidermal ridges and their configurations. En *Dermatoglyphics. Science in Transition*. Plato, C.C., Garruto, R.M., Schaumann, B.A., Paul, N.W. (eds.) New York: Wiley Liss, 95-112.
- Badawi, A., Mahfouz, M., Tadross, R., Jantz, R. (2006) Fingerprint-based gender classification. En: *Proceedings of the 2006 International Conference on Image Processing, Computer Vision, & Pattern Recognition (IPC'06)*. Arabnia, H.R. (ed.) Las Vegas, Nevada: CSREA Press, 41-46.
- Balthazard, V. (1911) De l'identification par les empreintes digitales. *Comptes Rendus, des Academies des Sciences* 152, 1862-1864.
- Barclay F. (1997) Friction ridge identification based on pore structure – a case study. *Fingerprint Whorld* 23(87), 7-11.
- Biegert, J. (1961) Volarhaut der Hände und Füße. In: Hofer, H., Schultz, A. H., Starck, D. (Hrsg.) *Primatologia. Handbuch der Primatenkunde*. Karger, Basel, New York.
- Biegert, J. (1963) The evaluation of characteristics of the skull, hands and feet for primate taxonomy. In *Classification and Human Evolution* (S. L. Washburn, ed.). Chicago: Aldine-Atherton, pp. 116-145.

- Biegert, J. (1971) Dermatoglyphics in the chimpanzee. En *The chimpanzee: behavior, growth, and pathology of chimpanzees. Volume 4*. Bourne, G. (ed.) Baltimore: University Park Press, 273-324.
- Bindra, B., Jasuja, O.P., Singla, A.K. (2000) Poroscopy: a method of personal identification revisited. *Anil Aggrawal's Internet Journal of Forensic Medicine and Toxicology* 1(1).
- Bonnevie, K. (1924) Studies on papillary patterns of human fingers. *Journal of genetics* 15, 1-111.
- Bonnevie, K. (1927) Die ersten entwicklungsstadien der papillarmuster der menschlichen fingerballen. *Nyt Magazin for Naturvidenskaberne* 65, 19-56.
- Brehme, H. (1967a) Hautleisten System der Palma und Planta von sechs Arten der asiatischen Schlankaffen (*Presbytis*). *Zeitschrift für Morphologische Anthropologie* 59:109-145.
- 1967b Untersuchungen am hautleistensystem der palm a und planta Von *Colobus polykomos, Colobus badius, Colobus verus and, Nasalis Larvatus*", *Folia primat* 6:243-283,
- 1968 Zur variabilität des hautleistensystems der meerkatzen (*Cercopithecus*) and des Hasarenaffen (*Entrocebus patas*), *Folia primat* 9:41-67.
- 1975 Epidermal Patterns of the Hands and Feet of the Pygmy Chimpanzee, (*Pan paniscus*), *Am J. Phys. Anthropol* 42:255-262.
- Carlson, B. (1999) *Human Embryology and Development Biology*. New York: Mosby 1999.
- Cásarez Espinosa Mario. (1982) Patrones dermatoglíficos palmares en grupos de huicholes en el estado de Jalisco. Tesis, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cassidy, M.J. (1980) *Footwear Identification*. Ottawa: Public Relations Branch of the Royal Canadian Mounted Police.
- Chakraborty, R. (1991) The role of heredity and environment on dermatoglyphic traits. En *Dermatoglyphics. Science in Transition*. Plato, C.C., Garruto, R.M., Schaumann, B.A., Paul, N.W. (eds.) New York: Wiley Liss, 151-191.
- Champod, C. (1995) Edmond Locard—Numerical standards and “probable” identifications. *Journal of Forensic Identification* 45(2), 136-163.
- Champod, C. (1996) *Reconnaissance automatique et analyse statistique des minuties sur les empreintes digitales*. Tesis doctoral, Université de Lausanne, Switzerland. Institut de Police Scientifique et de Criminologie.

- Champod, C. (2009) Identification and individualization. En: *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*. Jamieson, A., Moenssens, A. (eds.) United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd., 1508-1510.
- Champod, C., Evett, I.W. (2001) A probabilistic approach to fingerprint evidence. *Journal of Forensic Identification* 51, 101-122.
- Champod, C., Lennard, C., Margot, P., Stoilovic, M. (2004) *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Champod, C., Margot, P. (1996) Computer assisted analysis of *minutae* occurrences on fingerprints. En: *Proceedings of the International Symposium on Fingerprint Detection and Identification*. Almog, J., Springer, E. (ed.), Israel National Police, 305-318.
- Chu, D.H., Haake, A.R., Holbrook, K., Loomis, C.A. (2003) The structure and development of the skin. En: Freedberg, I.M., Eisen, A.Z., Wolff, K., Austen, K.F., Goldsmith, L.A., Katz, S.I. (eds.) *Fitzpatrick's Dermatology in General Medicine*. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 58-88.
- Clemson, E. (2007) *Analysis of pore details in inked fingerprints and latent prints developed with ninhydrin*. Wolverhampton, U.K: University of Wolverhampton.
- Cole, S.A. (2001) What counts for identity? *Fingerprint Whorld* 27(103), 7-35.
- Cole, S.A. (2005) More than zero: accounting for error in latent fingerprint identification. *The Journal of Criminal Law and Criminology* 95(3), 985-1078.
- Cole, S.A. (2006) Is fingerprint identification valid? Rhetorics of reliability in fingerprint proponents' discourse. *Law & Policy* 28(1), 109-135.
- Cole, S.A. (2008) The 'opinionization' of fingerprint evidence. *BioSocieties* 3(1), 105-113.
- Manual específico de operaciones de servicios periciales en la especialidad de identificación forense. (2007) *Coordinación General de Servicios Periciales*. Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México. PGJ, CDMX.
- Corona Rivera Enrique, Noriega A., Totsuka E., Ornelas L., Perez G., Pablos A., Ramirez, J., Baajas O., Padilla Luz Ma., Quintana L. (1984) Dermatoglifología médica. Estudio de referencia para uso clínico en una población estudiantil del occidente de México. Archivos Facultad de Medicina, Universidad de Guadalajara; Guadalajara, Jalisco, México. 1(3):32-43.
- Crawford, M.H., P.M. Lin and G. Thippeswamy. (1976) Dermatoglyphic variation in Tlaxcaltecan populations. In: *The Tlaxcaltecan*. U. of Kansas Anthro. Series, 7:120-144.
- Crouchy, J de, Turleau C. (1977) *Clinical atlas of human chromosomes*. Wiley, New York.

- Cummins, H. (1923) The configurations of epidermal ridges in a human acephalic monster. *Anatomical Record* 26(1), 1-13.
- Cummins, H. (1926) Epidermal ridge configurations in developmental defects, with particular references to the ontogenetic factors which condition ridge direction. *American Journal of Anatomy* 38(1), 89-151.
- Cummins, H. (1929) The topographic history of the volar pads (Walking Pads; Tastballen) in the human embryo. *Contributions to embryology* 20, 105-126.
- Cummins, H. (1941) Ancient fingerprint in clay. *Science Monthly* 52, 389-402.
- Cummins, H. (1965) Loss of ridged skin before birth. *Finger print and identification magazine* 46, 3-7.
- Cummins, H., Midlo, C. (1926) Palmar and plantar epidermal ridge configurations (dermatoglyphics) in European-Americans. *American Journal of Physical Anthropology* 9, 471-502.
- Cummins, H., Midlo, C. (1942) *Palmar and plantar dermatoglyphics in primates. American anatomical memoirs* 20. Philadelphia: Wistar institute of anatomy and biology.
- Cummins, H., Midlo, C. (1943) *Finger prints, palms and soles. An introduction to dermatoglyphics*. Philadelphia: Blakiston.
- Cummins, H., Midlo, C. (1961) *Finger prints palms and soles*, New York: Dover Publications Inc.
- Cummins, H. Steggerda,. (1936) Finger prints in Maya Indians. Middle American Research Series. New Orleans. 7:229-23.
- Cummins, H., Waits, W.J., McQuitty, J.T. (1941) The breadths of epidermal ridges on the finger tips and palms: a study of variation. *American Journal of Anatomy* 68, 127-150.
- Dankmeijer, J. (1938) Some anthropological data on finger prints. *American Journal of Physical Anthropology*, 23, 377-388.
- Dankmeijer, J., Waltman, J.M., Wilde, A.G., (1980) Biological foundations for forensic identifications based on fingerprint. *Acta Morphologica Neerlando-Scandinavica* 18, 67-83.
- Daubert v. Merrel Dow Pharmaceuticals, Inc. (1993) *Daubert Et Ux., Individually And As Guardians Ad Litem For Daubert, Et Al. V. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc.* 509 U. S. 579 No. 92-102, 579-601.
- David, T.J. (1981) Distribution, age and sex variation of the mean epidermal ridge breadth. *Human Heredity* 31, 279-282.

- Del Ángel Escalona Andrés. (1995) Análisis estadístico de datos bioantropológicos. Para obtener el diploma de especialización en estadística aplicada, Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dell, D.A., Munger, B.L. (1986) The early embryogenesis of papillary (sweat duct) ridges in primate glabrous skin: the dermatotrophic map of cutaneous mechanoreceptors and dermatoglyphics. *Journal of comparative neurology and psychology* 244, 511-532.
- Delgado Caballero Samuel Alfonso. (2003) *Lofotecnia, revelado de huellas latentes*. Bucaramanga, Color Tres.
- Diccionario de la Lengua Inglesa, (2000) *The American Heritage*. cuarta edición. por Houghton Mifflin Company. Actualizado en 2009. Publicado por Houghton Mifflin Company.
- Dillon, Y.K., Haynes, J., Henneberg, M. (2001) The relationship of the number of Meissner's corpuscles to dermatoglyphic characters and finger size. *Journal of Anatomy* 199, 577-584.
- Dror, I.E., Charlton, D. (2006) Why experts make errors. *Journal of Forensic Identification* 56(4), 600-616.
- Dror, I.E., Rosenthal, R. (2008) Meta-analytically quantifying the reliability and biasability of fingerprint experts' decision making. *Journal of Forensic Identification* 53(4), 900-903.
- EFPWG. (2011) Position of the European Fingerprint Working Group (EFPWG) of the European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI) regarding the NRC report. *Journal of Forensic Identification* 61(6), 677-679.
- Egli, N.M., Champod, C., Margot, P. (2007) Evidence evaluation in fingerprint comparison and automated fingerprint identification systems – modelling within finger variability. *Forensic Science International* 167, 189-195.
- Eshak, G.A., Zaher, J.F., Hasan, E.I., Ewis, A.A.E. (2013) Sex identification from fingertip features in Egyptian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 20, 46-50.
- Espino Cruz Salvador. (1994) Estudio dermatoglífico en la población mestiza de las Margaritas Chiapas. Tesis de Licenciatura en antropología física. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Expert Working Group on Human Factors in Latent Print Analysis. (2012) *Latent print examination and human factors: improving the practice through a systems approach*. U.S. Department of Justice's National Institute of Justice and National Institute of Standards and Technology (eds.).
- Faulds, H. (1905) *Guide to finger-print identification*. London: Hanley, Wood, Mitchell.

- Faulds, H. (1923) *A manual of practical dactylography*. London: Police Review.
- Ferre D'Amaré, R. y Stephens, J. C. (1974) Dermtoglifos de nahuas y huastecos. Memorias de la II Reunión Anual de la Sociedad Mexicana de Genética. 369-393.
- Figueras, I. (1993) *Dermatoglifos: Bibliografía*. Departamento de Antropología de la Universidad de Coimbra (ed.).
- Figuroa, H. H. y Alonso, V. M. (1979) Dermtoglifos en las enfermedades neurológicas. *Dermatología, Revista Mexicana* 23-2/3:189-205.
- Figuroa Tapia, Héctor Hugo. (1990) *La dermatoglifia en las ciencias biomédicas*. Serie: Ensayos y Estudios 6. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Walker N. F. (1957) The use of dermal configurations in the diagnosis of mongolism. En: *The Journal of Pediatrics*. 50 (1), 19-26.
- Fournier, N.A., Ross A.H. (2016) Sex, ancestral, and pattern type variation of fingerprint *minutiae*: A forensic perspective on anthropological dermatoglyphics. *American Journal of Physical Anthropology* 160(4), 625-632.
- Fraser-Mackenzie, P.A.F., Dror, I.E., Wertheim, K. (2013) Cognitive and contextual influences in determination of latent fingerprint suitability for identification judgments. *Science and Justice* 53, 144-153.
- Freinkel, R.K., Woodley, D.T. (2001) *The Biology of Skin*. New York: The Parthenon.
- Galnares A. (1987) Patrones dermatoglíficos palmares, en un grupo de totonacas del estado de Veracruz. Tesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Galton, F. (1892) *Finger Prints*. London: Ed. MacMillan.
- García-Cuevas, M. (2011) Una aproximación al estudio de la afinidad poblacional en tres grupos indígenas (popolocas, mazatecos y nahuas), a partir de los dermatoglifos digito-palmares. Tesis maestría UNAM-México.
- Gómez-Marín, J., Ramón, M.A. (2010) Estudio de las frecuencias fenotípicas de los puntos característicos en dactilogramas. *Ciencia Policial* 101, 5-60.
- González de la Concha, María del Socorro Dolores. (1987) Análisis de los dermatoglifos palmares en un grupo de popolocas de ambos sexos del estado de Puebla. Tesis de Licenciatura en biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gould, E. (1948) *A topographic study of the differentiation of the dermatoglyphics in the human embryo*. New Orleans: Tulane University.
- Greenacre, M.J., (1984) *Theory and applications of correspondence analysis*. London: Academic Press.

- Grieve, D.L. (1996) Possession of truth. *Journal of Forensic Identification* 46(5), 521-528.
- Grieve, M.C., Dunlop, J. (1992) A practical aspect of the Bayesian interpretation of fibre evidence. *Journal of the Forensic Science Society* 32, 169-175.
- Grivas, C.R., Komar, D.A (2008) Kumho, Daubert, and the nature of scientific inquiry: implications for forensic anthropology. *Journal of Forensic Sciences* 53(4), 771-776.
- Gungadin, S. (2007) Sex determination from fingerprint ridge density. *Internet Journal of Medical Update* 2(2), 1-4.
- Gupta, A., Phil, M., Sutton, R. (2010) Pore sub-features reproducibility in direct microscopic and livescan images – their reliability in personal identification. *Journal of Forensic Sciences* 55(4), 970-975.
- Gupta, S.R. (1968) Statistical survey of ridge characteristics. *International criminal police review* 218, 130-134.
- Gutiérrez, E., Galera, V., Martínez, J. M. and Alonso, C. (2007) 'Biological variability of the minutiae in the fingerprints of a sample of the Spanish population', *Forensic Sci Int*, 172(2-3), pp. 98-105.
- Gutiérrez Redomero E, Galera Olmo, V., Martínez, JM., Alonso Rodríguez C. (2006) Variabilidad biológica de los puntos característicos en las impresiones dactilares de la población española: su aplicación en Antropología Forense. En: *Diversidad Biológica y Salud Humana*, Andrés Martínez Almagro (Ed). Universidad Católica San Antonio. Cuaderna Editorial. Murcia. España.
- Gutiérrez, E., Galera, V., Martínez, J.M., Alonso, C. (2007) Biological variability of the *minutiae* in the fingerprints of a sample of the Spanish population. *Forensic Science International* 172, 98-105.
- Gutiérrez-Redomero, E., Alonso, C., Romero, E., Galera, V. (2008) Variability of fingerprint ridge density in a sample of Spanish Caucasians and its application to sex determination. *Forensic Science International* 180, 17-22.
- Gutiérrez-Redomero, E., Alonso, M.C., Dipierri, J.E. (2011b) Sex differences in fingerprint ridge density in the Mataco-Mataguayano population. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology* 62, 487-499.
- Gutiérrez-Redomero, E., Alonso-Rodríguez, C., Hernández-Hurtado, L.E., Rodríguez-Villalba, J.L. (2011a) Distribution of the *minutiae* in the fingerprints of a sample of the Spanish population. *Forensic Science Internacional* 208, 79-90.
- Gutiérrez-Redomero, E., Hernández Hurtado, L.E. (2011) La identificación Lofoscópica. En: *Policía Científica. 100 años de Ciencia al servicio de la Justicia*. Bilbao: Ministerio del Interior, 39-70.

- Gutiérrez-Redomero, E., Alonso-Rodríguez, C. (2013) Sexual and topological differences in palmprint and ridge density in the Caucasian Spanish population. *Forensic Science International* 229, 159e1-159e10.
- Gutiérrez-Redomero, E., Quirós, J.A., Rivaldería, N., Alonso, M.C. (2013b) Topological variability of fingerprint ridge density in a sub-Saharan population sample for application in personal identification. *Journal of Forensic Sciences* 58, 592-600.
- Gutiérrez-Redomero, E., Rivaldería, N., Alonso-Rodríguez, C., Sánchez-Andrés, A. (2014) Assessment of the methodology for estimating ridge density in fingerprints and its forensic application. *Science & Justice* 54, 199-207.
- Gutiérrez-Redomero, E., Rivaldería, N., Alonso-Rodríguez, M.C., Martín, L.M., Dipierri, J.E., Fernández-Peire, M.A., Morillo, R. (2012) Are there population differences in *minutiae* frequencies? A comparative study of two Argentinian population samples and one Spanish sample. *Forensic Science International* 222, 266-276.
- Gutiérrez-Redomero, E., Sánchez-Andrés, A., Rivaldería, N., Alonso-Rodríguez, M.C., Dipierri, J.E., Martín, L.M. (2013a) A comparative study of topological and sex differences in fingerprint ridge density in Argentinian and Spanish population samples. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 20, 419-429.
- Haber, L., Haber, R.N. (2009) *Challenges to fingerprints, lawyers and judges*. Tucson, Arizona: Publishing Company, Inc.
- Hale, A. (1949) Breadth of epidermal ridges in the human fetus and its relation to growth of the hand and foot. *Anatomical Record* 105, 763-775.
- Hale, A. (1952) Morphogenesis of volar skin in the human fetus. *American Journal of Anatomy* 91, 147-173.
- Henry, E. R. (1934) *Classification and uses of fingerprints*. 7th ed. London: H.M. Stationery Office.
- Herschel, W. J. (1916) *The origin of finger-printing*. London: Oxford University Press.
- Hirsch, W. (1964) Biological aspects of finger prints, palms, and soles. *Finger print and identification magazine* 3-17.
- Holder, E.H., Robinson, L.O., Laub, J.H. (eds.) *The Fingerprint Sourcebook*. Washington: Createspace Independent Pub.
- Holt, S.B. (1957) Genetics of dermal ridge. Sib pair correlations for total finger ridge-count. *Annals of Human Genetic* 21, 352-362.
- Holt, S.B. (1968) *The genetics of dermal ridges*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Hotz, T., Gottschlich, C., Lorenz, R., Bernhardt, S., Hantschel, M., Munk, A. (2011)

- Statistical Analyses of Fingerprint Growth. En: *Proceedings - International Conference of the Biometrics Special Interest Group*. Darmstadt, Germany: BIOSIG, 11-20.
- Huber, R.A. (1959) Expert Witness. *Criminal Law Quarterly* 2, 276-295.
- Huber, R.A. (1972) The philosophy of identification. *Royal Canadian Mounted Police Gazette* 9-14.
- Ibáñez, P. (2010) Técnicas de Investigación Criminal. En: *La explotación de la huella dactiloscópica en el desarrollo de la investigación criminal*. 2ª. Ed. Dykinson. S.L. Madrid.
- IBG (2003) International Biometric Group. The Henry Classification System. New York. Disponible en: <http://newmanboston.org/customized/uploads/henry%20fingerprint%20classification.pdf>
- INEGI, I. (2016) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). [online] inegi.gob.mx. Available at: <http://www.inegi.gob.mx> [Accessed 4 Jun. 2016].
- International Association for Identification (IAI), Resolution 1980-7, *Identification News*, 30(3).
- International Association for Identification (IAI), Resolution 2010-18. International Association For Identification: http://www.theiai.org/member/resolutions/2010/Resolution_2010-18.pdf.
- Interpol European Expert Group on Fingerprint Identification (IEEGFI-II) (2004) *Method for Fingerprint Identification*. Interpol European Expert Group on Fingerprint Identification II: Lyon, France.
- Irmak, M.K., (2010) Multifunctional Merkel cells: their roles in electromagnetic reception. Finger-print formation, Reiki, epigenetic inheritance and hair form. *Medical Hypotheses* 75, 162-168.
- Jablonski, N.G. (2004) The evolution of human skin and skin color. *Annual Review of Anthropology* 33, 585-623.
- Jantz, R.L., Parham, K.R. (1978) Racial differences in dermal ridge breadth. *Human Biology* 50, 33-40.
- Johnson, R.A., Wichern, D.W. (2002) *Applied multivariate statistical analysis*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Juárez M., A. (2014) Interacciones genéticas fenotípicas y socio-ambientales en la transición nutricional de un pueblo de fornera: el caso de los otomíes del Valle del Mezquital. Tesis de Doctorado, UNAM.
- Kahn, H.S., Ravindranath, R., Valdez, R., Venkat Narayan, K.M. (2001) Fingerprint ridge count differences between adjacent fingerprints (dR45) predict upper-body

- tissue distribution: evidence for early gestational programming. *American Journal of Epidemiology* 153, 338-344.
- Kalmus, H., A. L. de Garay, U. Rodarte y L. Cobo. (1964) The frequency of PTC tasting, hard ear wax, color blindness and other genetical characters in urban and rural Mexican populations. *Human Biology*, 36:134-135.
- Kapoor, N., Badiye, A. (2014) Sex differences in thumbprint ridge density in a central Indian population. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 5, 23-29.
- Karmakar, B., Yakovenko, K., Kobylansky, E. (2008a) Quantitative digital and palmar dermatoglyphics: Sexual dimorphism in the Chuvashian population of Russia. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* 59, 317-328.
- Kaur, R., Garg, R.K. (2011) Determination of gender differences from fingerprint ridge density in two northern Indian populations. *Problems of Forensic Sciences* 85, 5-10.
- Kaye, D.H. (2010) Probability, individualization, and uniqueness in forensic science evidence: Listening to the academies. *Brooklyn Law Review* 75(4), 1163-1185.
- Kellman, P.J., Mnookin, J.L., Erlichman, G., Garrigan, P., Ghose, T., et al. (2014) Forensic comparison and matching of fingerprints: using quantitative image measures for estimating error rates through understanding and predicting difficulty. *PLOS ONE* 9(5), e94617.
- Kennedy, D. (2003) Forensic science: oxymoron? *Science* 302(5651), 1625.
- Kim, D.K., Holbrook, K.A. (1995) The appearance, density, and distribution of Merkel cells in human embryonic and fetal skin: their relation to sweat gland and hair follicle development. *Journal of Investigative Dermatology* 104(3), 411-416.
- Kingston, C.R. (1964) *Probabilistic Analysis of Partial Fingerprint Patterns*. Berkeley: Department of Criminology University of California.
- Koehler, J.J. (2008) Fingerprint error rates and proficiency tests: What they are and why they matter. *Hastings Law Journal* 59(5), 1077.
- Koehler, J.J., Saks, M.J. (2010) Individualization claims in forensic science: Still unwarranted. *Brooklyn Law Review* 75(4), 1187-1208.
- Kollmann, A. (1883) *Der Tastapparat der Hand der menschlichen Rassen und der Affen in seiner Entwicklung und Gliederung (The Tactile Apparatus of the Hand of the Human Races and Apes in Its Development and Structure)*. Hamburg: Voss Verlag.
- Králík, M., Novotný, V. (2003) Epidermal ridge breadth: an indicator of age and sex in paleodermatoglyphics. *Variability and Evolution* 11, 5-30.
- Krishnan, T., Reddy, B.M. (1994) Geographical and ethnic variability of finger ridge-counts biplots of male and female Indian samples. *Annals of Human Biology* 21,

- 155-169.
- Krishan, K., Kanchan, T., Ngangom, C. (2013) A study of sex differences in fingerprint ridge density in a North Indian young adult population. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 20, 217-222.
- Kücken, M., Champod, C. (2013) Merkel cells and the individuality of friction ridge skin. *Journal of Theoretical Biology* 317, 229-237.
- Kücken, M., Newell, A. (2005) Fingerprint formation. *Journal of Theoretical Biology* 235(1), 71-83.
- Kumbhani, H.K. (2007) Dermatoglyphics: A review. En *Anthropology Today: Trends, Scope and Applications*. Bhasin, V., Bhasin, M.K. (eds.) Delhi: Kamla-Raj Enterprises, 285-295.
- Lacroix, B., Wolff-Wuenot, M., Haffen, K. (1984) Early human hand morphology: An estimation of fetal age. *Early Human Development* 9(2), 127-136.
- Lagunas Rodríguez Zaid, Serrano Sánchez Carlos y Weeks Pérez, Guadalupe. (1985) Estructura genética y mestizaje en el grupo mazahua. Memorias del primer encuentro sobre la cultura de la región Mazahua. Facultad de Humanidades. Departamento de Antropología física, Instituto Nacional de Antropología e Historia-Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA). Universidad Nacional Autónoma de México-Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Lagunas Rodríguez Zaid y López Alonso Sergio. (2004) Antropología física en grupos humanos de filiación otomame. *Ciencia Ergo Sum*. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México. 11 (001): 47-58.
- Lambourne, G. (1984) *The Fingerprint Story*. London: Ed Harrap.
- Langenburg, G. (2009) Friction ridge skin: comparison and identification. En: *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*. Jamieson, A., Moenssens, A. (eds.) United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd., 1282-1292.
- Leche Stella, Marie A. (1933) Dermatoglyphics and functional lateral dominance in Mexican Indians (Maya and Tarahumara). En: *Measures of men*. Middle American Research Series. New Orleans. 5:29-42.
- 1936a. Dermatoglyphics and functional lateral dominance in Mexican Indians: II. Aztecas. Middle American Research Series. New Orleans. 7:207-223.
- 1936b. Dermatoglyphics and functional lateral dominance in Mexican Indians: III. Zapotecas and Mixtecas Antropometry of the Zapotecas and Mixtecas. Middle American Research Series. New Orleans. 7: 287-312.
- 1936c. Dermatoglyphics and functional lateral dominance in Mexican Indians: IV. Chamulas. Anthropometry of the Chamulas. Middle American Research Series. New Orleans. 7:287-312.

- 1936d. The dermatoglyphics of the Tarascan Indians of Mexico. Middle American Research Series. New Orleans. 7:315-329.
- Leche, S. M., Gould, H. N. y Tharp, D. (1944) Dermatoglyphics and functional lateral dominance in Mexican Indians: V. The Zinacantecs, Huxtecs, Amatenangos and Tzeltals, with anthropometry of these four groups. En: Measures of men. Middle American Research Series. New Orleans. 1(6):21-64.
- Leeson, T. y Leeson, R. (1970) *Histologia*, 2ª. Ed. Editorial Interamericana. México.
- Lin, C.H. (1981) *The similarity of fingerprints and the development of a single fingerprint filing and searching system*. Chicago: University of Illinois.
- Locard, E. (1912) Les pores et l'identification des criminels. *Biologica Journal Scientifique du Médecine* 2(24), 357-65.
- Locard, E. (1913) La poroscopie. *Archives d'Anthropologie Criminelle, de Médecine Légale et de Psychologie Normale et Pathologique* 8(235), 528-546.
- Locard, E. (1931) *Traité de Criminalistique, Vol. I à VII*. Lyon: Joannès Desvigne et Fils.
- Loesch, D.Z. (1973) *Minutiae and clinical genetics*. *Journal of Mental Deficiency Research* 17, 97-105.
- Loesch, D.Z., Czyzewska, J. (1972) Ridge breadth in the a-b segment in children aged 0-14 years. *Folia Morphologica* 31(2), 249-254.
- Loesch, D.Z., Godlewska, J. (1971) Breadth of the dermal ridges in the a-b area in children aged 0-6 years. *Folia Morphologica* 30(4), 511-514.
- Loesch, D.Z., Lafranchi, M. (1990) Relationship of epidermal ridge patterns with body measurements and their possible evolutionary significance. *American Journal of Physical Anthropology* 82, 183-189.
- Loesch, D. Z., Martín, N.G. (1984) Finger ridge patterns and tactile sensitivity. *Annals of Human Biology* 11, 113-124.
- López López, Amelia. (1987) Patrones dermatoglíficos palmares en un grupo de ocuiltecos del Estado de México. Tesis de Licenciatura en biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- López López, S. (1995). Datos dermatoglíficos de una muestra de población mestiza de la ciudad de México. México, UNAM Estudios de Antropología Biológica 5: 275-286.
- López V. D. (2017) Los primeros criminalistas en México. En: *Visión criminológica-criminalística*. "Perfilación criminal: estudio y comprensión". DGI-CLEU-Dirección General de Investigación del Colegio Libre de Estudios Universitarios. 1703:

https://revista.cleu.edu.mx/new/.../Articulo15_los_primeros_criminalistas_en_Mexico.pdf.

- Lubian y Arias, Rafael (2002) *Dactiloscopia*. 3ra. Ed. Editorial REUS. S.A. Madrid.
- Lucena-Molina, J.J., Pardo-Iranzo, V., Gonzalez-Rodriguez, J. (2012) Weakening forensic science in Spain: from expert evidence to documentary evidence. *Journal of Forensic Sciences* 57(4), 952-963.
- Luna Rodríguez, Gonzalo. (1985) *Patrones dermatoglíficos palmares en un grupo de otomíes del estado de Hidalgo*. Tesis de Licenciatura en biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Margot, P., German, E. (1996) Fingerprint identification breakout meeting. En: *Proceedings of the International Symposium on Fingerprint Detection and Identification*. Almog, J., Springer, E. (eds.) Israel: Israel National Police.
- Martínez Suárez, Jaime Armando. (S/F) *Sistemas de clasificación dactiloscópica*: [http://www.getocolombia.com/Archive/MANUAL%20SISTEMA%20HENRY%20CANADIENSE%20\(YA\).pdf](http://www.getocolombia.com/Archive/MANUAL%20SISTEMA%20HENRY%20CANADIENSE%20(YA).pdf). [Consulta julio del 2012].
- Martire, K.A., Kemp, R.I., Sayle, M., Newell, B.R. (2014) On the interpretation of likelihood ratios in forensic science evidence: Presentation formats and the weak evidence effect. *Forensic Science International* 240, 61-68.
- Mavalwala, J. (1971). The heredity of dermatoglyphic traits in non human primates and man. En: *Comparative genetics in monkeys Apes and Man*, Chiarelli, A.B. ed., Academic Press. New York. 43-63.
- Mavalwala, J. (1963) Quantitative analysis of finger ridge count of the Parsi community in India. *Annals of Human Genetics*. London. 26: 305-315.
- Mavalwala, J. (1977) *Dermatoglyphics: An International Bibliography*. Chicago: Ed. Mouton.
- Meier, R. (1980) Anthropological dermatoglyphics: a review. *Yearbook of Physical Anthropology* 23, 147-178.
- Moore, S.J., Munger, B. (1989) The early ontogeny of the afferent nerves and papillary ridges in human digital glabrous skin. *Developmental Brain Research* 48(1), 119-141.
- Moore, R.T. (1989) An analysis of ridge-to ridge distance on fingerprints. *Journal of Forensic Identification* 39, 231-238.
- Morohunfolá, K., Munger, B., Jones, T. (1992) The differentiation of the skin and its appendages. I. Normal development of papillary ridges. *The Anatomical Record* 232(4), 587-598.

- Morrison, G.S., Stoel, R.D. (2013) Forensic strength of evidence statements should preferably be likelihood ratios calculated using relevant data, quantitative measurements, and statistical models—a response to Lennard. *Fingerprint identification: how far have we come? Australian Journal of Forensic Sciences* 46(3).
- Moses, K.R. (2011) Automated fingerprint identification system (AFIS). En: *The Fingerprint Sourcebook*. Holder, E.H., Robinson, L.O., Laub, J.H. (eds.) Washington: Createspace Independent Pub., 121-154.
- Mulvihill, J., Smith, D. (1969) Inheritance of 18 quantitative dermatoglyphic traits based on factors in MZ and DZ twins. The genesis of dermatoglyphics. *Anthropologischer Anzeiger* 68(2), 185-193.
- Mundorff, A.Z., Bartelink, E.J., Murad, T.A. (2014) Sexual dimorphism in finger ridge breadth measurements: A tool for sex estimation from fingerprints. *Journal of Forensic Sciences* 59, 891-897.
- Muñoz, A., Bancalari, O., Hernández, D., Virgen M., Díaz, B., Medina, D., González S. (2018) Prevalencia del patrón dactilar en los dermatoglifos de estudiantes universitarios de Jalisco, México. *Gaceta internacional de ciencias forenses. Dialnet* 27:51-62.
- Mustonen, V., Hakkarainen, K., Tuunainen, J., Pohjola, P. (2015) Discrepancies in expert decision-making in forensic fingerprint examination. *Forensic Science International* 254, 215-226.
- Nagesh, K.R., Bathwal, S., Ashoka, B. (2011) A preliminary study of pores on epidermal ridges: Are there any sex differences and age related changes? *Journal of Forensic and Legal Medicine* 18(7), 302-305.
- National Research Council (NRC) (2009) *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*. Washington (DC): The National Academies Press.
- Nayak, V.C., Rastogi, P., Kanchan, T., Lobo, S.W., Yoganarasimha, K., Nayak, S., Rao, N.G., Kumar, G.P., Shetty, B.S.K., Menezes, R.G. (2010a) Sex differences from fingerprint ridge density in the Indian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 17, 84-86.
- Nayak, V.C., Rastogi, P., Kanchan, T., Yoganarasimha, K., Kumar, G.P., Menezes, R.G. (2010b) Sex differences from fingerprint ridge density in Chinese and Malaysian population. *Forensic Science International* 197, 67-69.
- Neufeld, P., Scheck, B. (2010) Making forensic science more scientific. *Nature* 464, 351.
- Newman, Marshallt, T. (1970) Dermatoglyphics. En: *Handbook of Middle American Indians, Physical Anthropology*. 9:167-179.
- Neumann, C. (2013) Statistics and probabilities as a means to support fingerprint

- examination, En: *Advances in Fingerprint Technology* 3rd Edition. Ramotowski R. (ed.), Boca Raton, USA: CRC Press.
- Neumann, C., Champod, C., Puch-Solis, R., Egli, N.M., Anthonioz, A., Meuwly, D., Bromage-Griffiths, A. (2006) Computation of likelihood ratios in fingerprint identification for configurations of three *minutiae*. *Journal of Forensic Sciences* (51), 1255-1266.
- Neumann, C., Champod, C., Puch-Solis, R., Egli, N.M., Anthonioz, A., Bromage-Griffiths, A. (2007) Computation of likelihood ratios in fingerprint identification for configurations of any number of *minutiae*. *Journal of Forensic Sciences* (52), 54-64.
- Neumann, C., Evett, I.W., Skerrett, J.E., Mateos-García, I. (2011) Quantitative assessment of evidential weight for a fingerprint comparison I. Generalization to the comparison of a mark with set of ten prints from a suspect. *Forensic Science International* 207(1), 101-105.
- Neumann, C., Champod, C., Yoo, M., Genessay, T., Langenburg, G. (2015) Quantifying the weight of fingerprint evidence through the spatial relationship, directions and types of *minutiae* observed on fingermarks. *Forensic Science International* 248, 154-171.
- Newell-Morris, L., Weinker, T.F. (1991) The dermatoglyphics of nonhuman primates: A neglected resource. En: *Dermatoglyphics. Science in Transition*. Plato, C.C., Garruto, R.M., Schaumann, B.A., Paul, N.W. (eds.) New York: Wiley Liss, 267-90.
- Nithin, M.D., Manjunatha, B., Preethi, D.S., Balaraj, B.M. (2011) Gender differentiation by finger ridge count among South Indian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 18, 79-81.
- Nuffield Council on Bioethics (2007). *The forensic use of bioinformation*. London: Ethical issues.
- O.o.t.I.G. U.S. (2006). *A review of the FBI's handling of the Brandon Mayfiels Case*. Department of Justicia, 1-330.
- Ohler, E.A., Cummins, H. (1942) Sexual differences in breadths of epidermal ridges on finger tips and palms. *American Journal of Physical Anthropology* 29, 341-362.
- Okajima, M. (1970) Frequency of forks in epidermal-ridge *minutiae* in the finger print. *American Journal of Physical Anthropology* (32), 41-48.
- Okajima, M. (1975) Development of dermal ridges in the fetus. *Journal of Medical Genetics* 12(3), 243-250.
- Okajima, M. (2005). Frequency of forks in epidermal-ridge *minutiae* in the finger print. *American Journal of Physical Anthropology*. 32.
- Ökrös, S. (1965) *The heredity of papillary patterns*. Budapest: Akademiai Kiado.

- Osterburg, J.W., Parthasarathy, T., Raghavan, T.E.S., Sclove, S. (1977) Development of a mathematical formula for the calculation of fingerprint probabilities based on individual characteristics. *Journal of the American Statistical Association* (72), 772-778.
- Pacheco, E. (1984) Estudio de las diversas características presentes en las líneas dermopapilares, en un grupo maya del sexo masculino de la región de Valladolid, Yucatán. Tesis de maestría, Facultad de Odontología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Page, M., Taylor, J., Blenkin, M. (2011) Uniqueness in the forensic identification sciences—Fact or fiction? *Forensic Science International* (206), 12-18.
- Pankanti, S., Prabhakar, S., Jain, A.K. (2002) On the individuality of fingerprints. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 24(8), 1010-1025.
- Penrose, L.S. (1954) The distal triradius 't' on the hands of parents and sibs of mongol imbeciles. *Annals of Human Genetics*.19:10.
- Penrose, L.S. (1968) Memorandum on dermatoglyphics nomenclature. *Birth Defects Original Article Series* 4(3), 1-13.
- Penrose, L.S., Loesch, D.Z. (1967) A study of dermal ridge width in the second (palmar) interdigital area with special reference to aneuploidy states. *Journal of mental deficiency research* 11, 36-42.
- Plato, C.C., Garruto, R.M., Schaumann, B.A., Paul, N.W. (1991) *Dermatoglyphics. Science in Transition*. New York: Wiley Liss.
- Polski, J., Smith, R., Garrett, R. (2011) *The Report of the International Association for Identification, Standardization II Committee*. National Criminal Justice Reference Service (ed.), Rockville.
- Procuraduría General de Justicia de la Ciudad de México, PGJ: <http://www.pgj.cdmx.gob.mx>
- Reinart, L.F. (2014) *Investigating sex differences in fingerprint minutiae density of the core region utilizing the minutiae: ridge-length ratio*. Tesis doctoral, Universidad de Boston.
- Reverte, J. M. (1999) *Antropología forense*. 2ª. Ed. Ministerio de Justicia, Madrid.
- Rhodes, H. (1956) *Alphonse Bertillon: father of scientific detection*. London: Abelard-Schuman.
- Rivaldería, N., Sánchez-Andrés, A., Alonso-Rodríguez, M.C., Dipierri, J.E., Gutiérrez-Redomero, E. (2016) Fingerprint ridge density in the Argentinean population and its application to sex inference: a comparative study. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology* 67, 65-84.

- Rivaldería Moreno Noemí. (2016) Avances en la caracterización dactiloscópica en población argentina. Tesis doctoral, Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España.
- Rivaldería, N. Gutiérrez-Redomero, E. Alonso-Rodríguez, M.C., Dipierri, J.E., Martín, L.M., (2017) Study of fingerprints in Argentina population for application in personal identification. *Science & Justice Journal of the Chartered Society of Forensic Sciences* 57 (3) 199-208.
- Rosales C. (2009) *Clasificación de huellas digitales mediante minucias*. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica INAOE: https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-mgp/Proyectos/reporte_modelos_huellas.pdf.
- Saks, M.J. (2000) The aftermath of Daubert: an evolving jurisprudence of expert evidence. *Jurimetrics* 40, 235-236.
- Saks, M.J. (2010) Forensic identification: from a faith-based “Science” to a scientific science: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073810001064> - [cor1mailto:saks@asu.edu](mailto:saks@asu.edu) *Forensic Science International* 210(1-3), 14-17.
- Saks, M.J., Koehler, J.J. (2005) The coming paradigm shift in forensic identification science. *Science* 309(5736), 892-895.
- Saks, M.J., Koehler, J.J. (2008) The individualization fallacy in forensic science evidence. *Vanderbilt Law Review* 61(1), 199-219.
- Santamaría, F. (1942) Valoración de los puntos característicos. *Revista Investigación*.
- Santamaría, F. (1955) A new method for evaluating ridge characteristics. *Finger print and identification magazine* 36(3-8), 16-18.
- Sarkar, N.C. (2004) *Finger ridge minutiae: classification distribution and genetics*. Anthropological Survey of India, Ministry of Tourism and Culture, Department of Culture, Government of India, Calcutta.
- Schaeuble, J. (1933) Die entstehung der palmaren digitalen triradien. Ein beitrag zur entwicklung der hautleistenzüge der distalen palma. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 31(3), 403-438.
- Schaumann, B. (1982) Medical applications of dermatoglyphics. *Progress in Dermatoglyphic Research* 84, 33-34.
- Schaumann, B., Opitz, J. (1991) Clinical aspects of dermatoglyphics. En: *Dermatoglyphics. Science in Transition*. Plato, C.C., Garruto, R.M., Schaumann, B.A., Paul, N.W. (eds.) New York: Wiley Liss, 193-228.
- Schaumann, B. y Alter, M. (1976) *Dermatoglyphics in medical disorders*. New York: Springer-Verlag.

- Schlaginhaufen, O. (1905) Cited by Cummins and Midlo (1961): *Fingerprints, Palms and Soles- an introduction to dermatoglyphics*. Dover Publication, New York.
- Schiffer, B., Champod, C. (2007) The potential (negative) influence of observational biases at the analysis stage of fingerprint individualisation. *Forensic Science International* 167(2-3), 116-120.
- Seidenberg-Kajabova, H., Pospisilova, V., Vranakova, V., Varga, I. (2010). An original histological method for studying the volar skin of the fetal hands and feet. *Biomedical Papers of the Faculty of Medicine and Dentistry of Palacký University, Olomouc, Czech Republic*, 154(3), 211-218.
- Serrano Sánchez Carlos. (1969) Los dermatoglifos digitales de la población masculina de Cholula, Puebla. *Anales del Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 2: 4-66.
1973. Los dermatoglifos digitales en dos poblaciones mayas de Yucatán. *Estudios de Cultura Maya*, Centro de Estudios Mayas. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 9: 29-45.
1974. Estudio de los dermatoglifos en algunas poblaciones indígenas. *Memorias (Genética y Evolución)*. II reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Genética, Mazatlán: 343-353.
- 1975a. El surco palmar transversal en la población del valle de Poblano-Tlaxcalteca. *Anales de Antropología*. Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA). Universidad Nacional Autónoma de México, 12: 103-115.
- 1975b. Les dermatoglyphes des populations mayas du Mexique et d'autres groupes mésoaméricains. Tesis doctoral. Universidad de Paris.
1980. Dermatoglifos en coras, huicholes y mestizos de la sierra de Nayarit, México, *Estudios de Antropología Biológica*, 1:155-163.
- Serrano Sánchez Carlos y Arechiga Viramontes Julieta. (1979) Estudio Bioantropológico del surco palmar trasverso en los Mayas yucatecos. *Estudios de Cultura Maya*, Centro de Estudios Mayas. Universidad Nacional Autónoma de México, 12:15-32.
- Serrano Sánchez C. Daltaubuit Magalí, González B. (1975c) Algunos aspectos genéticos de la población matlazinca de Estado de México, en: Teotenango, el antiguo Lugar de la Muralla. (R. Piña Chan, Director). Dirección de Turismo; Gobierno del Edo. de México, 2:476-483.
- Silva, L.R., Mizokami, L.L., Vieira, P.R., Kuckelhaus, S.A. (2016) Longitudinal and retrospective study has demonstrated morphometric variations in the fingerprints of elderly individuals. *Forensic Science International* 259, 41-46.
- Soanboon, P., Nanakorn, S. Kutanana, W. (2016) Determination of sex difference from fingerprint ridge density in northeastern Thai teenagers. *Egyptian Journal of*

- Forensic Sciences* 6(2), 185-193.
- Sodhi, G.S., Kaur, J. (2003) Indian civilization and the science of fingerprinting. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 2(2), 126-136.
- Spinney, L. (2010) The fine print, *Nature* 464, 344-346.
- Steffens, C. (1938) Über zehenleisten bei zwillingen. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 37(2), 218-258.
- Steffens, C. (1965) Vergleichende untersuchungen der minutien der fingerbeerenmuster bei familien und eineiigen Zwillingspaaren. *Anthropologischer Anzeiger* 29, 234-249.
- Stoney, D.A. (1985) *Quantitative assessment of fingerprint individuality*. Berkeley: University of California.
- Stoney, D.A. (2001) Measurement of fingerprint individuality. En: *Advances in Fingerprint Technology 2nd ed.* Lee, H.C., Gaensslen, R.E. (eds.) New York: CRC Press, 327-387.
- Stoney, D.A., Thornton, J. (1986) A critical analysis of quantitative fingerprint individuality models. *Journal of Forensic Sciences* 31(4), 1187-1216.
- Stoney, D.A., Thornton, J. (1987) A systematic study of epidermal ridge *minutiae*. *Journal of Forensic Sciences* 32, 1182-1203.
- Taduran, R.J., Tadeo, A.K., Escalona, N.A., Townsend, G.C. (2016) Sex determination from fingerprint ridge density and white line counts in Filipinos, *HOMO-Journal of Comparative Human Biology* 67(2), 163-171.
- Taduran, R. J. O., Ranjitkar, S., Hughes, T., Townsend, G., Brook, A. H., (2017) Complex systems in human development: sexual dimorphism in teeth and fingerprints of australian twins. *Science and Engineering* (98), 194-203. ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication/313226534>.
- Tang, Y., Srihari, S.N. (2014) Likelihood ratio estimation in forensic identification using similarity and rarity. *Pattern Recognition* 47, 945-958.
- Tentamy y Mckusick, . (1969) The syndrome of ectrodactyly, ectodermal dysplasia and cleft lip and palate: report of a family demonstrating a dominant inheritance pattern. *Clinical Genetics*: 3(5), 295-302.
- Testut, (1969) *Tratado de anatomia humana*. Barcelona, Salvat, 3.
- The UK Law Commission (2011), *Expert Evidence in Criminal Proceedings in England and Wales, House of Commons Paper* No. 0829, 21 March 2011. <http://www.officialdocuments.gov.uk/document/hc1011/hc08/0829/0829.pdf>.
- Tortora, G., Grabowski, S. R. (1993) *Principles of Anatomy and Physiology*. New York: Harper Collins.

- Trujillo, A. S. (2014) El estudio científico de la dactiloscopia 2ª. Ed. Editorial Limusa.
- Tuthill, H. (1994) *Individualization: principles and procedures in criminalistics*. Salem, Or., USA: Lightning Powder Co.
- Ulery, B.T., Hicklin, R.A., Buscaglia, J., Roberts, M.A. (2011) Accuracy and reliability of forensic latent fingerprint decisions *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(19), 7733-7738.
- Ulery, B.T., Hicklin, R.A., Buscaglia, J., Roberts, M.A. (2012) Repeatability and reproducibility of decisions by latent fingerprint examiners. *PLOS ONE* 7(3), e32800.
- Ulery, B.T., Hicklin, R.A., Roberts, M.A., Buscaglia, J. (2014) Measuring what latent fingerprint examiners consider sufficient information for individualization determinations. *PLOS ONE* 9(11), e110179.
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNDOC). Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (2011) *Estudio mundial sobre el homicidio: tendencias, contextos y datos*, Viena.
- Vanderkolk, J.R. (2004) ACE+V A model. *Journal of Forensic Identification* 54(1), 45-51.
- Vanderkolk, J.R. (2011) Examination process. En: *The Fingerprint Sourcebook*. Holder, E.H., Robinson, L.O., Laub, J.H. (eds.) Washington: Createspace Independent Pub., 244-270.
- Vucetich, J. (1904) *Dactiloscopia Comparada: El Nuevo Sistema Argentino*. La Plata, Argentina: Jacobo Peuser.
- Wertheim, K. (2011) Embryology and morphology of friction ridge skin. En: *The Fingerprint Sourcebook*. Holder, E.H., Robinson, L.O., Laub, J.H. (eds.) Washington: Createspace Independent Pub., 51-77.
- Wertheim, K., Maceo, A. (2002) The critical stage of friction ridge pattern formation. *Journal of Forensic Identification* 52(1), 35-85.
- Whipple, I. (1904) The ventral surface of the mammalian's chirodium, with special reference to the conditions found in man. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 7, 261-368.
- Wilder, H. (1897): On the deposition of the epidermal folds upon the palms and soles of primates. *Anatomical Am.* 13, 250-256.
- Wilder, H. (1904) Racial differences in palm and sole configurations. *American Anthropologist* 6, 244-295.
- Wilder, H. (1913) Racial differences in palm and sole configurations. II. Palm and sole print of Liberian natives. *American Anthropologist* 15(2), 189-207.

- Wilder, H. (1916) Palms and sole studies. *Biological Bulletin*, 30, 135-172.
- Wilder, H. (1922) Racial differences in palm and sole configurations. Palm and sole print of Japanese and Chinese. *American Journal of Physical Anthropology* 5, 143-206.
- Wilder, H., Wentworth, B. (1918) *Personal Identification*. Boston: The Gorham Press.
- Workman, (1939) Dermatoglifos usados en la genética médica. Revista genética médica: <https://es.scribd.com/document/137237326/DERMATOGLIFOS-USADOS-EN-GENETICA-MEDICA>.
- Xiang-Xin, Z., Chun-Ge, L. (1988) The historical application of hand prints in chinese litigation. *Journal of Forensic Identification* 38 (6), 277-284.
- Zavala, C., C. González y R. Lisker. (1969) Dermatoglyphic patterns in a sample of normal urban mexicans. *Human Heredity*, 19:534-539.