



Universidad de Sevilla

Departamento de Fisioterapia

**Protrusión digital y metatarsal: comparación
entre mediciones clínicas y radiológicas y su
correlación con las cargas a nivel plantar**

TESIS DOCTORAL

Carmen Belén Martínez Cepa
Sevilla 2013

DIRECTORES:

Prof. Dra. D^a. Raquel Chillón Martínez
Prof. Dr. D. José Jesús Jiménez Rejano
Prof. Dra. Inmaculada Palomo Toucedo

Universidad de Sevilla



Universidad de Sevilla

Departamento de Fisioterapia

Protrusión digital y metatarsal: comparación entre mediciones clínicas y radiológicas y su correlación con las cargas a nivel plantar

Tesis presentada por **Dña. Carmen Belén Martínez Cepa** para optar al grado de Doctora por la Universidad de Sevilla, dirigida por los Doctores D^a. Raquel Chillón Martínez, D. José Jesús Jiménez Rejano y D^a. Inmaculada Palomo Toucedo.

Sevilla, a 5 de Febrero de dos mil trece

La Doctoranda

Carmen Belén Martínez Cepa

Los Directores

Fdo.: Dra. Raquel Chillón Martínez

Fdo.:Dr. José Jesús Jiménez Rejano

Fdo. Dra. Inmaculada Palomo Toucedo



Departamento de

Dra. Raquel Chillón Martínez, Profesora Contratada Doctora adscrita al Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla, **Dr. José Jesús Jiménez Rejano**, Profesor Colaborador adscrito al Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Sevilla, y **Dra. Inmaculada Palomo Toucedo**, Profesora Colaboradora adscrita al Departamento de Podología de la Universidad de Sevilla,

HACEMOS CONSTAR:

Que **Dña Carmen Belén Martínez Cepaha** realizado, bajo nuestra dirección y coordinación, la Tesis Doctoral titulada: **“Protrusión digital y metatarsal: comparación entre mediciones clínicas y radiológicas y su correlación con las cargas a nivel plantar”**, para optar al grado de Doctor por la Universidad de Sevilla, y que dicho trabajo reúne las condiciones necesarias para su presentación y defensa ante el Tribunal Calificador.

Sevilla, a 5 de febrero de 2013

Los Directores

Fdo.: Dra. Raquel Chillón Martínez Fdo.:Dr. José Jesús Jiménez Rejano Fdo. Dra. Inmaculada Palomo Toucedo

AGRADECIMIENTOS.

Una vez finalizada mi tesis doctoral, tengo que agradecer a todas las personas que han contribuido a su realización para llegar al final del camino.

En primer lugar, al **Doctor D. Jesús Rebollo**, por recomendarme a mis directores de tesis, porque ha demostrado con creces que es un buen maestro.

A mis **Directores** de tesis, los **Doctores D^a. Raquel Chillón Martínez, D. José Jesús Jiménez Rejano y D^a Inmaculada Palomo Toucedo**, porque gracias a sus consejos, correcciones y experiencia, hemos conseguido dar forma a la idea que tenía en mi cabeza, y por todo lo que he aprendido en este periodo que he compartido con vosotros.

A **Santiago Angulo**, por sus consejos y recomendaciones.

A **Ángel González de la Rubia**, por prestarme su plataforma para realizar este trabajo.

A **Luis Fernández**, por su apoyo con las radiografías.

A todos los **alumnos** de la Facultad de Medicina de la **Universidad CEU-San Pablo**, y en especial de la **Titulación de Fisioterapia y Podología** por participar en este estudio.

A todos mis compañeros del **Departamento de Fisioterapia**, por prestarme sus pies, y muy especialmente a **José Antonio, Clara, Ángel Luis**, y a todos los que me han alentado y dado fuerza en los momentos de flaqueza.

A mi madre, **Natividad**, por su apoyo y amor incondicionales, y por su fortaleza y su constante seguimiento de este trabajo.

A mi marido, **Juan Carlos**, porque la vida es mucho más fácil desde que la comparto contigo. Gracias por hacerme feliz, por animarme y cuidarme en los últimos meses, y gracias por ayudarme en el día a día con tu paciencia y sentido del humor.

A mi padre, **Julián**, porque desde el cielo, espero que pueda sentirse orgulloso por el trabajo que presento, y que dedico a su persona. Gracias por ser el mejor maestro que un hijo pueda tener. Te quiero y echo de menos.

Gracias a todos.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. INTRODUCCIÓN.	2
1.1. Problema de Investigación.	2
1.2. Justificación del Estudio.	4
MARCO TEÓRICO.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Referentes teóricos y conceptuales.	8
2.1.1. Anatomía del primer y segundo radios del pie: osteología, miología, artrología e imagen radiológica normal.....	8
2.1.2. Biomecánica y patomecánica del primer y segundo radios del pie.....	21
2.1.3. Concepto y prevalencia de la fórmula digital y metatarsal.	26
2.1.4. Plataformas de presión	31
2.2. Antecedentes y estado actual del problema de investigación.	34
2.2.1. Métodos de medición de la longitud y/o protrusión del primer y segundo radios del pie: métodos radiológicos, osteológicos y palpatorios.	34
2.2.2. Disfunciones que afectan al primer y segundo radios del pie	45
2.2.3. Localización de las presiones plantares.....	53
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	57
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.	58
3.1. Hipótesis.....	58
3.2. Objetivos.....	58
MATERIAL Y MÉTODO	59
4. MATERIAL Y MÉTODO	60
4.1. Diseño.	60
4.2. Población diana, población experimental y muestreo.....	60
4.3. Aspectos Éticos.	62

4.4. Tamaño y características de la muestra.....	64
4.5. Protocolo de Intervención y recogida de datos.	65
4.6. Variables de Estudio.	66
4.6.1. Variables sociodemográficas:.....	68
4.6.2. Variables obtenidas mediante la exploración clínica:	68
4.6.3. Variables radiológicas:	69
4.6.4. Variables de presión:	71
4.7. Descripción del Método de Valoración.	72
4.8. Análisis Estadístico	82
RESULTADOS.....	85
5. RESULTADOS.....	86
5.1. Sobre la fiabilidad intraobservador e interobservador de los procedimientos manuales y radiológicos para evaluar las protrusiones digitales y metatarsales.	86
5.2. Sobre la influencia de la fórmula metatarsal en las presiones que soporta el antepié en estática.....	94
DISCUSIÓN	97
6. DISCUSIÓN.	98
6.1. Sobre la fiabilidad intraobservador e interobservador de los procedimientos manuales y radiológicos para evaluar las protrusiones digitales y metatarsales.	98
6.2. Sobre la concordancia entre los procedimientos manuales y radiológicos para evaluar las protrusiones digitales y metatarsales.....	100
6.3. Sobre los valores de protrusión digital y metatarsal en los procedimientos manuales y radiológicos.	102
6.4. Sobre la influencia de la fórmula metatarsal en las presiones que soporta el pie en estática.	108
6.5. Limitaciones y aspectos relevantes.	115
6.6. Prospectiva	115

CONCLUSIONES	117
7. CONCLUSIONES.	118
RESUMEN.....	119
8. RESUMEN.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXOS	144
10. ANEXOS.	145

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de estudio	67
Tabla 2: Estadísticos descriptivos de los test realizados por el explorador 1.	86
Tabla 3: Estadísticos descriptivos de los test realizados por el explorador 2.	87
Tabla 4: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de las evaluaciones realizadas por el Explorador 1.	87
Tabla 5: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la evaluaciones realizadas por el Explorador 2.....	88
Tabla 6: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la evaluaciones realizadas por el Explorador 1 en caso de los test manuales comparados con los radiológicos.	89
Tabla 7: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la evaluaciones realizadas por el Explorador 2 en caso de los test manuales comparados con los radiológicos.	89
Tabla 8: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la comparativa de las evaluaciones realizadas por el Explorador 1 frente al 2.	90
Tabla 9. Longitudes del primer y segundo dedo del pie	90
Tabla 10. Frecuencia de las fórmulas digitales del explorador 1.....	91

Tabla 11. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas del explorador 1	91
Tabla 12. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas incluyendo el contorno del explorador 1	91
Tabla 13. Frecuencia de las fórmulas metatarsales del explorador 1	91
Tabla 14. Frecuencia de las fórmulas metatarsales radiológicas del explorador 1.	91
Tabla 15. Frecuencia de las fórmulas digitales del explorador 2	91
Tabla 16. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas del explorador 2	92
Tabla 17. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas incluyendo el contorno del explorador 2.	92
Tabla 18. Frecuencia de las fórmulas metatarsales del explorador 2	92
Tabla 19. Frecuencia de las fórmulas metatarsales radiológicas del explorador 2	92
Tabla 20. Resultados del Índice de Kappa del explorador 1	93
Tabla 21. Resultados del Índice de Kappa del explorador 2	93
Tabla 22. Resultados del Índice de Kappa del explorador 1 frente al explorador 2	93
Tabla 23. Descriptivo número de pies según fórmula metatarsal y zonas de presión máxima.....	94
Tabla 24. Media de protrusión del test 1 del explorador 1.....	102
Tabla 25. Media de protrusión del test 1 del explorador 2.....	102
Tabla 26. Media de protrusión del test 2 del explorador 1.....	103
Tabla 27. Media de protrusión del test 2 explorador 2	104

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

A continuación se presenta una introducción al estudio que hemos realizado, exponiendo en primer lugar el problema de investigación que hemos abordado, así como las razones fundamentales que nos han impulsado a su planteamiento y que, según nuestro criterio, justifican su realización.

1.1. Problema de Investigación.

Las fórmulas digital y metatarsal se emplean en la práctica clínica para clasificar distintas tipologías en el pie. En el primer caso la clasificación se realiza en función de la protrusión distal entre el primer y segundo dedo del pie, y en el segundo caso, en función de la protrusión relativa entre las cabezas metatarsales de los dos primeros metatarsianos. En el caso de la fórmula digital se diferencia entre **pie egipcio**: cuando la protrusión del primer dedo supera a la del segundo, **pie griego**: cuando protrusión del segundo dedo supera a la del primero, y **pie cuadrado**: cuando la protrusión es la misma en ambos dedos. En el caso de la fórmula metatarsal se distingue entre **índex plus**: cuando la protrusión distal de la primera cabeza metatarsal supera a la del segundo radio, **índex minus**: cuando la protrusión distal de la segunda cabeza metatarsal supera a la del primer radio, e **índex plus minus**: cuando ambas se sitúan a la misma altura. El uso de dichas fórmulas permite al clínico estudiar las repercusiones que puede sufrir el pie, y por tanto, el miembro inferior, derivadas de las diferencias de longitud y protrusión entre el primer y segundo radios del pie. Entre las mismas se encuentran diferentes alteraciones como sobrecarga muscular con la consiguiente aparición de puntos gatillo miofasciales¹, disminución de la movilidad articular², artrosis³, hiperqueratosis plantares por sobrecarga metatarsal²⁻⁶, dolor e inflamación en el pie⁷, pérdida de estabilidad⁸, etc.

A la hora de clasificar los diferentes tipos de pie en función de las fórmulas anteriormente citadas, se pueden utilizar distintos métodos que pueden clasificarse en radiológicos, osteológicos y palpatorios⁹. Los primeros son los más

frecuentes, al tratarse de un método preciso que proporciona datos cuantitativos¹⁰, obtenidos mediante la realización de diferentes mediciones realizadas sobre radiografías dorsoplantares¹¹. Los segundos utilizan mediciones directas sobre piezas óseas, ofreciendo una información fiable¹². Finalmente, la palpación clínica se emplea con frecuencia para identificar la posición relativa de las cabezas metatarsales entre sí^{13,14}, contribuyendo a establecer relaciones entre dicha posición y patologías en el pie. Sin embargo, existe controversia sobre su utilidad, ya que mientras algunos autores consideran que es una técnica precisa y válida^{9,14}, otros opinan justo lo contrario¹⁰. Esto puede deberse a que los métodos empleados no se describen correctamente y carecen de estudios de fiabilidad y validez¹³. Por este motivo, en el inicio de esta investigación, y siguiendo los métodos de medición basados en referencias palpatorias propuestos por Davidson *et al*¹⁴., realizamos en 2008, un estudio de fiabilidad con una muestra de 202 pies, medidos dos veces por un mismo evaluador, demostrando una fiabilidad en todos los casos con un CCI superior a 0,8⁹.

Dichos test palpatorios fueron empleados en la primera fase del presente trabajo para comparar su fiabilidad frente a las mediciones radiológicas, realizando un estudio intra e interobservador, con el objetivo de demostrar su validez de cara a su utilidad en la práctica clínica cotidiana.

Por otro lado, en la segunda fase del mismo se utilizó una plataforma de presión, que permitió obtener datos sobre la presión plantar de forma estática y dinámica. El análisis en estática de la presiones plantares se ha empleado en caso de sujetos sanos, comparando entre sí variables como el sexo¹⁵⁻¹⁷ y a la edad^{18,19}. En cuanto a los estudios realizados en sujetos con patología, destacan las deformidades postraumáticas del pie, hallux valgus, hallux rigidus, metatarsalgias además de alteraciones neurológicas como neuropatías periféricas y poliomielitis^{20,21}. Respecto a la distribución de cargas sobre los metatarsianos en bipedestación, existen opiniones diferentes. Así, mientras Viladot²² opina que la carga se distribuye entre todos los metatarsianos; otros autores como Henning²³, Holmes¹⁵ y Lord²⁴, señalan que serán los centrales los que concentren una mayor carga.

Hay que tener en cuenta que el hecho de que unas zonas soporten mayor presión que otras puede predisponer a la aparición de hiperqueratosis, pudiéndose esto relacionarse con la fórmula metatarsal. Sin embargo, no existe unanimidad sobre la relación entre la fórmula metatarsal y la localización de hiperqueratosis^{25,26} ni con las presiones registradas en la planta del pie⁹, por lo que se hace necesario el presente estudio. Así, Harris y Beath²⁵ con una muestra de 35 pies, encontraron hiperqueratosis bajo las cabezas metatarsales centrales en el 97% de los casos siendo la presencia de las mismas casi tan frecuente en pies con el primer metatarsiano más corto, en relación con los pies en los que el segundo era el más largo o poseía idéntica longitud que el primero. O lo que es lo mismo, no encontraron diferencias entre el patrón de carga y la fórmula metatarsal. Pero otros autores¹ señalan que en caso de un primer metatarsiano acortado, las hiperqueratosis se sitúan bajo la cabeza del segundo metatarsiano, y a veces bajo la del tercero y cuarto, agravándose especialmente al final de la fase de apoyo. Incluso pueden aparecer otras hiperqueratosis menos frecuentes en el lado medial del primer dedo, hacia el extremo del mismo, en el lado medial de la cabeza del primer metatarsiano, a lo largo borde lateral de la planta del pie en su parte anterior, y a veces en el lado externo del quinto metatarsiano^{1,27}. Así en nuestro estudio previo⁹ encontramos que en caso de los pies índice plus minus, el exceso de presión a nivel de la segunda cabeza metatarsal puede relacionarse con la presencia de hiperqueratosis a nivel plantar de todas las cabezas metatarsales, excepto la primera.

1.2. Justificación del Estudio.

En la práctica clínica habitual, en el ámbito de la Fisioterapia y de la Podología, utilizamos la exploración clínica para valorar a nuestros pacientes, siendo necesario el empleo de métodos válidos y fiables. Los métodos osteológicos no son útiles, ya que se realizan sobre piezas óseas extraídas de cadáveres y donde la presencia de necrosis puede condicionar su estudio^{12,28,29}.

Los métodos radiológicos son precisos, pero son caros e inaccesibles para el clínico, existiendo mucha variabilidad y metodología a la hora de realizar las mediciones^{9,30}, además de producir efectos adversos en el paciente y en el explorador derivados de la radiación^{10,12,14}. También hay que considerar que el pie es una estructura tridimensional, y dichos métodos realizan una exploración bidimensional. Los métodos palpatorios son baratos, emplean una instrumentación sencilla^{2,9,14,31}, son accesibles y tienen la ventaja de no constituir una fuente de radiación. Es por ello que se hace necesario valorar su validez y fiabilidad. A este respecto, hay que señalar que solo existe un estudio previo¹⁰, con una muestra de 30 pies, donde se comparó la posición relativa de todas las cabezas metatarsales mediante palpación de la interlínea articular y, con las imágenes radiográficas de los mismos pies.

En cuanto a los sujetos a estudio son asintomáticos, siendo necesario que se sitúen a partir de la edad de 20 años, que se corresponde con las fisis de crecimiento óseo cerradas³²⁻³⁴ y hasta los 55 años. Así no solo excluimos enfermedades degenerativas por la edad avanzada, sino que se excluyen factores hormonales como el climaterio que puedan alterar el estado óseo en caso de mujeres mayores de 65 años³⁵. Cualquier tipo de alteración o deformación ósea se ha excluido para verificar la longitud y protrusión exactas existentes entre el primer y segundo dedos y metatarsianos del pie. El cumplimiento de estos criterios es especialmente relevante en nuestro estudio, puesto que las investigaciones más actuales sobre este tema los incluyen en su metodología.

La estimación de la longitud metatarsal se ha empleado por distintos autores para comparar diferentes métodos de registro podográficos³⁶, para el estudio de la osificación de los radios del pie^{37,38} y para establecer su biometría¹². Por otro lado, se estima que el hecho de poseer una fórmula metatarsal determinada, predispone a la aparición de hiperqueratosis en diferentes zonas de la planta del pie, como consecuencia de exceso de presión sobre las mismas^{1,9,25}. Se han realizado estudios radiológicos que relacionan la fórmula metatarsal con la aparición de hiperqueratosis²⁵; sin embargo dichos datos no se han relacionado nunca con los obtenidos mediante plataformas de presión en estática.

Es por ello que se hace necesario evaluar el efecto de la formula metatarsal en la distribución de cargas en el antepié, mediante el uso de una plataforma de presión en estática, además de realizar un análisis de forma cuantitativa de la presión máxima captada en cada una de las zonas del antepié, complementando el estudio cualitativo realizado por la autora del presente trabajo con anterioridad⁹.

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO.

Este capítulo sirve para contextualizar nuestro trabajo de investigación, presentando, en primer lugar, los referentes teóricos y conceptuales de los términos que definen nuestro estudio y, en segundo lugar, mostrando los antecedentes que hemos encontrado acerca del problema de investigación que planteamos, su estado actual de conocimiento.

2.1. Referentes teóricos y conceptuales.

Los referentes teóricos y conceptuales que abordamos a continuación incluyen cuatro apartados. El primero dedicado a la anatomía del primer y segundo radios del pie, además de analizar la imagen radiológica normal de los mismos. El segundo se centra en la biomecánica y patomecánica del antepié. El tercero sirve para describir las diferentes fórmulas digitales y metatarsales del pie, además de su prevalencia en la población. El cuarto y último apartado se centra en las plataformas de presión.

2.1.1. Anatomía del primer y segundo radios del pie: osteología, miología, artrología e imagen radiológica normal.

El pie desempeña dos funciones de vital importancia: durante la bipedestación, soporta el peso del cuerpo humano, y en la locomoción, participa en la propulsión^{1,39}. En la estructura osteoarticular del mismo, se distinguen tres zonas fundamentales⁴⁰⁻⁴² desde el punto de vista funcional⁴³ (**Figura 1**):

- Retropié o tarso posterior, formado por los huesos calcáneo y astrágalo.
- Mediopié o tarso anterior, formado por los huesos escafoides, cuboides y las tres cuñas.
- Antepié, formado por los huesos metatarsianos y las falanges.

Otra clasificación para los huesos del pie y desde una perspectiva cinética, los divide en huesos de la columna medial (astrágalo, escafoides, tres cuñas y tres primeros metatarsianos con sus respectivas falanges) y huesos de la columna lateral (calcáneo, cuboides, cuarto y quinto metatarsianos con sus falanges)⁴³.

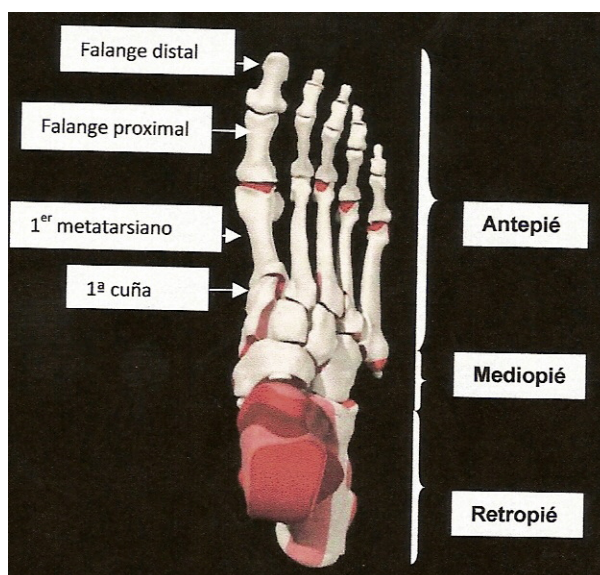


Figura 1. Zonas fundamentales del pie

La unión entre retropié y mediopié se realiza a través de la articulación de Chopart o mediotarsiana, conocida también como doble articulación astragaloescafoidea y calcaneocuboidea^{40,42}. Por otro lado, la articulación de Lisfranc o tarsometatarsiana^{44,45} sirve de unión entre el mediopié y el antepié. Finalmente, las falanges se unen a los metatarsianos mediante las articulaciones metatarsofalángicas, y las falanges entre sí a través de articulaciones interfalángicas⁴⁰.

Dado que este trabajo se centra en la valoración de la longitud y protrusión relativa entre el primer y segundo dedos y metatarsianos del pie, se hace necesario realizar un recuerdo anatómico de dichas estructuras, que pertenecen a la zona del antepié.

El primer radio, formado por el primer metatarsiano y la primera cuña⁶,^{39,46} representa el arco de amortiguación del pie, de ahí su complejidad mecánica y riqueza muscular. Este primer radio, de eje ligeramente oblicuo⁴⁰, es importante porque en el seno del mismo se localiza la primera articulación metatarsofalángica, formada por la cabeza del primer metatarsiano, la base de la falange proximal del primer dedo, y los dos huesos sesamoideos localizados en la cara plantar del primer metatarsiano⁴⁷. El primer dedo del pie posee dos falanges, proximal y distal, a diferencia del resto de dedos que son trifalángicos.

La primera cuña, situada en el borde medial del pie entre el hueso escafoides y el primer metatarsiano, es la mayor de las tres cuñas. Su cara posterior, cóncava y triangular, se articula con la carilla interna de la cara anterior del escafoides. La cara medial o interna de la misma mira hacia dentro y arriba, mostrando un surco en la parte posterior de su zona plantar, por el que pasa el tendón del músculo tibial posterior. La cara distal o anterior se articula con el primer metatarsiano. La cara lateral o externa articula por su lado anterior con el segundo metatarsiano, y por su lado posterior con la segunda cuña^{45,48}.

Todos los metatarsianos presentan idénticas características^{45,48} destacando por ser huesos largos y ligeramente convexos hacia atrás, que constan de tres partes: base, diáfisis y cabeza^{43,45,48}. La base es gruesa, y posee dos caras laterales para los metatarsianos vecinos, y una cara posterior que articula con el tarso. La diáfisis o cuerpo, consta de una forma prismática triangular con una cara dorsal estrecha más ancha hacia atrás, dos caras laterales limitando con los metatarsianos vecinos y los espacios interóseos, además de dos bordes laterales dorsales interno y externo, y un borde inferior plantar^{43,45,48}. Respecto al primer metatarsiano, el más corto, grueso y grande de los cinco, se caracteriza por tener una cabeza voluminosa que presenta dos depresiones para los huesos sesamoideos, un grosor que puede llegar a ser el doble del resto de metatarsianos y una diáfisis con forma de cilindro. En su base presenta dos tubérculos, uno situado en la unión de las superficies inferior e interna, para la inserción de un fascículo del músculo tibial anterior, y otro situado en la unión de las superficies inferior y externa, donde se

inserta el músculo peroneo lateral largo^{43,45,48}. La longitud de este metatarsiano puede variar en función de la fórmula metatarsal⁴¹. Es importante mencionar que, algunos autores⁴² describen la presencia de un hueso accesorio conocido como intermetatarsiano entre las bases de los dos primeros metatarsianos y la cuña medial.

El primer dedo, a diferencia del resto de los dedos del pie, consta solamente de dos falanges bastante voluminosas. Algunos autores^{37,51} consideran al primer metatarsiano por su forma, como precursor de la falange proximal del primer dedo, lo que según esta hipótesis se confirma gracias a la localización posterior del núcleo epifisario y la dirección hacia atrás del agujero nutricio, de la misma manera que ocurre en el resto de las falanges. La base de la falange proximal del primer dedo articula con la cabeza metatarsal del mismo, mientras que la cabeza de la falange proximal articula a su vez con la base de la falange distal. Su cuerpo está comprimido lateralmente y es ligeramente convexo. En el dorso de la base existe una prominencia, a modo de cresta ósea, que sirve de inserción al extensor corto del primer dedo⁴⁵. Existen unos tubérculos en la parte inferior de la base y en la cara dorsal de la cabeza de la primera falange para las inserciones ligamentosas⁴³. Respecto a la falange distal tiene un extremo distal más aplanado dorsalmente que sirve de sostén a la unidad ungueal, y una tuberosidad plantar. Su base posee, al igual que la falange proximal, una prominencia ósea transversal en su cara dorsal donde se inserta el músculo extensor largo del primer dedo^{43,45}.

Los huesos sesamoideos, de pequeño tamaño y forma ovalada, deben su nombre a su parecido con las semillas de una planta del este de India conocida como *Sesamun Indicum*, empleada como purgante en la Antigua Grecia⁵⁰. Se localizan en la cara plantar de la primera articulación metatarsofalángica, siendo el interno, mayor que el lateral y localizado más distalmente respecto al externo^{43,45}. Poseen un papel destacado en la función del primer dedo al absorber la parte del peso soportada por el primer radio durante la carga, proteger al tendón del flexor largo del primer dedo que pasa por debajo de la primera cabeza

metatarsal, y ayudar a aumentar el fulcro de la musculatura intrínseca del primer radio para elevarlo, de manera que el primer metatarsiano pueda realizar una flexión plantar durante la extensión del hallux^{2,51}. La fascia plantar une a los sesamoideos con la cara plantar de la falange proximal; estos se sostienen mediante un mecanismo donde intervienen tanto los ligamentos colaterales de la articulación metatarsofalángica, como los ligamentos sesamoideos localizados a nivel de las caras medial y lateral de dicha articulación⁵¹. Otros sesamoideos que pueden aparecer se localizan en la articulación metatarsofalángica del segundo dedo, en la metatarsofalángica del quinto, e incluso a nivel de la articulación interfalángica del primer dedo⁴⁵. Este último no es visible radiológicamente al no osificarse; sin embargo, tiene una frecuencia de aparición del 50%, pudiendo producir hiperqueratosis y molestias en la cara plantar del dedo que recomienden su extirpación^{52,53}. Algunos autores^{51,53} utilizan la denominación “huesos sesamoideos raros” en caso de la existencia de:

- Una primera cuña bipartita
- Un hueso intermetatarsiano, entre la base de los dos primeros metatarsianos y la cuña medial
- Un hueso intercuneiforme, entre el escafoide y las dos primeras cuñas.
- Un hueso cuneo-I Metatarsale-I Plantare, a nivel plantar, entre la primera cuña y el primer metatarsiano.
- Un hueso cuneo-I Metatarsale II Dorsale, en la cara dorsal de la segunda articulación metatarsofalángica y la segunda cuña.

Antes de abordar la musculatura relacionada con el primer radio del pie, quisiera aclarar que voy a utilizar la terminología de referencia según H. Rouvière⁴⁵ considerando el eje del cuerpo.

Los músculos extrínsecos que se relacionan con el primer radio son el **tibial anterior, el peroneo lateral largo, el extensor largo del primer dedo, el flexor largo del primer dedo y el tibial posterior**^{40,43,45,49}.

El **tibial anterior** se inserta en la parte anteroinferior de la cara interna de la primera cuña, aunque parte del mismo también se inserta en la parte inferior e interna de la base del primer metatarsiano.

El **peroneo lateral largo** se inserta en el tubérculo externo de la base del primer metatarsiano, aunque también manda expansiones a la primera cuña.

El **extensor largo del primer dedo** se inserta en la zona dorsal de la segunda falange, desarrollando a menudo un haz delgado que también se dirige a la falange proximal.

El **flexor largo del primer dedo** se localiza entre los vientres del flexor corto del primer dedo y los dos sesamoideos, finalizando en la superficie plantar de la base de la segunda falange del primer dedo.

El **tibial posterior** se inserta en el tubérculo del escafoides, en las tres cuñas, en el cuboides y la extremidad posterior de los metatarsianos segundo, tercero y cuarto.

Los músculos **intrínsecos** del primer radio son **el pedio, el aductor, el abductor y el flexor corto del primer dedo**- que se insertan todos en la primera falange^{40,43,45}- y el **primer interóseo dorsal**.

El músculo **pedio** es conocido también como extensor corto de los dedos. Así, el extensor corto propio del primer dedo se corresponde con el tendón más interno de dicho músculo, que se sitúa por debajo del extensor largo del primer dedo, para insertarse en la base de la primera falange del primer dedo⁴⁵.

El **aductor del primer dedo** finaliza en el sesamoideo interno y en el lado interno de la extremidad posterior de la primera falange del primer dedo. Desplaza hacia dentro y abajo la primera falange del primer dedo⁴⁵.

El **abductor del primer dedo**⁴⁵ está formado por dos fascículos. El tendón del fascículo oblicuo o abductor oblicuo se une al tendón del fascículo externo del flexor corto para insertarse en el sesamoideo externo y en el lado externo de la base de la primera falange. El tendón del fascículo transversal se divide a nivel de la primera articulación metatarsofalángica en dos grupos de fibras, unas se unen

en la cara dorsal del primer dedo al tendón del extensor, mientras que las otras se unen a los tendones del abductor oblicuo y flexor corto para insertarse en la vaina del flexor largo del primer dedo. Para diferenciarlo del músculo abductor según la nomenclatura de referencia, este músculo desplaza al primer dedo hacia el borde externo del pie⁴⁵.

El **flexor corto del primer dedo** posee dos vientres que finalizan en dos tendones: el interno, que se confunde con el del aductor, finaliza en el lado interno de la base de la primera falange y en el sesamoideo interno de la articulación metatarsfalángica del primer dedo; el externo se une al tendón del abductor para acabar juntos en el lado externo de la base de la primera falange y en el sesamoideo externo. Entre ambos vientres musculares se localiza el tendón del flexor largo propio del primer dedo.

El **primer interóseo dorsal** se origina en la base del primer metatarsiano y no en el cuerpo, y se dirige al lado interno del segundo dedo mediante un pequeño tendón en la primera falange del segundo dedo⁴⁵.

La primera cuña se articula con el hueso escafoides, que a su vez también articula con la segunda y tercera cuña, mediante las tres caras articulares de su cara anterior constituyendo una articulación tipo artrodia conocida como articulación escafoideocuneiforme⁴². Esto se repite en el resto de articulaciones del tarso anterior y del tarso con el metatarso, aunque por su función se consideran anfiartrosis desprovistas de movimientos activos^{40,42}. Existen ligamentos que unen el primer radio con el escafoides: ligamento dorsal, plantar y medial, que ayudan a estabilizar la articulación cuneoescafoidea⁴⁶.

La articulación de Lisfranc o tarsometatarsiana, considerada una artrodia, se produce entre la parte proximal de los metatarsianos y la distal del tarso (cuboides y tres cuñas), de manera que el primer metatarsiano articula con la primera cuña, el segundo proximalmente con la segunda y de forma lateral con la primera y tercera, y el tercero con la tercera cuña. El resto de metatarsianos se articulan con el cuboides⁴². Según Viladot⁵², esto predispone a que en el seno de

la mencionada articulación aparezcan realmente tres articulaciones: una interna debido a la unión entre la primera cuña y el primer metatarsiano, una media gracias a la unión entre la segunda y tercera cuña con el segundo y tercer metatarsianos, y una externa fruto de la unión entre el cuboides y los metatarsianos cuarto y quinto. La línea articular no es recta, sino oblicua de dentro afuera, de arriba abajo y de delante a detrás⁴⁰, y se traza en el dorso del pie, tomando como referencia en el lado interno, un través de dedo por delante del tubérculo del escafoides, y en el lado externo, el tubérculo del quinto metatarsiano. La articulación interna forma una línea ligeramente convexa hacia atrás, cuyo eje mayor prolongado hacia fuera, cortaría en su parte interna al quinto metatarsiano⁵². A nivel ligamentoso, la base del primer metatarsiano se une a la primera cuña a través del ligamento dorsal y plantar de la articulación tarsometatarsiana que refuerza la cápsula articular, mientras que el ligamento longitudinal une la primera cuña y el primer metatarsiano^{6,46-47,54}.

La articulación metatarsofalángica del primer dedo está formada por la primera cabeza metatarsiana y la base de la falange proximal del primer dedo^{40,42,52}. Dicha articulación es muy importante en la fase de propulsión de la marcha⁴⁰. Algunos autores⁵⁵ incluyen a la articulación metatarsosesamoidea dentro del primer radio. Formada por la cara plantar de la cabeza del primer metatarsiano, posee dos carillas articulares separadas por una cresta para articular con los dos sesamoideos⁵². La posición relativa de los mismos condiciona una fórmula sesamoidea^{52,55} donde pueden darse cuatro tipos, siendo considerados los dos últimos como patológicos:

- Los dos sesamoideos ubicados en la cara plantar del primer metatarsiano;
- Ambos huesos ligeramente luxados hacia fuera;
- El interno situado por debajo y en la mitad de la cabeza del metatarsiano;
- Ambos luxados al espacio metatarsal.

Los ligamentos colaterales, ligamentos suspensorios, ligamentos metatarsosesamoideos, ligamentos sesamoideosfalángicos y el ligamento

interesamoideo refuerzan la cápsula articular que engloba la base de la primera falange, la cabeza del primer metatarsiano y los dos sesamoideos¹⁸⁻²⁰.

Las articulaciones interfalángicas, de tipo troclear, unen las falanges entre sí. En el caso del primer dedo, sólo existe una articulación de este tipo^{42,52}. Aquí se ubican el ligamento interfalángico plantar y los ligamentos colaterales interfalángicos^{46-47,54}.

Finalmente, el ligamento intermetatarsal profundo, que conecta la superficie plantar de los cinco metatarsianos, sirve para aumentar la estabilidad articular evitando la separación excesiva de los mismos durante el apoyo del pie en el suelo^{6,43,46-47,54}.

El segundo radio, formado por la segunda cuña, el segundo metatarsiano y el segundo dedo con sus tres falanges⁶, representa el eje longitudinal del pie, siendo además el más estable, largo y alto de los cinco⁴¹.

El segundo cuneiforme forma parte del tarso, y se localiza entre la primera y la tercera cuña, que lo rebasan hacia delante. Su cara posterior, triangular y ligeramente cóncava, se articula con la carilla media de la cara anterior del escafoides. Su cara anterior, también triangular pero ligeramente convexa, se articula con el segundo metatarsiano. Sus caras laterales presentan hacia atrás una superficie articular en forma de escuadra en la cara interna para articular con el primer metatarsiano, y alargada verticalmente en la cara externa, para articular con el tercero. Su cara superior o base es rugosa y cuadrilátera, y su borde plantar o arista es agudo y rugoso⁴⁵. Se trata de la cuña más pequeña de las tres, situada con la base dirigida hacia el dorso del pie⁴⁸.

El segundo metatarsiano es el más largo de todos los metatarsianos. La cara posterior de su base articula con la carilla triangular y cóncava de la segunda cuña; en su cara lateral interna se disponen dos carillas articulares, una posterior para la primera cuña, y otra anterior para el primer metatarsiano; finalmente mediante su cara lateral externa se articula mediante una carilla posterior con la

tercera cuña, y mediante dos carillas separadas entre sí con el tercer metatarsiano⁴³⁻⁴⁵. Según Moreno⁴⁰ de media, y para un adulto con pie estándar, la primera cuña sobrepasa al segundo metatarsiano en 8 mm, mientras que la tercera cuña sobrepasa al segundo metatarsiano en 4 mm. De esta manera, ambas cuñas constituyen una mortaja donde queda encajado el segundo metatarsiano mediante su base, siendo el metatarsiano con menos movilidad de todos.

El segundo dedo es trifalángico a diferencia del primero. Mientras que la primera y segunda falanges poseen forma cilíndrica, la tercera es más bien triangular⁵⁰. La primera falange se articula por detrás con la cabeza metatarsal a través de una cavidad glenoidea, y por delante con la siguiente falange mediante una tróclea⁴³. La primera falange tiene el cuerpo muy delgado, de forma cilíndrica, transversal y aplanado de arriba abajo. Las segundas falanges de los dedos trifalángicos son muy parecidas y más pequeñas, pero poseen una glenoides bifacetaria que articula con la cabeza de la primera falange. Su extremo proximal es una tróclea con dos cavidades glenoideas, y el distal es también de tipo troclear. Respecto a la tercera, su cara superior constituye el lecho ungueal, y la inferior forma el pulpejo del dedo^{43,52}.

Aunque es poco frecuente⁵⁶ (9%) puede existir un sesamoideo a nivel de la articulación metatarsofalángica del segundo dedo del pie; suele ser único y se sitúa interno con relación al eje del dedo. También puede aparecer un sesamoideo central entre la segunda y tercera falange, y otro entre las cuñas⁵¹.

A lo largo del segundo radio, se localizan los músculos que figuran a continuación⁴⁰⁻⁵⁰.

Como ya se ha indicado previamente, **el tibial posterior**, se inserta en la tuberosidad del escafoides, en las tres cuñas, en el cuboides, y en los metatarsianos segundo, tercero y cuarto^{48,49}.

El **primer y segundo interóseo dorsales** se originan en la cara dorsal de la diáfisis del primer y segundo metatarsianos respectivamente, para finalizar en la

cara dorsal de la primera falange del segundo dedo. El primero lo hace en el lado interno de la misma, mientras que el segundo finaliza en el lado externo⁴⁵. El primer interóseo aproxima el primer metatarsiano al segundo, y desplaza hacia dentro la primera falange del primer dedo. El segundo desplaza hacia fuera la primera falange del segundo dedo⁴⁸.

El **primer lumbrical**, que parte del borde interno del tendón del segundo dedo del músculo flexor largo común de los dedos, se inserta también en la cara interna de la base de la primera falange del segundo dedo.

El músculo **extensor corto o pedio**, se divide en cuatro tendones, de manera que el tendón interno se inserta en la base de la primera falange del primer dedo, mientras que los tendones restantes se dirigen al segundo, tercer y cuarto metatarsianos uniéndose al borde externo del tendón correspondiente del extensor común a nivel de la articulación metatarsofalángica⁴⁵.

El **flexor corto plantar de los dedos** se inserta en la cara plantar de la segunda falange del segundo dedo.

El **extensor común de los dedos** se divide en cuatro tendones a nivel distal, que se dirigen a las cabezas de los cuatro últimos metatarsianos, uniéndose a nivel de la base de la primera falange con los tendones del pedio para insertarse mediante una única lengüeta en la parte posterior de la segunda falange, y mediante dos lengüetas laterales que se unen a nivel dorsal de la segunda falange para insertarse en la extremidad posterior de la tercera. Además cada tendón de dicho músculo ofrece a nivel de la primera falange una expansión triangular, en cuya parte externa se insertan los músculos interóseos y lumbricales⁴⁸.

Los cuatro tendones del **flexor largo común de los dedos** se dirigen a la cabeza metatarsal de los dedos trifalángicos atravesando los tendones del flexor corto plantar, para insertarse en la cara plantar de la base de la falange terminal de los dedos trifalángicos^{45,48}.

Realmente, las articulaciones metatarsofalángicas de los últimos dedos están formadas por la cabeza del metatarsiano, que se prolonga con el cóndilo metatarsal (permitiendo el apoyo anterior del antepié) y la cara articular posterior de la primera falange^{45,52}. La articulación metatarsofalángica es una enartrosis, y las interfalángicas son trocleartrosis. Los ligamentos dorsales, plantares e interóseos a nivel de las bases metatarsales sirven como elementos estabilizadores^{46,47,54}. En la línea articular de Lisfranc, el segundo metatarsiano se articula con las tres cuñas a través de una artrodia, formando una mortaja cuya abertura mira hacia anterior, donde encaja el extremo posterior del metatarsiano, desviando hacia posterior la línea de los metatarsianos. La base del segundo metatarsiano recibe ligamentos que proceden de la superficie dorsal de las tres cuñas (ligamento dorsal)^{6,46,47,54}; en su ángulo medial y unido a la superficie lateral externa de la primera y segunda cuñas, se sitúa el ligamento interóseo de Lisfranc^{6,39,46,47,54}; el borde externo del segundo metatarsiano se une con la cuña externa mediante el ligamento interóseo oblicuo. A nivel plantar existen también un ligamento oblicuo, entre la primera cuña y el segundo metatarsiano, y otro longitudinal entre el segundo metatarsiano y la cuña intermedia^{6,46,47,54}.

Las radiografías dorsoplantares en carga se ubican dentro de las proyecciones estandarizadas empleadas para la evaluación del pie^{43,55}, con objetivo de proporcionar datos sobre el estado del antepié y mediopié. También proporcionan información sobre las articulaciones de Chopart, Lisfranc, calcaneocuboidea, astragaloescafoidea, las falanges y la alineación metatarsal^{30,42}, así como una imagen adecuada de su estructura, siendo válidas para realizar comparaciones y el estudio del pie^{56,57}. Para su realización el individuo se sitúa descalzo sobre la placa radiográfica con los pies juntos y repartiendo el peso corporal entre ambos miembros inferiores. El rayo se centrará sobre la zona escafo-cuboidea con una inclinación de 15 ° con respecto a la vertical en dirección anteroposterior. De esta manera, se observa la imagen anteroposterior de tarso, metatarso y falanges⁵⁸.

Las estructuras óseas del primer y segundo radio deben aparecer en una radiografía rodeados de una imagen hipodensa de contorno bien definido que marca la separación entre la piel y las partes blandas del pie. Por otro lado, los tejidos blandos que rodean a los segmentos metatarso-digitales deben aparecer con una densidad uniforme y con un contorno regular. En el caso de las estructuras óseas de este segmento metatarso-digital deben mostrar un grosor cortical, densidad ósea (uniforme) y apariencia trabecular normales⁴⁷.

La primera cuña, formada principalmente por hueso esponjoso al tratarse de un hueso corto, se muestra en una radiografía como un conjunto de líneas trabeculares con distintas direcciones dentro de corticales delgadas, si se comparan con la diáfisis metatarsal³³. El espacio interarticular del primer metatarsiano y la primera cuña es prácticamente recto, y en caso de una radiografía dorsoplantar, se muestra de forma nítida con menos frecuencia que en la proyección lateral. La forma y orientación de la primera articulación metatarsocuneana puede ser oblicua, redondeada o transversa, no siendo definida ninguna de ellas como la normal^{47,58}. Con respecto al espacio entre el segundo metatarsiano y la segunda cuña es el que se presenta con más claridad y nitidez⁴⁷.

La estructura metatarsal, una vez finalizado el proceso de osificación hacia los 17-20 años³²⁻³⁴, se divide en³³:

- Epífisis, caracterizada por una densidad trabecular de menor intensidad, con densidad aumentada a nivel de la capa perimetral de la cortical.
- Línea de fusión epífisis-metáfisis, con densidad aumentada.
- Metáfisis, con más hueso trabecular que en la diáfisis y menor densidad en la cortical.
- Diáfisis, con intensidad aumentada en la cortical y disminución de la cavidad medular con la edad.

El primer metatarsiano junto con las dos falanges del primer dedo pertenece a los huesos largos, cuyas bases en su zona subcondral presentan más densidad que las epífisis, siendo especialmente relevante en caso de la falange proximal. La diáfisis presenta unos márgenes laterales escleróticos correspondientes a la superposición del hueso cortical de la diáfisis, con corticales

más gruesas a nivel del metatarsiano, a diferencia de las falanges, y con menor densidad en el centro de la misma al disminuir las trabéculas en el seno del canal medular óseo. La superposición de la primera cabeza metatarsal con los sesamoideos en una proyección dorsoplantar, provoca sendas masas ovaladas con mayor densidad que en el resto de la epífisis. En cuanto a su situación, el lateral debe quedar posterior respecto al medial, y el medial a mitad de camino entre el extremo distal de la cabeza metatarsal, y el cuello anatómico del mismo⁴⁷, siendo su posición normal un ligero deslizamiento lateral de los mismos respecto al eje longitudinal del primer metatarsiano⁵⁷. La primera cabeza metatarsal puede clasificarse en cuadrada, redonda (la más frecuente) y cuadrada con cresta central⁵⁹. Entre la base del segundo metatarsiano y el primer radio, puede existir un espacio no superior a 2mm; en caso contrario, es decir, con valores superiores a 2 mm, podría indicar hipermovilidad del primer radio, o un ángulo intermetatarsal aumentado^{47,59}.

El espacio intraarticular metatarsofalángico debe mostrarse uniforme, siendo normal unos 2 mm de anchura. Además es normal la desviación en abducción del primer dedo respecto al primer metatarsiano conservándose una relación normal entre ambos huesos. Los márgenes lateral y medial de la diáfisis de la falange deben mostrar una concavidad simétrica; cuando el borde lateral se muestra más cóncavo que el medial, el dedo está rotado en valgo. A veces, la lámina ungueal del primer dedo se observa proyectada de forma oblicua debido a la rotación del dedo^{47,59}.

2.1.2. Biomecánica y patomecánica del primer y segundo radios del pie

En estática cada metatarsiano actúa como un pilar que soporta, estabiliza y propulsa; el conjunto de los cinco radios constituye una hemibóveda en sentido proximal que se aplana distalmente hasta el apoyo de todos en un mismo plano. Sin embargo, en dinámica, estos segmentos actúan como cinco palancas. El

segundo metatarsiano es el que más presión recibe, tratándose del metatarsiano más largo, alto y estable⁴¹. Los tres primeros metatarsianos trabajan más durante la propulsión de la marcha, y más específicamente el segundo y tercero al tener las cuñas en su base junto con una mayor altura y menor movimiento, desarrollan un papel muy importante en la dinámica. Los metatarsianos cuarto y quinto, con menos altura, actúan como estabilizadores durante el apoyo unipodal, siendo sin embargo los primeros en contactar con el suelo durante el momento de apoyo del antepié⁴¹. Finalmente, el primer metatarsiano es el más grueso, más corto, más móvil y musculado de todos³⁹. Protegido por los huesos sesamoideos posee muchas inserciones musculares, desarrollando un papel más móvil, amortiguador y propulsor⁴¹. La forma de la cabeza metatarsal del primer dedo y su movimiento, es una de las diferencias más clara entre los humanos y primates, al tener los primates un primer metatarsiano más corto con un movimiento de oposición similar al pulgar de la mano⁶⁰. Se le considera el principal hueso amortiguador del pie, siendo el resto de los metatarsianos menos importantes para este propósito⁶¹. Resumiendo, el antepié en estática estaría dividido en tres partes⁴¹:

- Una interna, más móvil y musculada, integrada por el primer metatarsiano.
- Una central, más larga, estable y alta, formada por el segundo y tercer metatarsianos.
- Una externa, principalmente estabilizadora, integrada por los dedos más cortos y bajos, que se orienta en sentido longitudinal respecto al cuboides y es divergente en sentido anterior.

El primer radio del pie desempeña un papel muy importante desde el punto de vista funcional durante las fases de apoyo completo y propulsión de la marcha. En el primer caso, al comportarse como un adaptador móvil sobre las irregularidades del terreno, y en el segundo, al comportarse como un segmento rígido para desplazar el peso corporal en sentido anterior^{60,62}.

El primer radio es esencial para la transmisión de las cargas corporales y para mantener la estabilidad del arco en los periodos de medio-apoyo y

propulsivos de la marcha⁶³, además de permitir la flexión dorsal del primer dedo durante la marcha para proporcionar una propulsión efectiva⁴⁶. Además en el seno del mismo se ubica la articulación metatarsocuneana, que cruza los arcos transversos y longitudinal interno del pie, pues será dicha articulación junto con los ligamentos de alrededor, el elemento clave en el control de la integridad estructural del pie³⁹.

La estabilidad estática recae en los ligamentos intermetatarsal, el ligamento plantar metatarsocuneano, los ligamentos interóseos y las fibras internas de la banda central de la fascia plantar⁶³. La estabilidad dinámica recae en los estabilizadores musculares, destacando el primer radio porque en él se insertan el 50% de los músculos extrínsecos del pie además de los intrínsecos⁴¹. Estos músculos extrínsecos son los estabilizadores del primer radio y del arco longitudinal interno⁶³. Entre ellos se encuentran el tibial posterior, el flexor largo y corto del primer dedo, el extensor del primer dedo, el peroneo lateral largo y el tibial anterior, destacando los dos últimos por mantener la estabilidad del arco longitudinal interno durante el periodo de despegue del ciclo de la marcha^{41,64}. Además el peroneo lateral largo ayuda a la flexión plantar del primer radio mediante la estabilización del tarso menor y de la primer articulación metatarsofalángica contra el suelo⁴⁶, siendo necesario para la propulsión durante la marcha ese movimiento de flexión plantar del primer radio en la fase de apoyo⁴². Por otro lado el flexor largo y corto, disminuyen durante la marcha la magnitud de la tensión dorsal de los metatarsianos debido las fuerzas de reacción del suelo, función importante en el segundo metatarsiano, más susceptible a esa tensión dorsal, especialmente en caso de disfunción del primer radio. El flexor largo del primer dedo, además de disminuir dicha tensión dorsal, aumenta la tensión a nivel interno del segundo metatarsiano, mientras que el flexor corto del primer dedo es un importante estabilizador del primer dedo durante la marcha, ayudando a transferir carga hacia delante del mismo⁶⁴.

Tanto la estabilidad dinámica como la estática del primer radio son esenciales durante la marcha, proporcionándole estabilidad mediante el “mecanismo windlass”. Se trata de la tensión pasiva generada en la fascia plantar

durante el paso al iniciarse la propulsión, siendo más intensa a nivel de la articulación metatarsofalángica del primer dedo gracias a la palanca provocada a través de los sesamoideos y al gran arco de curvatura de la primera cabeza metatarsal. Durante la elevación del talón todos los dedos permanecen apoyados lo que genera una flexión dorsal de la articulación metatarsofalángica, que aumenta la tensión de la fascia causando una flexión plantar a nivel metatarsal, con desplazamiento anterior de los sesamoideos hacia la primera cabeza metatarsal. Según progresa la propulsión, la primera cabeza metatarsal se plantarflexiona y aumenta la presión plantar bajo la misma, disminuyendo, sin embargo, bajo la segunda cabeza metatarsal⁶³.

Una vez analizada la biomecánica del primer y segundo radios, procedemos a enumerar la patomecánica que puede aparecer en los mismos.

La **insuficiencia del primer radio** se define como el conjunto de signos y síntomas causados por el desequilibrio entre el primer y segundo radios para transmitir el peso corporal⁶³. De esta manera, el primer radio se encuentra en una posición anómala que le impide soportar una carga normal⁶⁵. Esta insuficiencia puede deberse a una hipermovilidad del primer radio, alteraciones en la longitud de sus segmentos, o una mala alineación estructural. La clínica principal se refleja en la capacidad alterada del primer radio para transferir carga al primer metatarsiano con sobrecarga de los metatarsianos menores, especialmente el segundo y tercero. Otros signos o síntomas son: pronación aumentada, hiperqueratosis difusas bajo la segunda y tercera cabezas metatarsales, metatarsalgia, sensibilidad plantar en la base de los metatarsianos, ensanchamiento relativo de la diáfisis del segundo metatarsiano con engrosamiento de su cortical, subluxación/dislocación de la segunda articulación metatarsofalángica⁶⁶ y fracturas de estrés a nivel de los metatarsianos menores^{42,63}. Además se vuelve incapaz de resistir las fuerzas de reacción del suelo y permite un rango exagerado a la articulación subatragalina⁶. La insuficiencia del primer radio puede deberse a su longitud excesivamente corta, como ocurre en

caso del “pie de Morton” (o primer metatarsiano acortado congénitamente⁶⁶) o a su hipermovilidad⁴¹. Este acortamiento metatarsal, aumenta la movilidad del primer radio, tanto en flexión dorsal como plantar, al ocasionar una distensión de las estructuras ligamentosas y musculares estabilizadoras, principalmente en la porción transversa del aductor del primer dedo y el ligamento transverso metatarsiano. Esto se traduce en que el primer metatarsiano durante la propulsión se eleva y dorsiflexiona en exceso, subluxándose la articulación metatarsofalángica. Además, al no poder soportar carga, ésta se transfiere al segundo metatarsiano apareciendo dolor e hiperqueratosis⁶⁵, debido a la distribución anormal del peso corporal^{1,25}.

Las alteraciones en longitud excesiva o disminuida del primer metatarsiano, o bien la longitud aumentada del primer dedo y de la falange proximal pueden causar patologías como **hallux limitus y rigidus**, y **hallux valgus**^{43,47}. Además el hecho de tener un primer metatarsiano más corto respecto al segundo se relaciona con sobrecargas musculares así como con la aparición de **puntos gatillo miofasciales (PGM)** en músculos del miembro inferior¹. Un primer metatarsiano más corto se relaciona incluso con la presencia de artrosis a nivel de la base del segundo metatarsiano³, y con la aparición de fracturas de estrés en el seno del mismo^{67,68}.

Respecto a la patología del segundo metatarsiano, se relaciona íntimamente con la del primero, ya que si este último falla, el segundo se sobrecarga, tal y como se ha mencionado con anterioridad. Si además posee una longitud excesiva puede ocurrir que el primero sea estable y se plantarflexione, o que aumente el rodamiento sobre el segundo para que el primero llegue al suelo en valgo. Si el dedo es estable, la diáfisis o su articulación metatarsocuneana se sobrecargan con formación perióstica dorsal sobre la misma. Pero si el dedo es inestable, se coloca en posición de garra con distensión capsular que causa una tensión excesiva de los interóseos, con aumento de la inestabilidad metatarsofalángica y perdiendo el efecto de retroamortiguación⁴¹. La presencia de la enfermedad de Freiberg u osteonecrosis de la segunda cabeza metatarsal se

relaciona con un segundo metatarsiano más largo⁶⁹. Cuando el segundo metatarsiano es ligeramente más largo que el primero, la segunda cabeza metatarsal sufrirá hiperqueratosis a nivel plantar, compresiones del dedo según el tipo de calzado, verrugas plantares, dedo en mazo⁶ y metatarsalgias⁶⁶. Otras veces, un segundo metatarsiano por lo menos 4 mm más largo que el primero y el tercero puede relacionarse con la aparición del síndrome de subluxación metatarsofalángica del segundo dedo^{70,71}. Radiológicamente se ha demostrado el choque de la falange proximal del tercer dedo contra el ligamento colateral lateral del segundo puede debilitar el propio ligamento y la cápsula articular⁷¹.

2.1.3. Concepto y prevalencia de la fórmula digital y metatarsal.

En el antepié se pueden distinguir distintos tipos de fórmulas según la protrusión digital y metatarsal. Así, la fórmula digital (**figura 2**), clasifica a los pies en función de la mayor o menor longitud del primer dedo respecto al segundo de la siguiente manera^{12,32,33,36,37,42,72-74}:

- **Pie griego**, cuando el primer dedo es más corto que el segundo, y el tercero, cuarto y quinto de longitud decreciente: **(1<2>3>4>5)**.
- **Pie egipcio**, cuando el primer dedo es más largo que el segundo, y el tercero, cuarto y quinto de longitud decreciente: **(1>2>3>4>5)**.
- **Pie cuadrado**, cuando el primer y segundo dedo son de idéntica longitud, y el tercero, cuarto y quinto de longitud decreciente: **(1=2>3>4>5)**.

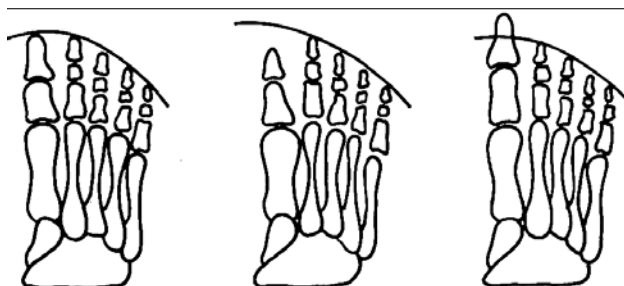


Figura 2. Fórmula digital. De derecha a izquierda: Pie cuadrado, pie griego y pie egipcio. (Tomado de Viladot 2001⁵²).

Por otro lado, la fórmula metatarsal (**figura 3**) se valora a través de la medición de la protrusión metatarsiana relativa, en función de la mayor o menor longitud de los metatarsianos primero y segundo, clasificándose los pies en^{12,32-33,36,37,42,72-76}.

- **Índex minus**, cuando la protrusión distal del primer metatarsiano es inferior a la protrusión distal de la cabeza del segundo, o cuando el primer metatarsiano es más corto que el segundo, y el resto cada vez más cortos: **1<2>3>4>5**.
- **Índex Plus**, cuando la protrusión distal de la cabeza del primer metatarsiano es mayor que la protrusión distal de la cabeza del segundo; o lo que es lo mismo, el primer metatarsiano es el más largo y los demás siguen un orden decreciente: **1>2>3>4>5**.
- **Índex Plus-Minus**, cuando la protrusión distal del primer metatarsiano es igual a la protrusión distal de la cabeza del segundo, o cuando el primer y segundo metatarsianos son iguales y los restantes decrecen progresivamente: **1=2>3>4>5**.

Ambas fórmulas son independientes entre sí y pueden combinarse de todas las formas posibles³⁶, es decir, podemos encontrar un pie egipcio con índex minus, o un pie griego con idéntica fórmula metatarsal.

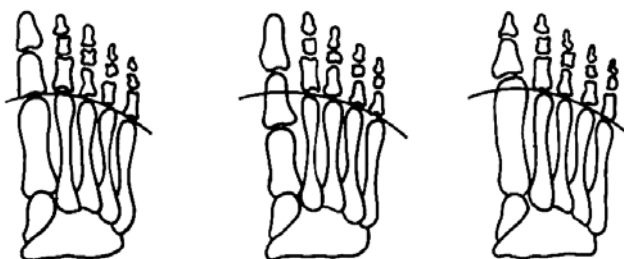


Figura 3. Fórmula metatarsal. De derecha a izquierda: Pie índex plus minus, pie índex minus y pie índex plus. (Tomado de Viladot 2001⁵²).

Pero la fórmula digital en parte depende de la fórmula y/o de la protrusión metatarsal establecida, o dicho de otra manera, a igual longitud de las falanges,

podemos encontrar un pie griego o un pie egipcio. Algunos autores consideran que el hecho de poseer una determinada fórmula metatarsal puede ser un factor de riesgo a la hora de desarrollar determinadas patologías como las que se acaban de comentar en el apartado precedente y que más tarde se expondrán de forma más detallada (hallux limitus/rigidus, hallux valgus, etc.)

En cuanto a la prevalencia de las **fórmulas digitales** en sujetos sanos en el caso de las **técnicas radiológicas**, fueron Viladot *et al.*, quienes en 1960, analizaron la longitud de los dedos de una serie de 273 pies, de los que 72.9% eran egipcios, 21.2 % griegos y 5,9% cuadrados. Posteriormente, en 1975 y en colaboración con Sant y Mestres, ampliaron la muestra a 1000 pies pasando los porcentajes a ser de 69%, 22.3% y 8,7% respectivamente^{22,52,73}. Sin embargo no queda claro si la muestra pertenecía a población sana, pero considera al pie ideal cuando el primer metatarsiano es más largo o de igual longitud al segundo junto con el primer dedo más corto. Otros autores anglosajones, como Hawkes encontraron un 85.5% de pie egipcio, 7.9% de pie griego y 6.6 % de pie cuadrado. Del mismo modo, Weissenberg en un estudio de pies en judíos alemanes encontró porcentajes más claros en su muestra siendo éstos de 64.95% de pie egipcio, 30.3 % de pie griego y 4.75% de pie cuadrado⁷⁷. Más actual es el trabajo de Pareja³⁷ en 2004, donde mediante el estudio de 550 radiografías de pies correspondientes a pacientes en edad de crecimiento, describe una frecuencia de 62.6% de pie egipcio, 25.6% de pie griego y 11.8% de pie cuadrado. Mucho más reciente es el resultado de Pizones Arce⁷⁸, quien en su tesis de 2.007 y con una muestra de 231 pacientes en edad de crecimiento, obtiene un 63.2 % de pie egipcio, 25.1% de pie griego y 11.7% de pie cuadrado.

Sin embargo, Lelièvre³² en 1961 en otro estudio en pies normales, encontró un 64.2 % de pie egipcio, 20% de pie cuadrado y 14.8 % de pie griego, convirtiéndose el pie cuadrado en el segundo en frecuencia respecto a los estudios citados anteriormente, donde el pie cuadrado ocupaba el tercer lugar después del pie griego⁵². También se tiene constancia de resultados similares respecto a la frecuencia de los tipos de pie, en el estudio de Lake, quien encontró un 83.1% de

pie egipcio, 10.8 % de pie cuadrado y 4.75% de pie griego⁷⁷. Asimismo Calvo de Cos⁵⁶, en su tesis doctoral de 2005 basada en el análisis de radiografías, encuentra un 59.5% de pie egipcio, un 23.1% de pie cuadrado y un 17.4% de pie griego.

Será Viladot⁵² quien observe si existen diferencias entre los distintos continentes a la hora de estudiar el predominio de la tipología del pie. Para ello revisó el estudio de Cousin en Canadá y el de Calderón^{52,79} en Méjico. En el primero, encontró un 40% de pie griego, un 37% de pie egipcio, un 22% de pie cuadrado y un 1% sin clasificar. En el segundo, la distribución fue de 42.4% de pie egipcio, 36.4 % de pie cuadrado, 19.2% de pie griego y un 2% sin clasificar^{52,56,78}. Por tanto parece ser que en las series europeas predomina el pie egipcio, y en las americanas no. Algunos autores proponen una diferencia fenotípica entre ambos continentes como Viladot *et al*⁵². Respecto a los porcentajes del pie cuadrado, éstos son similares, excepto en las series de Viladot *et al.*, donde este porcentaje es ligeramente inferior. Asimismo, el pie griego presenta porcentajes similares, excepto en la serie de Cousin, donde el porcentaje es el doble que en las restantes series.

En cuanto a los **métodos osteológicos**, Monreal Redondo³², en 2004, con una muestra de 47 pies encuentra un 68.1% de pie egipcio, un 21.3% de pie cuadrado y, finalmente, un 10.6 % de pie griego.

Respecto a los **métodos palpatorios**, la autora del presente trabajo⁹ en el 2007, y con una muestra de 202 pies medidos dos veces, encontró un 59.4% de pie egipcio, 5 % de pie griego y 35,6% de pie cuadrado.

Respecto a la **estimación visual**, Ogilvie-Harris¹³ en su trabajo de 1995, encontraron 52% de pie griegos, 25% de pie cuadrado y 23 % de pie egipcio en una muestra de 118 pies. Beeson *et al.*⁸⁰ hallaron un 30% de pie egipcio, 8.3% de pie griego y 61.6% de pie cuadrado. Finalmente la autora del presente trabajo^{9,81} también empleó este método en su trabajo con un 49% de pie egipcio, 31.7% de pie griego y 19.3% de pie cuadrado. Considerando todas las series revisadas, el pie egipcio es el predominante, menos en la canadiense, donde el que predomina es el pie griego. La mayoría de las series españolas y la alemana reproducen

porcentajes muy similares, mientras que las dos series anglosajonas muestran un gran predominio del tipo egipcio. Sólo las series correspondientes al continente americano (Cousin⁵², Calderón⁷⁹ y Ogilvie-Harris¹³) muestran un porcentaje más inferior respecto al pie egipcio.

Además la frecuencia de la tipología de pie es distinta en las series de Lelièvre³², Lake⁷⁷, Calderón⁷⁹, Calvo de Cos⁵⁶, y en este estudio, ya que el pie griego se sitúa en el último en frecuencia tras el egipcio y el cuadrado. Esto último puede servir para aclarar que quizá la diferencia genotípica entre los continentes propuesta anteriormente, no sea tan importante como el tipo de metodología de medición empleada para la longitud de los segmentos óseos³⁶. Por ejemplo, los americanos se basan en las longitudes relativas entre el 1º y 2º dedos con relación a una línea perpendicular al eje medio del pie. Viladot^{52,82}, sin embargo, emplea una proyección colocando el pie en una posición de ligera rotación externa según el ángulo fisiológico de Fick.

La prevalencia de las **fórmulas digitales** en sujetos sanos según los diferentes métodos de valoración se resume en el **Anexo 1**, donde se exponen las frecuencias de la tipología del pie resaltadas con números arábigos de mayor a menor.

La **fórmula metatarsal** más frecuente encontrada por autores que utilizan **técnicas radiológicas**, como Viladot⁵² o Pareja³⁷, es el tipo índice minus. En el primer caso⁵² y con una muestra de 1.000 pies sanos, esta tipología ocupa un 56%, seguida por el tipo índice plus minus con un 28% y 16% del tipo índice plus; en el segundo³⁷ el tipo índice minus representa un 44.1%, siguiéndole en frecuencia el tipo índice plus con un 41.9% y finalmente el tipo índice plus minus con un 14%.

Resultados similares aparecen en el estudio de Pizones Arce⁷⁸, quien en 2.007 encontró en una muestra 231 pacientes un 45% de índice minus, 39.4% de índice plus y 15.6% de índice minus. En el trabajo americano de Harris y Beath²⁵, quienes estudiaron 7167 pies de soldados canadienses se muestra un predominio relativo del tipo índice minus del 40%, seguido por un 38% del tipo índice plus, y

un 22% de índice plus minus. Nilsonne³⁸ en 1930, con una muestra de 497 pies encontró un 52% de índice minus, seguido de un 34% de índice plus y de un 13,4% de índice plus minus, siendo sus resultados muy similares a los de Pareja³⁷, Pizonas Arce⁷⁸ y Harris y Beath²⁵. Estudios más recientes señalan al tipo índice plus minus como el más predominante. Así aparece en la tesis de Oller Asensio³⁶ en el 2.004, donde dicha tipología aparece con un 50.9% seguida de un 35.2% de índice minus y un 13.9% de índice plus. Calvo de Cos⁵⁶ en el 2005 encuentra resultados similares con un 50% de índice plus minus, un 36% de índice minus y un 14% de índice plus.

En el caso de los **métodos osteológicos**, el pie índice plus el más frecuente. Así ocurre en el estudio de Monreal Redondo¹² de 2.004, quien muestra unos porcentajes de 44.7% de índice plus, 29.8% de índice plus minus y 25.5% de índice minus.

Respecto a los **métodos palpatorios**, los datos se asemejan al estudio de Viladot y Sant y Mestres⁵², donde la frecuencia del índice minus es superior a la del índice plus minus, siendo la tipología menos frecuente la índice plus. Analizando los métodos empleados, las diferencias entre las distintas series pueden deberse a las diferentes formas de medir las longitudes relativas de los metatarsianos^{25,36}, tanto radiológicamente como según la metodología empleada, tal y como ocurre a la hora de valorar las fórmulas digitales.

Los distintos resultados sobre la prevalencia de la **fórmula metatarsal** se engloban en el **Anexo 2**, donde se indican la frecuencia de la tipología con sus respectivos porcentajes expresada de mayor a menor en números arábigos.

2.1.4. Plataformas de presión

Para evaluar el efecto de la fórmula metatarsal en la distribución de cargas en el pie, se pueden emplear diferentes instrumentos que emplean sensores diferenciados o una malla integrada por sensores múltiples mientras que el pie contacta sobre la superficie de apoyo⁸³, y que permiten obtener datos sobre la presión plantar, tanto en estático como en dinámico. Así pueden encontrarse

sistemas en forma de plantillas dentro del calzado, y otros que incluyen a las plataformas de fuerza y de presión, que constan además de un ordenador para almacenar los datos y una pantalla para poder visualizar el análisis. Las plataformas poseen ventajas como el permitir la obtención de datos con el sujeto calzado, el incluir un gran número de sensores y por tanto una gran resolución, estando los sensores colocados paralelos a la superficie de contacto⁴⁶. Como desventajas señalar que se necesitan muchos pasos para recoger los datos sobre la presión plantar del sujeto. Las plantillas poseen menos sensores respecto a las plataformas, proporcionando una peor resolución. Además, su uso implica colocarlas dentro del calzado^{46,83}.

El empleo de las plataformas fuerza es el método más frecuentemente empleado para establecer la interacción entre el pie y la superficie de contacto. A pesar de proporcionar información importante sobre los componentes de las fuerzas de reacción del suelo, proporcionan alguna información sobre cómo se reparte la carga a lo largo de la superficie plantar. Además, las plataformas de fuerza tienen pocos dispositivos específicos para el acoplamiento a la superficie donde se recogen los datos a diferencia de las plataformas de presión. Estas últimas, proporcionan información sobre la presión ejercida sobre el suelo, las fuerzas de reacción y la estabilometría⁸⁴. Se considera presión a la fuerza dividida por el área, siendo la fuerza total que actúa sobre el calcáneo su carga total⁴⁶. En el mercado existen numerosos sistemas portátiles para medir las presiones plantares (plataformas que utilizan el sistema EMED, sistema de plantillas Pedar, sistema F-Scan, sistemas que emplean las huellas plantares, etc.), permitiendo su uso a lo largo de múltiples entornos clínicos⁸³.

Por este motivo, las plataformas de presión destacan sobre otros métodos empleados para el estudio estático plantar (podoscopio o pedigrafía) al permitir obtener datos importantes cuantitativos sobre la presión plantar, tanto en estático como en dinámico⁸⁵, aunque tienen el inconveniente de ser un método caro^{36,86}.

El estudio de la presiones plantares en estático mediante plataformas de presión, viene realizándose desde el año 1989, cuando Libotte^{20,21} utilizó este método en sujetos con deformidades postraumáticas del pie, hallux valgus, hallux

rigidus, metatarsalgias, así como para el estudio de pies con alteraciones neurológicas, como neuropatías periféricas y poliomielitis. Pero además, la información obtenida mediante el análisis de las presiones plantares sirve para establecer relaciones entre las mismas y la postura del miembro inferior⁸³. Su utilización permite evaluar cómo influyen en el apoyo plantar cambios fisiológicos o patológicos, así como el empleo de distintas técnicas de fisioterapia donde se incluyen las manipulaciones de la articulación tibiotarsiana, la técnica de reeducación postural global y los ejercicios de flexibilización, propiocepción y estimulación plantar⁸⁴.

Dentro de los factores a considerar a la hora de seleccionar un instrumento para valorar las presiones plantares, es importante verificar la resolución, la frecuencia de muestreo, la calibración y la fiabilidad. La resolución depende del tamaño y número de sensores del sistema, existiendo una mayor resolución en caso de un número mayor de sensores y si los mismos son de menor tamaño. La frecuencia de muestreo, que indica el número de muestras medidas por cada sensor por segundo y se mide en hertzios, sirve para determinar la resolución temporal del sistema. La calibración de los sensores es importante para la validez de las mediciones de fuerza y presión. La fiabilidad captada por los sensores es muy importante para la precisión del instrumento⁸³. Sobre este punto, es interesante señalar que las investigaciones sobre las presiones plantares tanto en plantillas como en plataformas de presión señalan diferencias en la distribución de las mismas que pueden estar relacionadas con las condiciones de medición y los efectos derivados del instrumento empleado⁸⁷. Los sistemas EMED son los más comunes para el análisis con el individuo descalzo. Gurney *et al.*⁸⁸ llevaron a cabo un estudio con 70 individuos sin patología músculo-esquelética con el objetivo de determinar la fiabilidad de una plataforma EMED de 50 Hz. Para ello, realizaron mediciones repetidas con los sujetos descalzos para evaluar la distribución de la presión plantar a lo largo de 5 días diferentes. Para el análisis de los resultados, la planta del pie se dividió en diez zonas, siendo la parte central del antepié la que mostró un nivel elevado de fiabilidad, a diferencia de otras zonas como la parte interna del mediopié. Zequera *et al.*⁸⁷ realizaron un estudio piloto para establecer

la repetibilidad de una plataforma Loran de 30 Hz para analizar las presiones plantares y la variabilidad del equilibrio postural en 8 sujetos no diabéticos. Para ello realizaron 3 mediciones separadas en el tiempo entre 7-10 días, empleando el software Footchecker para medir las variables correspondientes. Sus resultados demuestran que mediante el empleo de esta plataforma pueden obtenerse mediciones repetidas para las variables porcentaje de carga de cada pie, baricentro del cuerpo y del pie y punto de máxima presión. Zuil⁸⁵, en su estudio de fiabilidad intrasesión con un único evaluador empleando cuatro tiempos de captación, señala que la fiabilidad aumenta cuando lo hace el tiempo de captación de la prueba, mostrando los tiempos de 15, 30 y 60 segundos, una fiabilidad buena.

Una vez analizada la anatomía, biomecánica y patomecánica, las fórmulas y su prevalencia, así como los tipos de plataformas podemos continuar nuestro trabajo enumerando los trabajos previos y el estado de la cuestión del tema a estudio.

2.2. Antecedentes y estado actual del problema de investigación.

En este apartado se exponen los antecedentes así como el estado actual del tema a tratar. En un primer apartado se describen los métodos para medir las longitudes y/o protrusiones del primer y segundo radios del pie. En el segundo se analizan las disfunciones que afectan a dichos radios. Finalmente, en el tercero se describen las características de las presiones plantares así como las plataformas empleadas por otros autores.

2.2.1. Métodos de medición de la longitud y/o protrusión del primer y segundo radios del pie: métodos radiológicos, osteológicos y palpatorios.

La medición de las longitudes del primer metatarsiano respecto al segundo se ha realizado en numerosas investigaciones para establecer relaciones con

posibles patologías en el pie^{2-4,7,13,75,76,89}. Existen diferentes métodos para valorar la longitud de los metatarsianos y los dedos, así como la protrusión entre los mismos, siendo el más común el método radiológico que utiliza rayos X^{36,37,56,83}. Otros métodos son los osteológicos y palpatorios.

La **evaluación mediante radiografía dorsoplantar (figura 4)** es el método más preciso para establecer la relación entre las longitudes del primer y segundo metatarsianos, y explicar la asociación entre las mismas y la patología del pie.



Figura 4. Radiografía dorsoplantar en carga. (Tomado de Calvo de Cos 2005⁵⁶).

El paciente se sitúa descalzo sobre la placa radiológica con ambos pies juntos y repartiendo el peso entre ambos equitativamente, y se centra el rayo sobre el centro de la cabeza del astrágalo o línea de Chopart, inclinado 15° respecto a la vertical en dirección anteroposterior^{30,58}. A través de la radiografía se consigue la imagen de todos los huesos del pie con idéntica claridad desde la parte posterior del calcáneo hasta los extremos de las falanges distales de los dedos del pie²⁵. Este método es el que proporciona un mayor número de datos cuantitativos¹⁰; sin embargo también posee desventajas como el ser un método caro y poco accesible para el clínico, donde además el individuo se expone a radiaciones

ionizantes^{10,12,14}. A pesar de ser considerado un método preciso, existen muchas formas para estimar la protrusión digital y metatarsal, lo que junto a la variabilidad intrínseca de estas mediciones, pueden proporcionar datos diferentes³⁰.

La estimación de la **protrusión digital** se realiza en función de la longitud relativa entre el primer y el segundo dedo. Para ello, se considera la longitud desde el punto de encuentro entre la articulación calcáneo-cuboidea y astrágalo-calcáneo-navicular hasta los puntos distales del primer y segundo dedo³⁷. Este método ha sido empleado por Viladot de forma aislada y junto a Sant Mestres^{22,52,73} Lelièvre²³, Pareja³⁷, Calvo de Cos⁵⁶ y Pizones⁷⁸ entre otros.

En cuanto a la estimación de la **protrusión metatarsal** relativa del primer y segundo metatarsianos, definida como la distancia medida en milímetros observada a nivel de la posición de las cabezas metatarsales, se han empleado métodos radiológicos variados. En 1930, Morton⁹⁰, seguido de Nilsonne³⁸, describieron una técnica para cuantificar la protrusión entre el primer y el segundo metatarsianos (**figura 5**). Para ello, midieron la longitud del segundo metatarsiano a través de la línea proyectada desde la articulación astrágaloescafoidea. La longitud del primer metatarsiano se calculó mediante el trazado de una línea transversa dibujada perpendicular a la línea que representa el eje del segundo metatarsiano⁹⁰. Será Sanner¹¹ en 2003, quien recomiende dicho método para valorar la protrusión metatarsal de todos los dedos. Harris y Beath²⁵, en 1949, diseñaron otro método, midiendo la distancia desde el tubérculo posterior del calcáneo hasta las cabezas del primer y segundo metatarsianos.

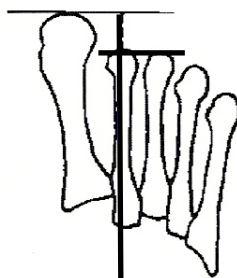


Figura 5. Método de Morton (Tomado de Michaud 1997⁶ y modificado por Martínez)

El método desarrollado por Hardy y Clapham⁹¹ en 1951, es el más aceptado por la comunidad científica⁷⁵. Primero se traza el eje transversal del tarso, de forma que el punto de cruce del mismo con el eje de la diáfisis del segundo metatarsiano, se emplea como centro de rotación. Luego se trazan dos arcos, que pasan por los extremos articulares distales del primer y segundo metatarsianos. Por último, se traza una línea perpendicular entre estos dos arcos y se mide en milímetros. Así, un valor positivo indica que el primer metatarsiano es de mayor longitud que el segundo, y un valor negativo indica que el primer metatarsiano es de menor longitud que el segundo^{30,37,56,91}.

En 1981 Heden y Sorto⁹², establecen diferencias de ± 2 mm como parámetros de normalidad, valores, posteriormente utilizados y recomendados por otros autores^{89,93,94}. Otros métodos empleados para medir la protrusión metatarsal, fueron los empleados por Laporta *et al.*⁵⁷, Drez *et al.*⁹⁵, Montagne *et al.*³⁴, Novel y Ogalla⁹⁶, Tanaka *et al.*⁹⁷, Mancuso *et al.*⁹⁸ y Maestro⁹⁹. Finalmente, en 2005, Calvo⁵⁶ traza el eje diafisario del segundo metatarsiano, para posteriormente, realizar dos líneas perpendiculares al mismo, que pasen por las superficies articulares distales del primer y segundo metatarsianos. Por último, traza una línea perpendicular entre estas dos líneas que mide en milímetros.

Respecto a la **estimación de la longitud de las falanges proximal y distal del primer dedo del pie** mediante una radiografía dorsoplantar en carga, Munuera *et al.*^{100,101} localizan los puntos medios de la línea que une la parte

medial y la parte distal de la cabeza metatarsal, realizando lo mismo a nivel de la base de la misma, uniendo ambos puntos con una línea que se corresponde con la longitud de la falange. Zgonis *et al.*¹⁰², miden la longitud de las falanges proximales del primer y segundo dedos del pie a través de la longitud de sus ejes longitudinales. En relación a la longitud del primer dedo, Munuera *et al.*^{100,101} la obtienen sumando la longitud de cada una de sus falanges, mientras que Zgonis *et al.*¹⁰² miden la distancia desde el extremo proximal del eje longitudinal de la falange proximal al extremo final de la falange distal.

Respecto a los métodos empleados para la obtención de las longitudes en las radiografías, existen autores que han utilizado diferentes programas como el AutoCAD®^{56,96,100,101,103,104} para digitalizar las radiografías, mientras que otros han realizado mediciones empleando elementos sencillos (como papel de calco^{10,105}, un lápiz^{3,10,25,89,97,102,103,105-111}, una escuadra¹⁰⁵, un compás^{105,112,113}, un goniómetro^{3,105,109,112,113}, un calibre¹¹³ y una regla^{3,105}, tanto en radiografías^{3,10,25,89,97,106-109} como en imágenes escaneadas^{3,103}. Así, Spooner *et al.*¹⁰ emplean papel de calco sobre las radiografías, que iluminan desde atrás, para identificar la parte más distal de las cabezas metatarsales con un lápiz. Taranto *et al.*¹⁰³ colocan una lámina de acetato sobre las radiografías, y con un lápiz soluble en agua, realizan una serie de marcas que posteriormente borran para volver a medir de nuevo sobre la radiografía, sistema repetido por otros autores^{97,107,108,110}. En otras ocasiones, se describe el método utilizado para medir las longitudes y/o protrusiones pero no se especifica el material empleado^{57,89,91,100,104,115-118}.

Algunos autores como Domínguez³⁰ consideran que expresar las diferencias de protrusión metatarsal en milímetros sin hacer referencia al tamaño de un metatarsiano, puede no resultar aplicable, porque diferencias de 3 mm entre la protrusión de dos metatarsianos puede ser significativo en un pie que calce un nº 36 en la numeración de punto de París, pero sin embargo, no serlo en una persona que calce un 43. Por tanto recomienda no emplear valores absolutos, siendo más recomendable cuantificar la protrusión metatarsal expresada en porcentaje respecto al segundo radio para obtener valores de normalidad y para

estandarizar las medidas, pudiéndose aplicar a pies de diferentes tamaños para que los resultados sean significativos^{30,47,100,101,119,120}.

En cuanto al número de evaluadores y el número de mediciones realizadas en cada radiografía, la mayoría de autores realizan una sola medición realizada por un único explorador^{89,95,98,106,112,116}. En otras ocasiones se mide una sola vez pero no se especifica el número de exploradores^{3,10}. Bryant *et al.*^{107,108} realizan 3 mediciones con un único explorador. Tanaka⁹⁷ sin embargo realiza 10 mediciones en días diferentes. Otros autores, sin embargo, utilizan dos exploradores, como Zgonis *et al.*¹⁰² y Bhutta *et al.*¹¹¹ quienes miden en una sola ocasión. Chauhan *et al.*¹¹⁰ prefieren medir dos veces con 3 meses de diferencia entre sí, mientras que Taranto *et al.*¹⁰³ realizan 3 mediciones diferentes. Saltzman *et al.*¹⁰⁹ realizan 3 mediciones empleando 6 exploradores.

Los **métodos osteológicos** utilizan mediciones directas sobre las distintas piezas óseas para obtener los datos^{12,28,29,121-123}. Constituyen un método muy fiable, pero a la vez poco accesible, al realizarse mediante la extracción de piezas óseas de cadáveres, donde factores, como la presencia de necrosis, pueden condicionar el estudio de las mismas^{12,28-29}. Smith¹²¹ y Cordeiro *et al.*²⁸ emplean un calibre para medir las longitudes metatarsales y las falanges. Monreal¹² emplea una escuadra y papel milimetrado para evaluar la fórmula digital y metatarsal. Mcfadden²⁹ y Mafart¹²³ emplean una escuadra y un tablero milimetrado con el mismo objetivo. Griffin¹²², escanea cada pie y mide la longitud de cada pieza ósea mediante un calibre digital.

La **palpación clínica** se emplea con frecuencia para identificar la posición de las cabezas metatarsales^{13,14}. Existe controversia sobre su utilidad, ya que mientras algunos autores consideran que es una técnica precisa y válida, otros opinan lo contrario¹⁰. Esto puede deberse a que los métodos empleados no se describen correctamente, y carecen de estudios de fiabilidad y validez¹³.

Finalmente, las investigaciones realizadas por Rodgers y Cavanagh⁴, Spooner *et al.*¹⁰, Lord y Hosein²⁴, Glasoe *et al.*², Davidson *et al.*^{14,31} y la autora

del presente proyecto^{9,81} emplean técnicas palpatorias, demostrando estos dos últimos autores una fiabilidad alta con un coeficiente de correlación intraclase (CCI) de 0,98^{9,14,124}.

La identificación mediante la palpación de la primera y segunda cabezas metatarsales fue empleada en 1988 por Rodgers y Cavanagh⁴ colocando papel adhesivo circular de 3 mm de diámetro sobre las mismas, además de registrar las huellas plantares durante la marcha, midiendo la diferencia entre las longitudes metatarsales paralelas a la longitud del eje de la huella de cada individuo. Sin embargo, no estudiaron la fiabilidad de la técnica. Spooner *et al.*¹⁰, en 1994, establecen que la palpación es una técnica válida para determinar la posición relativa de los metatarsianos si se compara con los métodos radiológicos al no existir diferencias significativas entre ambos métodos. Para ello, marcaron con lápiz dermatográfico el punto palpable más distal de la primera cabeza metatarsal, realizando la valoración con los sujetos en bipedestación, con su ángulo y base de sustentación normales. Al comparar con los métodos radiológicos, demostró ser un método válido. Lord y Hosein²⁴ emplearon la palpación para identificar la posición de las cabezas metatarsales con el objetivo de conseguir la correcta colocación de unos transductores bajo las zonas de máxima carga del pie asociadas a un determinado metatarsiano. La técnica se llevó a cabo con el sujeto en descarga colocando el pie en una posición neutra y marcando cada una de las cabezas metatarsales a nivel de la planta del pie, para posteriormente, transferirlas a una plantilla mientras el individuo caminaba^{51,125}.

Otros autores, como Glasoe *et al.*², emplearon una serie de referencias, como el tubérculo del escafoides y la cresta dorsal de la primera y segunda articulación metatarsofalángica respectivamente, para valorar la protrusión digital y metatarsal entre el primer y segundo radios del pie (**figura 6**) La fiabilidad intraobservador obtenida fue baja². La longitud relativa del primer metatarsiano respecto a la del segundo se midió según este método en el trabajo de Davidson *et al.*³¹, empleando un calibre desde el tubérculo del escafoides al final de las cabezas metatarsales del primer y segundo dedos, siendo el primer dedo más largo que el segundo entre 1-1,2 mm.



Figura 6. Estimación de la protrusión metatarsal desde el tubérculo del escafoides. (Tomado de Davidson *et al.*³¹).

Posteriormente y con una muestra de 36 pies, Davidson, Pizzani y Mayes^{14,31} emplearon las referencias anteriores, añadiendo además la mitad de cada una de las uñas de los dos primeros dedos además de una marca en el calcáneo, con el objetivo de establecer las longitudes relativas del primer y segundo dedos y metatarsianos del pie. Para ello, emplearon papel milimetrado, un calibre, una escuadra, un tintero, una regla y un rotulador. Con el primer y segundo test, pudieron evidenciar la protrusión entre el primer y el segundo dedos, y entre las cabezas metatarsales primera y segunda respectivamente. Con el tercero, establecieron la fórmula metatarsal pero considerando la longitud de cada metatarsiano desde el tubérculo del escafoides a las cabezas metatarsales. Sus resultados demostraron que de las tres técnicas utilizadas la primera y la tercera eran altamente fiables (CCI de 0.98 y 0.76) y la segunda moderadamente fiable (CCI de 0.67). Sin embargo la muestra utilizada fue solo de 36 pies. Pero más adelante en el año 2008, la autora del presente trabajo^{9,124}, tomando como referencia el estudio previo de Davidson *et al.*¹⁴ reproduzca dichos test ampliando la muestra hasta 202 pies, obteniendo un nivel de fiabilidad en todos los test superior a los de su predecesor, con CCI de 0.98 en el primer test, 0.87 en el segundo y 0.88 en el tercero.

El uso de la palpación y el del calibre se emplean con frecuencia para obtener ángulos y longitudes entre referencias óseas. Así Malle *et al.*¹²⁶, además de realizar radiografías y fotos digitales del pie, emplea el calibre tomando como

referencias óseas el extremo plantar del tubérculo del escafoides, la parte medial y lateral del calcáneo (que sirve de guía para trazar una línea en la mitad del tendón de Aquiles), la base del primer metatarsiano en la parte distal a la articulación tarsometatarsal y la cabeza del mismo, proximal a la articulación metatarsofalángica. El uso del calibre se emplea para medir la longitud del pie y la longitud truncada del mismo entre otras medidas. Se define longitud del pie a la longitud desde la línea perpendicular al dedo más largo desde la parte posterior del calcáneo, mientras que la longitud truncada es la longitud desde la parte anterior de la primera cabeza metatarsal a la parte posterior del calcáneo.

En 2009, McPoil *et al.*¹²⁷, emplean una plataforma especial con una regla para realizar mediciones antropométricas del pie entre las que se encuentra la longitud total del mismo considerando el dedo más largo, además del empleo de dos calibres digitales para medir la altura del arco y la anchuras del antepié, mediopié y talón. En 2010, Paiva *et al.*¹²⁸, emplean un calibre para medir la diferentes anchuras (tobillo, cabezas metatarsales y dedos) así como la longitud del pie o distancia desde la parte más prominente de la tuberosidad del calcáneo y el extremo del dedo más largo, siguiendo el eje longitudinal del pie (desde el talón al segundo dedo). Ese mismo año, O'Meara *et al.*¹²⁹, realizan una serie de marcas en el pie derecho con el individuo en bipedestación (entre las que figuran la línea posterior del final del talón y el extremo final del dedo más largo del pie) para obtener la longitud total del pie, además de realizar fotografías del mismo.

Respecto al número de exploradores, la mayoría de los autores emplean un único explorador. Así, O'Meara *et al.*¹²⁹ realiza una única medición durante 3 días consecutivos; Davidson *et al.*¹⁴ realizan dos mediciones; y Paiva *et al.*¹²⁸, McPoil *et al.*¹²⁷, Davidson *et al.*³¹, y Spooner *et al.*¹⁰ realizan una única medición. Glasoe *et al.*² y Malle *et al.*¹²⁶ utilizan dos observadores; el primero realiza una sola medición, mientras que el segundo realiza dos separadas entre sí una semana.

Otros autores han empleado la estimación visual para establecer la longitud digital y/o metatarsal. Así, Ogilvie-Harris *et al.*¹³ establecieron la longitud relativa entre el primer y segundo dedo del pie con las articulaciones de

los dedos en posición neutra. Oztekin *et al.*⁷ fotografiaron los pies en posición neutra y utilizaron una regla para estimar las diferencias, con el sujeto en decúbito supino, sin apoyo de la planta del pie. Se consideró a partir de valores de $\pm 2\text{mm}$ para clasificar al primer dedo como largo o corto respecto al segundo (**figura 7**).

Beeson *et al.*⁸⁰ también valoran la longitud entre el primer y segundo dedo de forma visual. La autora del presente trabajo, lo realizó con el pie en descarga, utilizando la nomenclatura “pie egipcio” cuando el primer dedo es el más largo, “pie griego” cuando el segundo dedo es más largo que el primero y “pie cuadrado” cuando poseen idéntica longitud⁹. También valoró en descarga la protrusión metatarsal (**figura 8**) mediante el dibujo del contorno de las cabezas metatarsales, realizando previamente la flexión plantar de las articulaciones metatarsofalángicas^{1,6,9,27}.



Figura 8. Estimación de la protrusión digital de forma visual (Tomado de Oztekin *et al.*2007⁹)



**Figura 8. Estimación de la protrusión metatarsal realizada por Martínez.
(Tomado de Martínez⁹)**

Incluso comprobó la presencia de una membrana más larga entre el segundo y tercer espacio interdigital (**figura 9**), en comparación con la localizada entre el primer y segundo dedo, ya que se supone condicionante de la tipología índice minus tal y como refleja la literatura^{1,27}.



**Figura 9. Valoración de la presencia de membrana
(Tomado de Martínez⁹)**

Sin embargo, dicha membrana aparece de forma casi idéntica en ambos casos, no hallándose resultados estadísticamente significativos⁹.

Respecto al número de exploradores, Ogilvie-Harris *et al.*¹³ emplean una sola medición realizada por un único explorador, mientras que Martínez^{9,124} realiza dos, y Oztekin *et al.*⁷ y Beeson *et al.*⁸⁰ no indican el número de observadores ni mediciones.

2.2.2. Disfunciones que afectan al primer y segundo radios del pie

Las longitudes del primer y segundo radio pueden condicionar diversas patologías en el pie. Dentro de las opciones que se pueden encontrar en el antepié mencionar el acortamiento y la elongación del primer y segundo radios. Tal y como hemos mencionado antes, la fórmula digital y metatarsal pueden combinarse de muchas maneras tal y como estableció Viladot¹³⁰, pero algunas veces, pueden derivar en patología.

Respecto a la **fórmula digital**, en los humanos, el primer dedo es más largo que el segundo en la mayoría de los individuos, siendo un rasgo hereditario donde el gen dominante causa la longitud normal del primer dedo, mientras que el genotipo homocigoto recesivo se presenta en sujetos con el segundo dedo más largo¹³¹.

Algunos autores consideran que un **primer dedo más largo que el segundo** se asocia con la aparición de hallux valgus^{8,73,91,132}, aunque otros rechazan esta posibilidad¹²⁷. Tanaka *et al.*⁹¹ exponen que la longitud de la falange proximal es superior en caso de hallux valgus. Heden y Sorto⁹², y Roukis *et al.*¹⁰⁶ opinan que la longitud total del primer dedo se relaciona con la aparición de hallux valgus. Munuera *et al.*¹⁰⁰ coincide con Tanaka, Heden y Sorto y Roukis, porque tanto la longitud del primer dedo en su totalidad como la longitud de la primera falange son superiores en caso de hallux valgus. Esto provoca que el primer dedo se comprima con el calzado y se desvíe. Incluso consideran que tanto

la falange proximal como la distal del primer dedo son mayores, aumentando por tanto la longitud total del primer dedo¹⁰¹. Rueda⁴¹, sin embargo, opina que un primer dedo excesivamente largo asociado a un primer metatarsiano estable se asocia con hallux limitus, ya que se alarga la palanca desplazándose el punto de apoyo hasta la interfalángica⁴⁷. Según Viladot²² las alteraciones más frecuentes del antepié aparecen en los pies tipo *índex plus*. Si además se combina con un primer metatarsiano corto, débil y en varo se relaciona con hallux valgus; pero si se combina con un primer metatarsiano fuerte y potente se relaciona con hallux rigidus.

La longitud aumentada del primer dedo, también se relaciona con el pie más cómodo para la práctica diaria de ballet¹³, siendo las hiperqueratosis y el dolor inferiores en bailarines con pie egipcio⁷. Además si el primero y segundo dedo poseen la misma longitud, disminuyen las lesiones en el tobillo y pie¹³.

Un segundo dedo más largo o un primer dedo más corto influyen en la aparición de problemas en el antepié. Así, en caso de bailarines de ballet, una longitud superior o igual del segundo dedo respecto al primero conduce a más dolor e inflamación a nivel de la articulación metatarsofalángica del primer dedo así como más hiperqueratosis⁷ y hallux rigidus¹³, acompañándose también de problemas de estabilidad, sobrecargando el peso de la primera cabeza metatarsal a la segunda y tercera⁸.

Respecto a la **fórmula metatarsal**, algunos autores^{5,27} (**figura 10**) consideran que un pie correctamente estructurado es aquel donde el primer metatarsiano posee idéntica o mayor longitud que el segundo, siendo el que soporta el peso del cuerpo. Viladot⁵² coincide con este dato pero añade también que se trate de un pie griego. Se denomina braquimetatarsia al acortamiento anormal desde el punto de vista anatómico, de cualquier metatarsiano, situación más común en caso del cuarto y del primero. Además cuando se produce la apariencia clínica de dedos más cortos se emplea el término braquimetapodia¹⁰⁵.

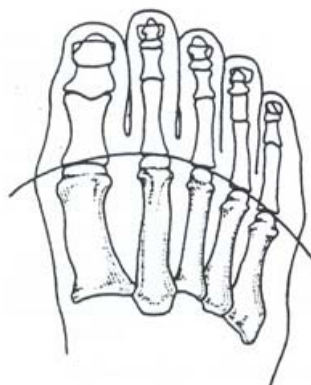


Figura 10. Alineamiento ideal de las cabezas metatarsales (Tomado de Michaud 1997⁶)

La morfología del antepié ideal fue descrita por Maestro *et al.*⁹⁹ al definir el antepié armónico como el que debiera asegurar la función fisiológica y una distribución del peso. Para ello realizó un estudio de radiografías de antepiés sintomáticos y asintomáticos, concluyendo que el aumento de la longitud metatarsal predispone a dolor e hiperqueratosis en la cara plantar de la superficie plantar, lo que se conoce como metatarsalgia.

Dentro de las disfunciones más frecuentes que afectan a los metatarsianos, antepié y arco longitudinal del pie, destaca el **acortamiento de primer metatarsiano** tal y como lo describió Dudley Morton¹³² en 1935. Esta tipología de pie, también denominada metatarsus atavicus, aparece con una frecuencia habitual en el 40% de los individuos^{1,25}, y se caracteriza por una sensibilidad a la presión profunda en la planta del pie a nivel de la segunda articulación metatarsocuneana provocada^{66,133}. Según algunos autores, este tipo de deformidad constituye una variación de la estructura esquelética congénita^{61,133} normalmente bilateral, donde no sólo el primer metatarsiano es relativamente más corto, sino que el segundo es el relativamente más largo del antepié^{1,5}, constituyendo lo que posteriormente se conoce como *estructura de pie de Morton*¹³². El dolor y la sensibilidad en la base de los dos primeros metatarsianos así como en la cabeza del segundo es frecuente⁵. El paciente aunque posea la estructura en ambos pies, puede presentar dolor solamente en un lado, normalmente el del miembro inferior más corto, que soportará más peso al inclinarse el cuerpo hacia ese lado^{1,134}. De

esta manera se produce la irritación tanto de las cabezas metatarsales centrales así como de la segunda articulación tarsometatarsiana⁶⁶. Este tipo de pie posee además una membrana más profunda entre el primer y el segundo espacio metatarsal^{1,6}. Es importante diferenciar el concepto de pie de Morton del de neuroma de Morton, descrito por Thomas Morton como una metatarsalgia con origen diferente, puesto que el dolor se produce por neuritis o neuroma del nervio digital en la parte distal del espacio intermetatarsiano, especialmente entre el tercero y el cuarto¹³³.

Cabe señalar que un primer metatarsiano corto no constituye en sí mismo un pie de Morton, puesto que éste para serlo debe reunir las siguientes características^{4,6,25,132} (**figura 10**):

- El primer metatarsiano debe ser por lo menos 8 mm más corto que el segundo.
- Engrosamiento de la diáfisis del segundo metatarsiano.
- Primer radio hipermóvil con desplazamiento posterior de los sesamoideos.

Estas características, predisponen a la formación de hiperqueratosis en la planta del pie en aquellos individuos que poseen un primer metatarsiano más corto, debido a la distribución anormal del peso corporal^{1,25}. Normalmente éstas se sitúan bajo la segunda cabeza metatarsal, o bajo la segunda y la tercera, y a veces, bajo la tercera y cuarta^{25,26} como consecuencia del exceso de presión. Pueden aparecer otras hiperqueratosis menos frecuentes como en el lado interno del primer dedo hacia su extremo, en el lado medial de la cabeza del primer metatarsiano, a lo largo del borde externo de la planta del pie en su parte anterior, y a veces, en el lado externo del quinto metatarsiano^{1,27}.

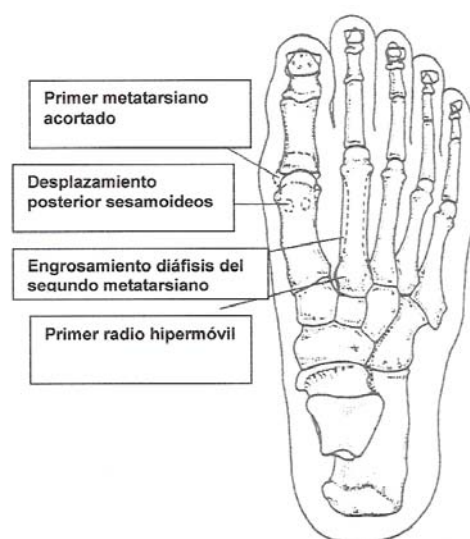


Figura 10. Estructura del pie de Morton (tomado de Michaud 1997⁶)

Otros factores a considerar se relacionan con el ámbito deportivo; así los atletas que poseen estructura de pie de Morton y que corren 80 km o más a la semana tienden a desarrollar síndromes dolorosos¹, ya que dicha estructura provoca la sobrecarga de los músculos peroneos¹³⁵, especialmente del peroneo lateral largo (**figura 11**), con la consecuente aparición de PGM que se relacionan con la presencia de las hiperqueratosis anteriormente señaladas¹. Incluso puede ser responsable de la activación y perpetuación de PGM en el glúteo mediano, puesto que la distribución anormal del peso en el pie provoca una pronación excesiva que puede activar PGM en el tensor de la fascia lata y en el tibial posterior. Esto provoca aducción y rotación interna en la cadera, con sobrecarga del vasto interno así como las fibras más horizontales del glúteo mayor, glúteo mediano y menor^{1,136}. Además, el músculo piramidal se sobrecarga al intervenir para compensar la rotación interna de cadera excesiva, perpetuándose los PGM ya existentes. Asimismo, la sobrecarga de los músculos glúteo mediano y menor provocan dolor referido en la zona del sacro, nalga y muslo. Otros PGM del pie que pueden activarse por la estructura de Morton son el abductor del quinto dedo, el abductor del primer dedo, el cuadrado plantar, los lumbricales, el flexor corto del primer dedo, el aductor del primer dedo, el flexor corto del quinto dedo y los

interóseos¹. Incluso se han descrito relaciones entre el síndrome de Morton y la presencia de PGM en la musculatura masetera y temporal^{1,6}.

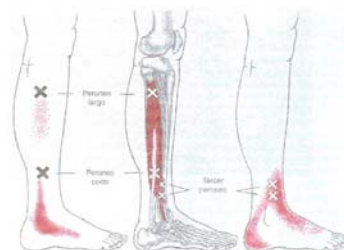


Figura 11. PGM de los músculos peroneos. (Tomado de Travell y Simons¹)

La autora del presente trabajo⁹, realizó un estudio con 48 individuos varones divididos en 2 grupos de 24 (maratonianos amateurs y un grupo control) para estudiar la presencia de PGM en determinados músculos del miembro inferior (vasto externo, tensor de la fascia lata, gemelo interno y externo, sóleo, tibial anterior y peroneo lateral largo y corto), además de evidenciar la influencia del pie de Morton en la activación de PGM de los músculos peroneos^{135,137}. Sus resultados demostraron una mayor prevalencia de PGM en el grupo de maratonianos, destacando además la presencia de PGM activos en el músculo peroneo lateral largo (58.3%) y peroneo lateral corto (62.5%) en ambos miembros inferiores de dicho grupo. Además 13 de los 24 maratonianos presentaban estructura de pie de Morton, siendo más frecuente la presencia de PGM activos o latentes en ese grupo frente al grupo control^{135,137}.

Como se ha señalado previamente, el hecho de tener el primer metatarsiano más corto que el segundo, impide que éste llegue al suelo durante la marcha, recibiendo menos carga³⁰. Sin embargo, se produce una sobrecarga del segundo, y de los radios menores, debido a la transferencia de peso corporal durante la marcha^{41,43}. Esto se asocia con el síndrome de insuficiencia del primer metatarsiano o primer radio, alteración estática que puede presentarse de forma lenta y solapada causando hiperqueratosis plantares en las cabezas menores, metatarsalgias o fractura de estrés a nivel del segundo y tercer metatarsianos^{2,4,5,94,100,136}. Otras veces, el hecho de poseer un primer metatarsiano

relativamente más corto, o un segundo metatarsiano relativamente más largo, se relaciona con la aparición de artrosis a nivel mediotarsiano^{3,138}. Viladot¹³⁰ considera que un primer metatarsiano más corto que el segundo provoca hallux valgus debido a la pronación del primer radio. Sin embargo, según Rueda⁴¹, para que se desarrolle el hallux valgus, el primer metatarsiano debe ser corto e hipermóvil, porque el primer dedo al no ser lo suficientemente estable para frenar la pronación, se separa del segundo rotando sobre su eje y cambiando el plano de trabajo de la primera articulación metatarsofalángica en valgo⁴⁷. Sin embargo, otros autores¹³⁹ discrepan respecto a este punto, ni siquiera en el caso de un primer dedo más largo. En otras ocasiones, la longitud del primer metatarsiano no guarda relación con la aparición de hallux valgus¹¹⁶. Finalmente, la presencia de un primer metatarsiano más corto, siempre y cuando no sea hipermóvil y con la articulación mediotarsiana estable⁴⁷, se relaciona con la aparición de hallux limitus^{4,101,102}. Esto se produce porque cuando el primer metatarsiano no puede soportar la proporción de carga que le corresponde, su falange proximal intentará el contacto con el suelo mientras que el primer radio se estabiliza⁶⁴, lo que causa aumento de la presión articular⁴⁷.

La longitud relativa del primer metatarsiano respecto al segundo es importante incluso dentro de la práctica del ballet profesional con el fin de evitar lesiones, especialmente en aquellos casos donde el primer metatarsiano es más corto que el segundo¹⁰⁹. De hecho el pie ideal para bailar en puntas es el que posee idéntica longitud metatarsal del primer y segundo dedos porque permite una superficie mayor de apoyo para el soporte corporal¹³. En caso de un primer metatarsiano acortado, o un primer dedo más corto, el bailarín debe trasladar el peso hacia el segundo o tercer metatarsiano para mantener la estabilidad¹⁰⁹. Además en el ámbito del ballet el hecho de poseer un primer metatarsiano más corto se relaciona con fracturas de estrés en el segundo metatarsiano^{67,68}.

Un **segundo metatarsiano más largo que el primero** se relaciona con la presencia de la enfermedad de Freiberg u osteonecrosis de la segunda cabeza metatarsal⁶⁹, aunque algunos autores¹⁴⁰ no han encontrado relación alguna. Otras

veces, se relaciona con la aparición del síndrome de subluxación metatarsofalángica del segundo dedo^{70,71}.

Por otro lado, la **longitud excesiva del primer metatarsiano (figura 12)** se relaciona con la aparición de hallux limitus y rigidus^{38,47,130}, así como con la sobrecarga directa del primer radio^{1,68,69,106}.

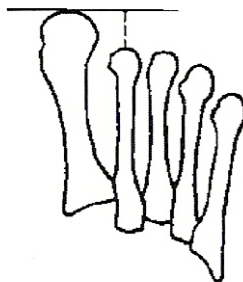


Figura 12. Primer metatarsiano alargado (tomado de Michaud 1997⁶)

En el caso de un primer metatarsiano estable, se produce la sobrecarga directa del mismo, siendo la patología asociada más frecuente el hallux limitus^{43,47}, que se manifiesta con el pulpejo del primer dedo hipertrofiado y con la actitud de supinación del antepié como compensación⁴³. Pero si el primer metatarsiano es largo e hipermóvil, se produce el desplazamiento de los sesamoideos hacia el lado medial del pie, además de la separación del primer metatarsiano del segundo, lo que provoca que la primera articulación metatarsofalángica trabaje en valgo causando hallux valgus^{43,47}. Además, los atletas que participan en deportes de contacto o de alto impacto, pueden aumentar las tensiones concentradas en la primera articulación metatarsofalángica durante el despegue de los dedos, predisponiendo al desarrollo de hallux rigidus¹⁴¹. Calvo *et al.*¹⁴² opinan que un primer metatarsiano mucho más largo se asocia con hallux rigidus; sin embargo, Zgonis *et al.*¹⁰² no encontraron relación alguna entre la longitud aumentada del primer metatarsiano y la presencia de hallux rigidus. Autores como Grady *et al.*¹⁴³ consideran que un primer metatarsiano excesivamente más largo respecto al segundo, se asocia con hallux limitus con más frecuencia que un primer metatarsiano acortado respecto al segundo. Otros estudios^{91,92,97,98,107,112,119,120,144}, sin embargo, relacionan esta tipología metatarsal

con la aparición de hallux abductus valgus. Munuera *et al.*¹⁰⁰, señalan que en fases iniciales de hallux valgus el primer metatarsiano protruye más que el segundo, siendo más largo que en los pies del grupo control. Munuera *et al.*¹¹⁹ señalan además que en caso de un primer metatarsiano más largo, existe la presencia de sesamoideo bipartito, siendo altamente significativa en caso del sesamoideo interno.

2.2.3. Localización de las presiones plantares

Respecto a las teorías del apoyo plantar, Viladot⁵² diferencia entre el apoyo mediante el talón y las cabezas metatarsales primera y quinta, el apoyo repartido entre las cinco cabezas metatarsales y el apoyo a nivel de las cabezas metatarsales pero más sobre la primera. Otras veces, se considera que el pie, en estática, presenta un triángulo anterior o de propulsión formado por los metatarsianos y los dedos, y otro posterior o de apoyo, desde calcáneo hasta las cabezas metatarsales¹⁴⁵. La distribución del peso a nivel plantar varía entre el antepié y el retropié. Autores como Morton¹³² consideran que el reparto es igual entre ambas zonas; pero Arcan y Brull¹⁴⁶ y Viladot⁵², opinan que la carga es superior en el talón. La distribución del peso a nivel plantar es difícil de estimar debido al balanceo normal del cuerpo que hace que el peso que soportan las diferentes zonas varíe^{52,147}. Otros factores que influyen en la variabilidad de las presiones plantares se relacionan con la metodología empleada en el seno de los estudios¹⁴⁸. La mayoría de los estudios señalan que la presión en el talón es superior a la del resto del pie; sin embargo en la región externa del mediopié es donde se detectan los valores de presión más bajos^{148,149}. Respecto a la distribución de cargas sobre los metatarsianos en bipedestación en sujetos sanos, existen opiniones diferentes. Desde las investigaciones realizadas por Morton¹³², la mayoría de autores coinciden en señalar que todos los metatarsianos soportan carga^{22,73,86}. Lavigne¹⁴⁸ incluso afirma que el reparto de las presiones es bastante uniforme en cada cabeza metatarsal. Otros autores¹⁵⁰, señalan que serán los metatarsianos centrales los que concentren una mayor carga, como Henning²³ que

concluye que el tercer metatarsiano es el que soporta mayor carga, Holmes¹⁵ que considera que es el segundo (seguido por el tercero y cuarto), y Lord²⁴ y Pérez *et al.*¹⁵¹ que afirman que serán el segundo y tercero los que más carga soporten. El primer dedo del pie es el que presenta mayores valores de presión plantar, registrándose en el resto un patrón de apoyo débil¹⁴⁸. En relación al apoyo monopodal, la presión es superior en todos los puntos del pie, siendo los valores de presión superiores en la zona del retropié (doble del valor en apoyo bipodal), existiendo más presión en el mediopié externo, y aumentando los valores en las cabezas metatarsales. Sobre este último punto, algunos autores¹⁴⁸ hablan de un reparto uniforme de la carga entre todos, mientras que otros opinan que se reparten entre el primero y el cuarto. Además la captación de las zonas de máxima presión se corresponden con las superficies óseas más prominentes de la planta del pie como las cabezas metatarsales, los sesamoideos y la tuberosidad del calcáneo; sin embargo, la existencia de la almohadilla plantar desvía la carga más expuesta a nivel de las cabezas metatarsales, especialmente cuando se asocia un movimiento de flexión dorsal de los dedos¹⁵². Esto justificaría el hecho de que no siempre se cumpla la premisa de que la posición de las cabezas metatarsales coincide con la posición de las zonas de máxima presión.

En cuanto a los factores que condicionan la presión plantar se encuentran: el sexo, peso corporal, la edad, la velocidad de la marcha y la estructura anatómica del pie^{145,149}. Respecto al sexo, Holmes *et al.*¹⁵ y Bennet y Duplock¹⁶ señalan que las mujeres presentan mayores presiones bajo el primer dedo del pie. Sin embargo, Pink y Jobe¹⁷ encontraron mayores presiones a nivel de la zona lateral del antepié y los dedos. En relación al peso corporal, la presión plantar es superior en la zona del talón, mediopié y región metatarsal durante la bipedestación y la deambulación en caso de población obesa^{153,154}; Birtane *et al.*¹⁵⁵ registraron aumento de presiones en la zona del antepié solamente; Gravante *et al.*¹⁵⁶ destacan el aumento de contacto del mediopié; Nyska *et al.*¹⁵⁷ encontraron un aumento en la zona lateral del pie, con menor presión bajo la cabeza del primer metatarsiano; Hughes *et al.*¹⁵⁸ señalan que existe relación entre el peso corporal y la presión captada bajo la cabeza del cuarto metatarsiano. Respecto a la edad, según

Henning¹⁸, en su estudio de niños de 6 a 10 años, aumenta el desplazamiento de la carga hacia la zona medial del antepié con más presión a nivel de la primera cabeza metatarsal, siendo las presiones inferiores en relación a los adultos al disminuir durante el apoyo^{18,19}. Si la velocidad de la marcha aumenta, también lo hace la presión en talón, en zona medial del antepié y en los dedos trifalángicos del pie¹⁹. En relación a la estructura anatómica del pie, tal y como se ha señalado con anterioridad, se incluyen factores que afectan a la longitud de los huesos del pie y que pueden condicionar las presiones plantares.

La influencia de la fórmula digital y metatarsal en las presiones soportadas así como las hiperqueratosis detectadas en la planta del pie ha sido estudiada previamente^{9,25,151}. Harris y Beath²⁵ fueron los primeros en estudiar la relación de la fórmula metatarsal y la carga bajo las cabezas metatarsales. Para ello, realizaron radiografías y observaron la formación de hiperqueratosis; sin embargo, no emplearon una plataforma de presiones. Sus resultados demuestran que, aunque la concentración de peso bajo las cabezas metatarsales centrales se correlaciona bien con la formación de hiperqueratosis, no existe una relación convincente con las longitudes relativas de los dos primeros metatarsianos²⁵. Pérez *et al.*¹⁵¹, en su trabajo con 390 sujetos (708 pies) empleando una plataforma PDS encontró 265 pies egipcios, 71 griegos, 54 cuadrados, además de 156 índice plus, 351 índice minus y 273 índice plus-minus, aunque no mencionan la metodología empleada para su clasificación. En cuanto a la carga puntual a nivel de las cabezas metatarsales relativa a la carga total del antepié, predominaba la carga central con valores de 21.25% para la cabeza del segundo metatarsiano, 23.88 % para la cabeza del tercero y 20.24% para la del cuarto, 16.85% para la cabeza del primero y 17.78% para la del quinto. Además existen diferencias estadísticamente significativas respecto al apoyo del primer y del quinto metatarsianos en el caso de los pies tipo índice plus y los otros grupos, al ser la carga mayor bajo la primera cabeza metatarsal y menor bajo la quinta. Incluso la carga a nivel del tercer metatarsiano es superior en todos los pies tipo índice minus con diferencias estadísticamente significativas, además de específicamente en el grupo de mujeres. Lo mismo ocurre bajo la segunda y la cuarta cabezas en caso de los pies

tipo *índex plus*. En el caso de los hombres, la carga resulta superior bajo la primera cabeza metatarsal, existiendo diferencias significativas para el primero, tercero y quinto metatarsianos. La autora del presente proyecto⁹, realizó un trabajo en el año 2008, sobre la captación de las presiones de forma estática de la planta del pie. Sus resultados establecieron que cuando existía mayor presión bajo la segunda cabeza metatarsal, aparecían hiperqueratosis bajo todas las cabezas metatarsales excepto la primera. A pesar de que la bibliografía señala que la tipología *índex minus* es la fórmula metatarsal que desarrolla mayor concentración de hiperqueratosis en la planta del pie⁵², no se encontraron resultados estadísticamente significativos que relacionaran dicha fórmula ni con las zonas de hiperqueratosis ni con las de exceso de presión. Sin embargo, sí se hallaron en el caso del pie *índex plus minus*, de manera que cuando existía exceso de presión en la zona de la segunda cabeza metatarsal, se desarrollaban hiperqueratosis bajo todas las cabezas metatarsales excepto la primera⁹. Además el exceso de presión bajo la segunda cabeza metatarsal se relacionó con la aparición de hiperqueratosis en la segunda cabeza así como en la tercera, cuarta y quinta. En el caso de los hombres, el exceso de presión en la zona de la segunda cabeza metatarsal se relacionó con la aparición de hiperqueratosis en la misma zona.

En este trabajo, se ha realizado un análisis de forma cuantitativa de la presión máxima captada en cada una de las zonas del antepié, a diferencia del estudio cualitativo realizado con anterioridad por la autora del presente trabajo⁹, con el objetivo de complementar el estudio planteado con anterioridad.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.

3.1. Hipótesis.

En el presente trabajo nos planteamos las siguientes hipótesis:

- **Primera fase:** La evaluación de las protrusiones digitales y metatarsales mediante procedimientos manuales presenta la misma fiabilidad que los procedimientos radiológicos de evaluación.
- **Segunda fase:** La fórmula metatarsal influye en las presiones que soporta la planta del pie en apoyo estático.

La hipótesis correspondiente a la primera fase es de dos colas y la de la segunda es de una cola, siendo ambas de tipo inductivo.

3.2. Objetivos.

Los objetivos propuestos en nuestro estudio son los siguientes:

- **Primera fase:** El Objetivo Principal de este proyecto es comprobar la fiabilidad del método palpatorio en comparación con el método radiológico para evaluar la longitud y/o protrusión digital y metatarsal.
- **Segunda fase:** El Objetivo general para el abordaje de esta fase es cuantificar la relación entre la fórmula metatarsal y la carga en estática captada mediante una plataforma de presión en la superficie plantar del pie.

MATERIAL Y MÉTODO

4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Diseño.

Este trabajo consta de dos fases. En la primera, se realizó una investigación de corte descriptivo, transversal y prospectivo tratándose de un estudio de concordancia^{159,160} entre los test palpatorios y los test radiológicos. Se estableció la fiabilidad interobservador (dos observadores) e intraobservador, mediante la realización de 3 valoraciones palpatorias, y radiográficas por sujeto separadas en el tiempo.

En la segunda fase, se realizó un estudio ex post facto^{159,160} de corte comparativo causal en el que hemos establecido si existen diferencias en las áreas de máxima presión de la zona plantar atendiendo a la fórmula metatarsal.

4.2. Población diana, población experimental y muestreo.

La **población diana** de nuestro trabajo está formada por sujetos sanos adultos.

A la hora de llevar a cabo esta investigación se establecieron los siguientes criterios de selección para poder configurar nuestra **población experimental**:

- Criterios de Inclusión:
 - Adultos sanos mayores de 20 años y menores de 55 años. Al ser sujetos con edad superior a 20 años, se consigue que las fisis de crecimiento estén ya cerradas³²⁻³⁴, para evitar errores en los valores de la protrusión digital y/o metatarsal. Al tratarse de sujetos menores de 65 años, en el caso de las mujeres, se eliminan factores hormonales como la osteopenia que pueden condicionar el estudio

a nivel del sistema músculo-esquelético, especialmente a nivel óseo³⁵.

- Estudiantes o profesores de la Facultad de Medicina de la Universidad CEU- San Pablo de Madrid durante los cursos académicos 2007-2011.

- Criterios de Exclusión.
 - Presencia de deformidades severas del antepié (hallux limitus, hallux valgus, metatarsus adductus, dedos en garra).
 - Presencia de enfermedades degenerativas osteoarticulares.
 - Presencia de dolor en el pie.
 - Cirugía previa del pie.
 - Episodio traumático en el pie durante los doce meses anteriores a la realización del estudio.
 - Antecedentes de fractura metatarsal y/o de las falanges.
 - Presencia de hiperqueratosis dolorosas.
 - Enfermedades congénitas o deformaciones de miembros inferiores.
 - Mujeres en la etapa de climaterio.
 - Embarazadas.
 - Presencia de enfermedades neurológicas.

La presencia de deformidades severas del antepié como hallux limitus, hallux valgus, metatarsus adductus o dedos en garra condicionan la posición de los dedos del pie, y por tanto, la protrusión metatarsal y digital, de manera que las mediciones pierden objetividad. Lo mismo ocurre en caso de alteración de distribución de cargas en el antepié así como en presencia de enfermedades congénitas o deformaciones a nivel de cualquier parte del miembro inferior^{30,120}.

La presencia de enfermedades degenerativas osteoarticulares como artrosis y artritis reumatoide, entre otras, puede modificar los valores de la protrusión digital y/o metatarsal, al afectar a las articulaciones metatarsofalángeas e

interfalángicas del pie^{30,32,120,161,162}. Los desequilibrios neuromusculares también pueden afectar a la alineación del pie³⁰.

La presencia de dolor en cualquier zona del pie puede reflejar una incorrecta biomecánica del mismo que condicione el apoyo en estático y dinámico³⁰.

La cirugía previa del pie así como fracturas anteriores a nivel metatarsal y/o digital pueden afectar a la longitud y/o protrusión a ese nivel, en comparación con un pie normal y sano^{30,120}.

La presencia de traumatismos sin ocasionar fractura en los doce meses anteriores al estudio puede causar alteraciones en el periostio modificando la imagen normal radiológica³⁰.

Por tanto, la **población experimental** de este trabajo estuvo formada por adultos sanos mayores de 20 años y menores de 55 años, estudiantes o profesores de la Facultad de Medicina de la Universidad CEU- San Pablo de Madrid durante los cursos académicos 2007-2011, y que cumplieran los criterios de exclusión anteriormente descritos.

El tipo de **muestreo** utilizado en nuestro trabajo fue de tipo no probabilístico consecutivo.

4.3. Aspectos Éticos.

En la **primera fase** de este trabajo, donde se ha desarrollado una investigación de corte descriptivo, transversal y prospectivo, tratándose de un estudio de concordancia, el tamaño de la muestra se obtuvo mediante el empleo del programa informático “Tamaño de la muestra 1.1” de Pérez Medina y colaboradores¹⁶³. Los datos aportados al programa para dicho cálculo fueron: hipótesis a dos colas, con un error tipo I o α de 0,05, con un valor estimado del coeficiente de correlación intraclase de 0,7 y con un nivel de exactitud de 0,15. Con estos datos el tamaño de la muestra necesario resultó ser de 65 pies, aunque

finalmente incluimos 78 pies (39 sujetos) con lo que conseguimos que el nivel de exactitud alcanzase un valor de 0,135

En la **segunda fase** de este estudio, en la que se desarrolla un estudio ex post facto, se utilizó el programa “Gpower 3.1.3” para Windows de software gratuito, con el que se ha calculado el número de casos, es decir, de pies, necesarios para realizar esta segunda parte de este trabajo. Los datos aportados para dicho cálculo han sido: error α de 0.05, potencia del estudio del 80%, con un tamaño del efecto (V de Cramer) de 0.33. Dicho tamaño del efecto se obtuvo de un estudio piloto que se realizó con 50 pies. Con estas condiciones, el tamaño de muestra obtenido es de 169 pies. Finalmente se ha introducido una muestra de 170 pies, con lo que el tamaño de efecto estimado ha disminuido hasta 0.328.

Cabe señalar que los individuos, y por tanto, los pies empleados en cada una de las fases fueron distintos. Esto se debe a que los individuos analizados en la segunda fase pertenecen a un estudio complementario donde utilizamos una plataforma de presión portátil.

Finalmente, la **muestra** en la primera fase de nuestro trabajo estuvo integrada por 78 pies correspondientes a 39 sujetos sanos adultos, de los cuales 17 fueron hombres (46,6%) y 22 mujeres (56,4%), con una edad media de 27,64 \pm 7,81 años, con un mínimo de 21 y un máximo de 52 años. En la segunda fase de este trabajo, la **muestra** estuvo formada por 170 pies correspondientes a 85 sujetos sanos adultos de los cuales 35 fueron hombres (41,2%) y 50 mujeres (58,8%), con una edad media de 27,42 \pm 4,72 años, con un mínimo de 21 y un máximo de 40 años. Esta investigación se ha realizado en las instalaciones de la Facultad de Medicina de la Universidad CEU-San Pablo de Madrid durante el periodo 2007-2011.

Es importante señalar que se hace referencia siempre a los pies de dichos sujetos, en lugar de personas puesto que, en el caso de la fórmula digital y/o metatarsal pueden encontrarse diferencias entre ambos pies^{9,120,124}. Por ejemplo, que uno de ellos sea cuadrado y el otro griego, o bien que uno sea índex plus y el

otro índice minus. Además, el propósito de este trabajo es comparar dos métodos diferentes para valorar la longitud y/o protrusión a nivel distal de los dedos y de los metatarsianos de forma aislada en cada uno de los pies, motivo por el cual la muestra se contempla considerando los pies y no los individuos.

4.4. Tamaño y características de la muestra

Todos los procedimientos que hemos utilizado para la realización de este trabajo han seguido los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos, de acuerdo con la Carta Internacional de los Derechos del Hombre, adoptada por la Resolución 217 de la III Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, de 10 de Diciembre de 1948¹⁶⁴, la Declaración Bioética de Gijón¹⁶⁵, de la Sociedad Internacional de Bioética, la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura¹⁶⁶ (UNESCO) y la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial¹⁶⁸, en su versión revisada del año 2008. Así mismo, la presente investigación ha sido aprobada por el comité ético de experimentación de la Universidad de Sevilla (**Anexo 3**).

Así pues, antes de su incorporación a nuestro estudio, todos los participantes fueron informados de forma verbal y por escrito acerca del procedimiento que se iba a llevar a cabo y firmaron un documento de consentimiento informado para participar en el estudio (**Anexo 4**). En el mencionado documento se recoge que han leído el texto de información que se les entrega, que han podido hacer preguntas sobre el estudio, que han recibido suficiente información sobre el mismo, que han hablado con la investigadora, que comprenden que su participación es voluntaria, y que pueden retirarse del estudio cuando quieran sin tener que dar explicaciones.

Por otro lado, han dado su consentimiento para el tratamiento informatizado de la información obtenida con fines científicos, conforme a las normas legales. De acuerdo con la Ley 15/1999 de Protección de Datos de

Carácter Personal¹⁶⁹, la información que requerimos a los sujetos son los necesarios para realizar el estudio correctamente. No se revelará la identidad de ningún individuo bajo ningún concepto a personas externas a la investigación, así como tampoco sus datos. La colaboración es anónima, sin embargo, los sujetos están registrados en una lista de control, guardada por la investigadora principal y sólo se recurre a ella en los momentos imprescindibles.

4.5. Protocolo de Intervención y recogida de datos.

Todos los sujetos que han formado parte de este trabajo fueron informados sobre las características del mismo. Para ello, se les entregó un documento en el que se reflejan los objetivos, el desarrollo y posibles riesgos derivados del mismo. Una vez leído y aclaradas las dudas pertinentes, los individuos que accedieron de forma voluntaria a participar en el mismo, firmaron el consentimiento informado (**Anexo 4**).

Después, se realizó una entrevista directa así como el protocolo de exploración clínico necesarios para la inclusión/exclusión del sujeto en este estudio (**Anexo 5**). Esto permitió, por un lado, la obtención de datos generales y personales basándose en las respuestas de los sujetos, así como descartar la presencia de los criterios de exclusión anteriormente mencionados. Es importante señalar que cada individuo fue pesado y tallado por la misma persona y con la misma instrumentación, realizada por una enfermera de la Facultad de Medicina de la Universidad CEU-San Pablo de Madrid.

Si el sujeto se consideraba válido, se procedía a la realización de las mediciones palpatorias en bipedestación, mediante la identificación de una serie de puntos de referencia. Posteriormente, se tomaba una radiografía dorsoplantar en carga, y sobre la misma se realizaron otras marcas para obtener las mediciones radiológicas. Finalmente, se evaluó la planta del pie de forma estática mediante la plataforma de presiones Footchecker. Debido a la necesidad de realizar radiografías en sujetos sanos se optó por someterlo a consideración al Comité

Ético pertinente de la Universidad de Sevilla, que avaló el trabajo al cumplir el mismo los requisitos legales correspondientes (**Anexo 3**).

Todas las mediciones palpatorias y radiológicas fueron realizadas por dos individuos diferentes, en tres ocasiones separadas en el tiempo.

4.6. Variables de Estudio.

Las variables analizadas se pueden dividir en variables sociodemográficas, variables obtenidas mediante la exploración clínica, variables radiológicas y variables de presión tal y como se resume en **la tabla 1**.

Variables	Concepto
Edad	Medida en años
Sexo	Categorizada en hombre o mujer
Altura	Medida en metros
Peso	Medida en kilogramos
Test 1 Manual	Longitud de las diferencias entre la protrusión distal del primer y segundo dedos del pie obtenida de forma manual
Fórmula Digital Palpatoria	Sus valores son pie egipcio, pie griego y pie cuadrado.
Test 2 Manual	Longitud de las diferencias entre la protrusión distal del primer y segundo metatarsianos del pie obtenida de forma manual
Fórmula Metatarsal Palpatoria	Sus valores son pie índice plus, índice minus e índice plus-minus.
Longitud 1 Manual	Longitud total del primer dedo expresada en centímetros y obtenida de forma manual.
Longitud 2 Manual	Longitud total del segundo dedo expresada en centímetros y obtenida de forma manual.
Test 1 Radiológico	Longitud de las diferencias entre la protrusión distal del primer y segundo dedos del pie obtenida de forma radiológica.
Test 1 Radiológico Contorno	Longitud de las diferencias entre la protrusión distal del primer y segundo dedos del pie incluyendo el contorno obtenida de forma radiológica.
Test 2 Radiológico	Longitud de las diferencias entre la protrusión distal del primer y segundo metatarsianos del pie obtenida de forma radiológica.
Longitud 1 Radiológica	Longitud total del primer dedo expresada en centímetros y obtenida de forma radiológica.
Longitud 1 Radiológica Contorno	Longitud total del primer dedo incluyendo el contorno expresada en centímetros y obtenida de forma radiológica.
Longitud 2 Radiológica	Longitud total del segundo dedo expresada en centímetros y obtenida de forma radiológica.
Longitud 2 Radiológica Contorno	Longitud total del segundo dedo incluyendo el contorno expresada en centímetros y obtenida de forma radiológica.
Zona de Presión Máxima de cada pie	Categorizada en 10 zonas según el esquema de Cavanagh <i>et al</i> ¹⁴⁷ .
Zona de Presión Máxima del antepié	Categorizada en 3 zonas según el esquema de Cavanagh <i>et al</i> ¹⁴⁷ .
Presión Máxima del pie	Valor máximo de presión medido en kilopascales localizado en cualquier punto del pie.
Presión Máxima del antepié	Valor máximo de presión medido en kilopascales localizado en cualquier punto del antepié.
Presión media del pie	Valor medio de la presión de cada pie medido en kilopascales.

Tabla 1. Variables de estudio

4.6.1. Variables sociodemográficas:

- **Edad:** Variable cuantitativa continua medida en años.
- **Sexo:** Variable cualitativa nominal dicotómica que presenta las categorías hombre y mujer.
- **Altura:** Variable cuantitativa continua medida en metros.
- **Peso:** Variable cuantitativa continua medida en kilogramos.

4.6.2. Variables obtenidas mediante la exploración clínica:

- **Test 1 Manual:** Variable cuantitativa continua que expresa las diferencias en milímetros respecto a la protrusión distal entre los dos primeros dedos del pie realizado de forma manual. Con estos datos se categoriza la fórmula digital palpatoria.
- **Fórmula digital palpatoria:** Variable cualitativa nominal politómica obtenida mediante la resta de las dos mediciones del test 1 del primer y segundo dedo de cada pie realizadas de forma manual. Sus valores son pie egipcio (cuando el primer dedo protruye más que el segundo), pie griego (el segundo dedo protruye más que el primero), pie cuadrado (primer y segundo dedo de idéntica longitud). Las diferencias comprendidas entre ± 2 mm fueron consideradas como pie cuadrado¹³.
- **Test 2 Manual:** Variable cuantitativa continua que expresa en milímetros las diferencias respecto a la protrusión distal a nivel de las cabezas metatarsales del primer y segundo dedos del pie obtenidos de forma manual. Con estos datos se categoriza la fórmula metatarsal palpatoria.
- **Fórmula metatarsal palpatoria:** Variable cualitativa nominal politómica obtenida mediante la resta de las mediciones de los test 2 del primer y segundo metatarsianos obtenidas de forma manual. Sus valores son índice

plus (primer metatarsiano protruye más que el segundo), índice minus (primer metatarsiano protruye menos que el segundo) e índice plus minus (primer y segundo metatarsianos de igual longitud). Las diferencias comprendidas entre ± 2 mm fueron consideradas como pie índice plus minus¹⁰⁶.

- **Longitud 1 Manual:** Variable cuantitativa continua obtenida restando 2 cm al valor obtenido en el test 2 manual para el primer metatarsiano. Se corresponde con la longitud total del primer dedo obtenida de forma manual.
- **Longitud 2 Manual:** Variable cuantitativa continua obtenida restando 2 cm al valor obtenido en el test 2 manual para el segundo metatarsiano. Se corresponde con la longitud total del segundo dedo obtenida de forma manual.

4.6.3. Variables radiológicas:

- **Test 1 Radiológico:** Variable cuantitativa continua que expresa las diferencias en milímetros respecto a la protrusión distal entre los dos primeros dedos del pie obtenidas de forma radiológica. Con estos datos se categoriza la fórmula digital radiológica real.
- **Fórmula digital radiológica real:** Variable cualitativa nominal politómica obtenida mediante la resta de las dos mediciones obtenidas de la radiografía dorsoplantar del test 1 del primer y segundo dedo de cada pie considerando el final de la falange distal. Sus valores son pie egipcio (primer dedo protruye más que el segundo), pie griego (segundo dedo protruye más que el primero), pie cuadrado (primer y segundo dedo de idéntica longitud). Las diferencias comprendidas entre ± 2 mm fueron consideradas como pie cuadrado¹³.

- **Test 1 Radiológico Contorno.** Variable cuantitativa continua que expresa las diferencias en milímetros respecto al final del contorno de los dos primeros dedos del pie obtenidas de forma radiológica. Con estos datos se obtiene la variable fórmula digital radiológica del contorno de los dedos.

- **Fórmula digital radiológica del contorno de los dedos:** Variable cualitativa nominal politómica obtenida mediante la resta de las dos mediciones obtenidas de la radiografía dorsoplantar del test 1 del primer y segundo dedo de cada pie considerando el contorno de los dedos. Sus valores son pie egipcio (primer dedo protruye más que el segundo), pie griego (segundo dedo protruye más que el primero), pie cuadrado (primer y segundo dedo de idéntica longitud). Las diferencias comprendidas entre ± 2 mm fueron consideradas como pie cuadrado¹³.

- **Test 2 Radiológico:** Variable cuantitativa continua que expresa en milímetros las diferencias respecto a la protrusión distal a nivel de las cabezas metatarsales del primer y segundo dedos del pie obtenidos de forma radiológica. Con estos datos se categoriza la fórmula metatarsal radiológica.

- **Fórmula metatarsal radiológica:** Variable cualitativa nominal politómica obtenida mediante la resta de las mediciones obtenidas de la radiografía dorsoplantar de los test 2 del primer y segundo metatarsianos. Sus valores son índice plus (primer metatarsiano protruye más que el segundo), índice minus (primer metatarsiano protruye menos que el segundo) e índice plus minus (primer y segundo metatarsianos de igual longitud). Las diferencias comprendidas entre ± 2 mm fueron consideradas como pie índice plus minus¹⁰⁶.

- **Longitud 1 Radiológica:** Variable cuantitativa continua que expresa en milímetros dicha longitud obtenida de forma radiológica desde la línea articular metatarsofalángica hasta el final de la tercera falange. Se corresponde con la longitud total del primer dedo obtenida de forma radiológica.
- **Longitud 1 Radiológica Contorno:** Variable cuantitativa continua que expresa en milímetros dicha longitud obtenida de forma radiológica desde la línea articular metatarsofalángica hasta el contorno del primer dedo. Se corresponde con la longitud total del primer dedo incluyendo el contorno obtenida de forma radiológica.
- **Longitud 2 Radiológica:** Variable cuantitativa continua que expresa en milímetros dicha longitud desde la línea articular metatarsofalángica hasta el final de la tercera falange. Se corresponde con la longitud total del segundo dedo obtenida de forma radiológica.
- **Longitud 2 Radiológica Contorno:** Variable cuantitativa continua que expresa en milímetros dicha longitud desde la línea articular metatarsofalángica hasta el contorno del segundo dedo. . Se corresponde con la longitud total del primer dedo incluyendo el contorno obtenida de forma radiológica.

4.6.4. Variables de presión:

- **Zona de presión máxima de cada pie:** Variable cualitativa nominal politómica que clasifica la planta del pie en 10 zonas diferentes según el esquema de Cavanagh *et al*¹⁴⁷.
- **Zona de presión máxima del antepié:** Variable cualitativa nominal politómica que clasifica la zona del antepié plantar en 3 zonas diferentes

que se corresponden con las cabezas metatarsales, según el esquema de Cavanagh *et al*¹⁴⁷.

- **Presión máxima de la totalidad del pie:** Variable cuantitativa continua, medida en kilopascales (kpa), correspondiente al valor máximo de la presión localizado en cualquiera de las 10 zonas según el esquema de Cavanagh *et al*¹⁴⁷.
- **Presión máxima del antepié:** Variable cuantitativa continua, medida en kpa, correspondiente al valor máximo de la presión localizada en cualquiera de las 3 zonas correspondientes a las cabezas metatarsales según el esquema de Cavanagh *et al*¹⁴⁷.
- **Presión media de cada pie:** Variable cuantitativa continua, medida en kpa, correspondiente al valor medio de la presión de cada pie.

Para el registro de los valores se utilizó la ficha de recogida de datos (**Anexo 6**) dividiéndose los valores en palpatorios, radiológicos y obtenidos mediante plataforma de presión.

4.7. Descripción del Método de Valoración.

En la primera fase de este trabajo, se recogieron en primer lugar las mediciones palpatorias, seguidas de las radiológicas. Para ello, se realizó el protocolo descrito por Davidson *et al*¹⁴. Primero se colocó al individuo en sedestación en una camilla hidráulica y, mediante la palpación, se procedió a la identificación con un lápiz demográfico de 3 puntos de referencia por cada pie necesarios para las mediciones posteriores, que son la cresta dorsal de la primera articulación metatarsofalángica, la cresta dorsal de la segunda articulación metatarsofalángica y la cara medial del tubérculo del escafoides. A continuación

y mediante el uso de un calibre, se realizaron otras marcas como el trazado de sendas líneas en la mitad de cada uña del primer y segundo dedo del pie, y la que se traza en el calcáneo (**Figura 14**). Para la realización de esta última referencia, se marcaron previamente dos puntos, uno en la base del calcáneo, y el otro 5 cm más arriba; dichas marcas se unen dando como resultado una línea vertical que identifica el centro del calcáneo.

Después, el individuo permaneció de pie en una posición de referencia que fue la empleada para la realización de cada uno de los dos test manuales. Para ello colocó sus pies sobre papel milimetrado (DIN-A 3 ó 4 en función del tamaño del pie del individuo), en el que previamente se han realizado sendas marcas de referencia que coinciden con la realizada en el calcáneo y la que se realizó en la mitad de la uña del segundo dedo. De esta manera el pie se encuentra en una posición estándar de referencia (**Figura 15**). En aquellos casos en los que los dedos o la posición del pie era incorrecta, se procedió a la recolocación del individuo.



Figura 14. Puntos de referencia para los diferentes test.



Figura 15. Posición estándar de referencia para los test.

A continuación se realizaron los dos test palpatorios, empleados para determinar las diferencias entre las longitudes digitales y metatarsales del primer y segundo dedos del pie. Todas las mediciones fueron realizadas por dos fisioterapeutas y podólogos entrenados en la realización de los test⁹. Estos test sirvieron para poder clasificar los distintos pies en función de su fórmula digital y metatarsal reales. Cada fisioterapeuta-podólogo realizó 3 mediciones en días diferentes para cada uno de los test.

- **Test 1: Medición de las diferencias entre el final del primer y segundo dedo.** Una vez colocado el pie en la posición de referencia, y mediante el empleo de una escuadra colocada al final del primer dedo, se conservó la alineación del mismo con las líneas del papel milimetrado. Después con una espátula humedecida en tinta azul, se realizó una marca para identificar el final del primer dedo, intentando hacer una línea paralela a las del papel milimetrado. Después se repitió el procedimiento en idénticas condiciones con el segundo dedo (**figura 16**). Las diferencias entre el final de ambos dedos se determinaron mediante la medición en milímetros empleando una regla (**figura 17**). Si la diferencia entre estas dos líneas resultaba una cifra superior a cero indicaba que sería el primer dedo el de mayor longitud; si resultaba igual a cero el primer y segundo dedo eran de idéntica longitud, y si el resultado era inferior a cero, el segundo dedo sería el más largo. Dado

que se trataba de un método que utiliza referencias obtenidas mediante la palpación que pueden estar sujetas a variaciones, las diferencias comprendidas entre ± 2 mm en esta primera prueba, fueron consideradas como pie cuadrado, o lo que es lo mismo primer dedo y segundo de idéntica longitud tal y como establecieron Ogilvie-Harris *et al*¹³.



Figura 16. Marcando el final del segundo dedo

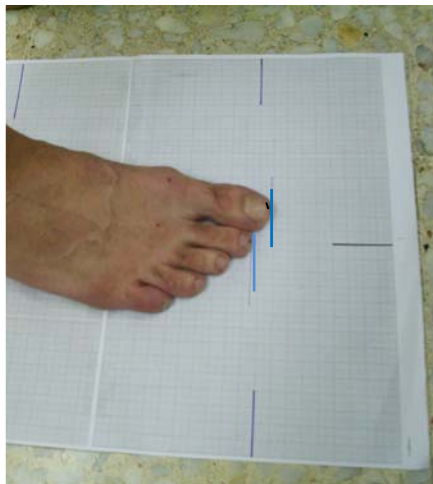


Figura 17. Líneas resultantes del test 1 que, posteriormente y mediante una regla, se restaron.

- **Test 2 o Medición de las diferencias entre el final del primer y segundo metatarsianos.** Con el pie en la posición de referencia y según Davidson *et al.*⁴¹, se trazó una línea horizontal en color negro paralela a 2 cm de distancia de la marca realizada en el test 1 que identificaba el final del

primer dedo. Mediante el uso de un calibre se midió la distancia en milímetros entre dicha línea negra y la marca en la articulación metatarsofalángica del primer dedo (2 I) A continuación, se repitió el proceso desde la segunda articulación metatarsofalángica hasta la línea negra (2 II) (**figura 18**). Posteriormente se restaba a 2 II lo obtenido en 2 I para obtener las diferencias entre las longitudes de ambos metatarsianos. Este test sirvió para medir las diferencias entre el final del primer y segundo metatarsianos a un punto externo situado a 2 cm de la marca trazada en el test anterior para la identificación del primer dedo. También se empleó para saber qué metatarsiano era más largo, siendo el valor positivo cuando era el primero, igual a cero cuando eran de idéntica longitud y negativo cuando lo era el segundo. Igualmente, en esta segunda prueba las diferencias en las mediciones podían verse influenciadas por la realización de las marcas (basadas en la palpación), la colocación de la escuadra y del calibre, o incluso la posición del observador a la hora de cuantificar el resultado en milímetros. Por este motivo, las diferencias comprendidas entre ± 2 mm fueron consideradas como pie índice plus minus, o lo que es lo mismo, aquellas en las que la protrusión de la primera y segunda cabezas metatarsales es la misma¹⁰⁶. Este test fue empleado para identificar la fórmula metatarsal real⁹.



Figura 18. Test 2: Midiendo la distancia desde las cabezas metatarsales.

Después se realizó una radiografía dorsoplantar estandarizada en carga^{33,57,109}, con una distancia foco-placa de 100 cm y centrado a nivel de las articulaciones tarso-metatarsales, de acuerdo con los criterios del Comité de Mediciones y Terminología de la American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)^{75,109}.

La inclinación del tubo del rayos X fue de 15° respecto a la vertical^{34,57,97,108,170}.

Los pies de cada sujeto se colocaron juntos sobre el mismo chasis^{33,96,109,116,170}.

El aparato utilizado fue una unidad portátil de rayos-X Sedecal SPS HF-4.0®, con colimador. Este equipo opera a potencial constante de alta frecuencia y en línea monofásica. Presenta el modo de control de dos puntos por selección de kilovoltios y el producto miliamperios-segundo.

Los parámetros de la radiación empleada fueron 45 KV y 4 mAseg, empleando delantal plomado para prevenir de irradiación del resto del organismo.

Los cassettes utilizados fueron Kodak X-Omatic® de 24 x 30 cm con pantalla de intensificación regular. Los chasis se escogieron de este tamaño porque permitían obtener la imagen dorsoplantar de ambos pies en carga.

En cuanto a las **mediciones radiológicas**, para poder estimar las diferencias en cuanto a la protrusión digital y metatarsal del primer y segundo dedo a partir de la radiografía dorsoplantar en carga, se procedió a emplear un sistema lo más parecido posible a los test 1 y 2. En el caso de la protrusión metatarsal, se utilizó el sistema descrito por Morton⁹⁰, posteriormente empleado por Nilsonne³⁸ y Sanner¹¹, midiendo la distancia entre las tangentes a las cabezas del primer y segundo metatarsianos perpendiculares al eje del segundo³⁰. Para ello, se utilizó un negatoscopio, un rotulador especial para radiografías y una regla^{3,105}. Sobre cada radiografía, cada uno de los evaluadores de forma independiente, realizó una serie de mediciones en tres ocasiones separadas en el

tiempo^{103,107,108}. Tras cada medición, se borraron las marcas realizadas sobre las mismas y se seleccionaba de forma aleatoria^{103,107,108}. Para la estimación de la protrusión digital y metatarsal, se utilizó el método más parecido al empleado por Davidson *et al*⁴¹. En el caso de la fórmula digital y metatarsal, se midió la distancia entre las tangentes a las falanges distales y al contorno de los dedos perpendiculares al eje del segundo metatarsiano. En el caso de la fórmula metatarsal, se midió la distancia entre las tangentes a las cabezas metatarsales del primer y segundo dedo. Para la medición de las longitudes radiológicas del primer y segundo dedos, se tomaron como referencia la línea articular metatarsofalángica hasta el final de los dedos¹¹⁴, incluyendo o no el contorno del mismo, en función del valor a medir.

En la **segunda fase** de este trabajo, se procede a la exploración en estática del sujeto en la plataforma de presión portátil (**figura 19**). Se trata de una plataforma Footchecker (Loran Engineering S.r.l.) de 48 x 48 de superficie, que consta de 2224 sensores y utiliza el sistema EMED. La máxima presión captada es de 450 kilopascales (kpa) y la temperatura de trabajo se sitúa entre los -5 °C y los +35 °C. Respecto al tiempo de captación a emplear, éste se sitúa entre 1 y 60 segundos. La plataforma de presión está conectada a un ordenador y permite la visualización de la pisada; además utiliza un software suplementario (Footchecker 3) que permite obtener datos sobre la presión plantar y la estabilometría. La fiabilidad de la misma ha resultado ser buena¹⁷¹⁻¹⁷³. Este tipo de plataforma se ubica dentro de los sistemas opticométricos o serie de instrumentos que registran e informatizan imágenes de video para el análisis de baropodografías o podografías de presiones, proporcionando un mapa de la presión en color de la planta del pie correspondiente a la presión ejercida en cada punto del pie tanto en estática como en dinámica. Colores como el rojo, representan los puntos de máxima presión, mientras que el azul se relaciona con las zonas de valor menor. De esta manera, permiten el estudio de diversas variables como la zona de máxima presión, la distribución de la carga en antepié y retropié, la superficie total plantar de cada pie, la proporción de carga en cada pie, etc⁹. Estos datos pueden ser anómalos al

explorar a un paciente, pudiendo indicar una enfermedad localizada en el miembro inferior o sistémica, o incluso ser factores de riesgo o predictivos del agravamiento de una patología⁸³. Además permiten almacenar el estudio de cada paciente para su posterior análisis.



Figura 19. Ordenador y plataforma

Para valorar las presiones plantares en estática, el sujeto se colocó en bipedestación sobre la plataforma, encontrándose los pies separados dos centímetros tomando como referencia unas marcas señaladas en la misma. El sujeto debió permanecer lo más quieto posible, con los brazos a lo largo del cuerpo, y con la mirada en la horizontal. Para ello, se situó una referencia en la pared, a una altura de 1,8 metros del suelo⁸⁵, a fin de conseguir que los sujetos no colocasen su cabeza en flexión o extensión, ya que esto puede provocar una disminución de la estabilidad, cambios en la actividad muscular y, por lo tanto, alteraciones en el equilibrio^{9,156,172}. Además se le pidió a cada sujeto que intentara distribuir de igual manera el peso entre ambos miembros inferiores^{129,147,155}.

Es importante señalar que la pantalla del ordenador se colocó de manera que el paciente no pudiera verla para no condicionar su postura. Una vez que se percibe que el sujeto se ha adaptado a dicha posición, se procedió a la captación en estática de la imagen de su huella plantar, empleándose un tiempo de duración de la prueba de 20 segundos. **(Figura 20).**



Figura 20. Posición de referencia sobre la plataforma

Se ha realizado una única medición, ya que un estudio previo^{84,172} ha demostrado una fiabilidad buena a partir de 15 segundos de duración. En el posterior análisis de los datos, la planta se dividió en diez regiones anatómicas según el esquema de Rodgers y Cavanagh^{4,9,147,173} (**figura 21**), y que se expone a continuación:

- Zona 1: Cara plantar del retropié interno del pie.
- Zona 2: Cara plantar del retropié externo del pie.
- Zona 3: Cara plantar del mediopie interno del pie.
- Zona 4: Cara plantar del mediopie externo del pie.
- Zona 5: Cara plantar de la primera articulación metatarsofalángica del pie.
- Zona 6: Cara plantar de la segunda articulación metatarsofalángica del pie.
- Zona 7: Cara plantar de los metatarsianos laterales del pie.
- Zona 8: Cara plantar del primer dedo del pie.
- Zona 9: Cara plantar del segundo dedo del pie.
- Zona 10: Cara plantar de dedos laterales del pie.

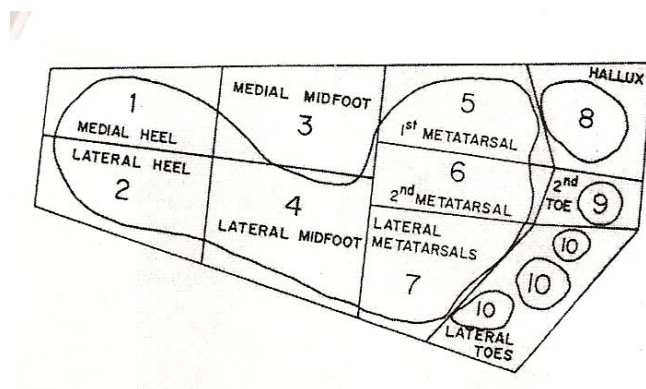


Figura 21. Zonas de la planta del pie según Rodgers y Cavanagh 1988⁴

Respecto a las variables de presión, se define la presión máxima total de cada pie o presión pico como el valor más grande⁸⁴ medido en kpa. Los valores de mayor presión aparecen en la pantalla en color rojo, mientras que los de menor valor se registran en azul (**figura 22**).

Dentro de las variables recogidas se registró el valor de la máxima presión en cada una de las diez zonas anteriormente señaladas y a nivel del antepié.



Figura 22. Imágenes de las presiones sobre la planta del pie. En rojo las zonas de mayor presión.

4.8. Análisis Estadístico

El análisis estadístico, se realizó empleando los paquetes estadísticos SPSS versión 18.0 para Windows y GraphPad InStat 3.06.

En **la primera fase**, se analizan las variables obtenidas mediante la palpación, así como las obtenidas mediante el examen radiológico, presentándose en primer lugar un descriptivo de las variables estudiadas mediante frecuencias y porcentajes en el caso de las variables cualitativas, así como medias, mínimos, máximos y desviaciones típicas, en el caso de tratarse de variables cuantitativas que se distribuyan normalmente. La mediana y la amplitud intercuartil se usaron en aquellas variables que no se ajustaron a la normal. En el caso de las variables cuantitativas, se realizó previamente la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de significación de Lillie Fors para valorar el grado de normalidad de una muestra determinada, considerando normal valores de $p > 0.05$. Los resultados de este análisis se muestran en los **Anexos 7 y 8**.

En caso de normalidad se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI), con un intervalo de confianza del 95%^{173,174} en el caso de los test 1 manual y radiológicos, al realizarse de la misma manera. En el caso de los test 2 obtenidos mediante palpación y radiografía, se utilizó también el CCI puesto que la variable a medir es la misma aunque obtenida mediante dos procedimientos diferentes. Se ha realizado el CCI bajo un modelo alfa de 2 factores con efecto mixto y tipo de consistencia de acuerdo absoluto.

En nuestro trabajo hemos considerado que valores del CCI en torno a 0,7 indican un buen nivel de concordancia entre cada par de evaluaciones^{173,174}.

Por otro lado, como complemento del estudio del CCI, hemos obtenido el Error Standard de Medición (ESM)¹⁷⁴ y el Cambio Mínimo Detectable (CMD).

Además, en ambos dos test se empleó también los análisis de Bland y Altman al tratarse de un estudio de concordancia entre dos sistemas de medición¹⁷⁵. Estos gráficos se muestran en los **Anexos 9, 10 y 11**. El estudio de la fiabilidad se realizó, en el caso de las variables cualitativas, mediante el índice de

Kappa de Cohen¹⁷⁶, empleándose como referencia los siguientes valores según la nomenclatura propuesta por Landis y Koch^{160,177}:

- < 0,2: pobre.
- 0.21-0.4: débil.
- 0.41-0.6: moderado.
- 0.61-0.8: bueno.
- 0.81-1: muy bueno.

En la **segunda fase**, en primer lugar se analizó la normalidad de nuestras variables cuantitativas (edad, peso, talla, valor de presión máxima de la planta del pie y presión media del pie, presión y carga del antepié y retropié, así como la presión máxima en cada una de las 10 zonas de la planta del pie) empleando la prueba de Kolmogorov-Smirnov (**Anexo 12**). Seguidamente hemos realizado un análisis descriptivo de dichas variables cuantitativas, considerando por separado los resultados de cada tipo de pie según la fórmula metatarsal (**Anexo 13**). En el caso de las variables que se ajustan a la normal se ha empleado la media y la desviación típica, y en aquellas que no se ajustan a la normal, la mediana y la amplitud intercuartil. También hemos realizado un análisis descriptivo de las variables cualitativas mostrando frecuencias y porcentajes según el tipo de pie. Posteriormente se analiza la homogeneidad de nuestros grupos en función de la variable fórmula metatarsal, en relación a la distribución por sexo de los sujetos y en cuanto a su edad, peso, talla, presión media y presión máxima de todo el pie (**Anexo 14**). Para ello hemos usado, en el caso de la variable sexo, la prueba Chi-cuadrado de Pearson y para el resto de variables, la prueba Anova de Kruskal-Wallis complementada con la prueba de Dunn. Por otro lado, para conocer si existen diferencias en función del tipo de pie según la fórmula metatarsal en las presiones plantares máximas de cada zona, hemos empleado la prueba Chi-cuadrado. Además se ha determinado si existen diferencias en las presiones máximas en función de la fórmula metatarsal en cada una de las diez zonas en las que hemos dividido la planta del pie. Para ello se ha utilizado la prueba Anova de Kruskal-Wallis complementada con la prueba de Dunn, y en el caso de la zona 2,

usamos la prueba Anova de un factor puesto que se ajustó a la normal (**Anexo 15**). También se ha analizado si existen diferencias en cuanto a la presión máxima en función de la fórmula metatarsal en las zonas 5, 6 y 7 que se corresponden con las zonas del antepié, utilizándose la prueba Chi-cuadrado.

Todos los test estadísticos se realizaron considerando un intervalo de confianza del 95% ($p\text{-valor} < 0,05$).

RESULTADOS

5. RESULTADOS

En este apartado exponemos todos los resultados obtenidos en los análisis que hemos llevado a cabo sobre nuestro objetivo de estudio. En primer lugar, abordamos los resultados obtenidos en la **primera fase** de nuestro trabajo (estudio de la fiabilidad intra e interobservador). Dentro de los mismos se muestran, por separado, los resultados de cada uno de los exploradores seguidos del estudio comparativo entre ambos. En la **segunda fase**, se describen los resultados entre la fórmula metatarsal y el porcentaje de carga en estático.

5.1. Sobre la fiabilidad intraobservador e interobservador de los procedimientos manuales y radiológicos para evaluar las protrusiones digitales y metatarsales.

En la primera parte de este apartado hemos realizado un análisis descriptivo de los datos obtenidos por cada explorador cuyos resultados se muestran en las **tablas 2 y 3**.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Típica
Test 1 Manual	-0,7	1,8	0,496	0,4682
Test Radiológico	-0,9	1,5	0,221	0,4856
Test Radiológico Contorno	-0,8	1,6	0,356	0,4363
Test 2 Manual	-1,1	2	-0,379	0,2642
Test 2 Radiológico	-0,9	0,4	-0,208	0,2516
Longitud 1 Manual	5,2	8,4	6,386	0,5947
Longitud 1 Radiológico	3,4	6,4	4,837	0,6315
Longitud 1 Radiológico Contorno	3,9	6,9	5,397	0,6653
Longitud 2 Manual	4,8	8,1	6,043	0,6855
Longitud 2 Radiológico	2,9	5,9	4,453	0,6278
Longitud 2 Radiológico Contorno	3,1	6,6	4,881	0,6747

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de los test realizados por el explorador 1.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Típica
Test 1 Manual	-0,7	1,8	0,483	0,4613
Test Radiológico	-1	1,5	0,211	0,4883
Test Radiológico Contorno	-0,8	1,6	0,355	0,4442
Test 2 Manual	-1	2	-0,401	0,2699
Test 2 Radiológico	-0,9	0,4	-0,208	0,2469
Longitud 1 Manual	3,6	8,4	5,617	1,0036
Longitud 1 Radiológico	3,5	6,4	4,836	0,6073
Longitud 1 Radiológico Contorno	4	7,1	5,412	0,6698
Longitud 2 Manual	4,7	8,1	6,030	0,7000
Longitud 2 Radiológico	2,9	5,9	4,467	0,6287
Longitud 2 Radiológico Contorno	3,1	6,3	4,903	0,6779

Tabla 3: Estadísticos descriptivos de los test realizados por el explorador 2.

A continuación exponemos los resultados del estudio de la concordancia existente entre las evaluaciones realizadas por el explorador 1 y 2, en cada uno de los test realizados (**tablas 4 y 5**). Para llevar a cabo este análisis hemos determinado en primer lugar, el valor del coeficiente Alpha de Cronbach y hemos empleado el coeficiente de correlación intraclase (CCI). También hemos incluido el Error Estándar de Medición (ESM)¹⁷⁷ y el Cambio Mínimo Detectable (CMD).

	Test	Alfa de Cronbach	CCI	ESM	CMD	Significación
Explorador 1	1 Manual	0,995	0,986	0,054	0,149	< 0,001
	1 Radiológico	0,996	0,987	0,054	0,149	< 0,001
	1 Radiológico Contorno	0,995	0,986	0,054	0,149	< 0,001
	2 Manual	0,968	0,911	0,083	0,230	< 0,001
	2 Radiológico	0,985	0,956	0,054	0,149	< 0,001
	Longitud 1 manual	0,991	0,972	0,316	0,875	< 0,001
	Longitud 1 Rx	0,997	0,991	0,054	0,149	< 0,001
	Longitud 1 Rx Contorno	0,997	0,991	0,063	0,174	< 0,001
	Longitud 2	0,994	0,982	0,094	0,260	< 0,001
	Longitud 2 Rx	0,997	0,991	0,063	0,174	< 0,001
	Longitud 2 Rx Contorno	0,997	0,992	0,063	0,174	< 0,001

Tabla 4: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de las evaluaciones realizadas por el Explorador 1.

	Test	Alfa de Cronbach	CCI	ESM	CMD	Significación
Explorador 2	1 Manual	0,994	0,983	0,063	0,174	< 0,001
	1 Radiológico	0,996	0,989	0,054	0,149	< 0,001
	1 Radiológico Contorno	0,996	0,987	0,054	0,149	< 0,001
	2 Manual	0,973	0,922	0,077	0,213	< 0,001
	2 Radiológico	0,985	0,955	0,054	0,149	< 0,001
	Longitud 1 manual	0,997	0,992	0,089	0,246	< 0,001
	Longitud 1 Rx	0,995	0,986	0,083	0,230	< 0,001
	Longitud 1 Rx Contorno	0,996	0,987	0,089	0,246	< 0,001
	Longitud 2	0,994	0,981	0,094	0,260	< 0,001
	Longitud 2 Rx	0,994	0,983	0,083	0,230	< 0,001
	Longitud 2 Rx Contorno	0,995	0,986	0,083	0,230	< 0,001

Tabla 5: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la evaluaciones realizadas por el Explorador 2.

Como podemos observar en **las Tablas 4 y 5** los valores obtenidos para el CCI nos sitúan en un nivel de concordancia alta y con una significación $p < 0,001$.

Seguidamente, se ha realizado una comparativa entre los test manuales y los radiológicos de cada uno de los exploradores (**tablas 6 y 7**). Los valores obtenidos para el CCI son altos en el caso de la comparativa de la protrusión digital entre primer y segundo dedo, pero descienden a 0,38 en el caso de la protrusión metatarsal entre ambos dedos en ambos exploradores, lo que se relaciona con CCI bajo. Respecto al explorador 1, se obtuvo un CCI alto en el caso de la comparativa manual y radiológica de la longitud del primer dedo del pie, y moderada en el caso de la comparativa manual y radiológica incluyendo el contorno. Respecto a la longitud del segundo dedo, se obtuvo un CCI moderado. En el caso del explorador 2, se obtuvo un CCI moderado en el caso de la comparativa manual y radiológica de las longitudes del primer dedo del pie, y un CCI bajo en el caso de la comparativa manual y radiológica del segundo dedo.

Test	Alfa de Cronbach	CCI	ESM	CMD	Significación
1 Manual x 1 Radiológico	0,920	0,853	0,184	0,510	< 0,001
1 Manual x 1 Radiológico Contorno	0,924	0,858	0,170	0,471	< 0,001
2 Manual x 2 Radiológico	0,558	0,387	0,202	0,559	< 0,001
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico	0,840	0,725	0,322	0,892	< 0,001
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico Contorno	0,803	0,671	0,361	1,000	< 0,001
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico	0,668	0,501	0,464	1,286	< 0,001
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico Contorno	0,672	0,506	0,477	1,322	< 0,001

Tabla 6: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la evaluaciones realizadas por el Explorador 1 en caso de los test manuales comparados con los radiológicos.

	Alfa de Cronbach	CCI	ESM	CMD	Significación
1 Manual x 1 Radiológico	0,907	0,830	0,194	0,537	< 0,001
1 Manual x 1 Radiológico Contorno	0,915	0,843	0,178	0,493	< 0,001
2 Manual x 2 Radiológico	0,560	0,389	0,202	0,559	< 0,001
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico	0,818	0,692	0,336	0,931	< 0,001
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico Contorno	0,785	0,646	0,379	1,050	< 0,001
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico	0,646	0,477	0,481	1,333	< 0,001
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico Contorno	0,657	0,489	0,492	1,363	< 0,001

Tabla 7: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la evaluaciones realizadas por el Explorador 2 en caso de los test manuales comparados con los radiológicos.

En la segunda parte de este apartado, se exponen los resultados del estudio de concordancia entre ambos exploradores (**tablas 8**). Los intervalos de confianza del CCI y ESM de cada una de estas tablas aparecen en los **anexos 16-20**.

Comparativa	Test	Alfa de Cronbach	CCI	ESM	CMD	Significación
Explorador 1 Explorador 2	1 Manual	0,995	0,991	0,044	0,121	< 0,001
	1 Radiológico	0,998	0,995	0,031	0,121	< 0,001
	1 Radiológico Contorno	0,996	0,991	0,044	0,121	< 0,001
	2 Manual	0,931	0,870	0,094	0,260	< 0,001
	2 Radiológico	0,997	0,993	0,000	0,000	< 0,001
	Longitud 1 manual	0,964	0,931	0,158	0,437	< 0,001
	Longitud 1 Radiológico	0,996	0,991	0,054	0,149	< 0,001
	Longitud 1 Radiológico Contorno	0,995	0,991	0,063	0,174	< 0,001
	Longitud 2	0,976	0,952	0,151	0,418	< 0,001
	Longitud 2 Radiológico	0,993	0,986	0,070	0,194	< 0,001
	Longitud 2 Radiológico Contorno	0,993	0,985	0,083	0,230	< 0,001

Tabla 8: Alfa de Cronbach, Coeficiente de Correlación Intraclase, ESM, CMD y significación de la comparativa de las evaluaciones realizadas por el Explorador 1 frente al 2.

La media de las longitudes del primer y segundo dedo de cada uno de los exploradores se muestra en **la tabla 9**.

	Explorador 1	Explorador 2
Longitud Primer Dedo Manual	6,38	5,61
Longitud Primer Dedo Radiológica	4,83	4,83
Longitud Primer Dedo Radiológica Contorno	5,39	5,41
Longitud Segundo Dedo Manual	6,04	6,03
Longitud Segundo Dedo Radiológica	4,45	4,46
Longitud Segundo Dedo Radiológica Contorno	4,48	4,90

Tabla 9. Longitudes del primer y segundo dedo del pie

A continuación se ha realizado la comparativa entre los valores de protrusión metatarsal y la fórmula metatarsal valorada de forma manual y radiológica, cuyos resultados se muestran en los **anexos 21-24**.

Respecto a los descriptivos de las variables cualitativas de las fórmulas digitales y metatarsales, los resultados aparecen en las **tablas 10, 11, 12, 13, 14,**

15, 16, 17, 18 y 19, predominando la tipología pie egipcio en el caso de la fórmula digital e índice minus en el caso de la fórmula metatarsal, entre las diferentes formas de obtener la fórmula.

Fórmula digital	Frecuencia	Porcentaje
Egipcio (1>2)	57	73 %
Griego (2>1)	5	6,5%
Cuadrado (1=2)	16	20,5%

Tabla 10. Frecuencia de las fórmulas digitales del explorador 1 (n=78).

Fórmula digital radiológica	Frecuencia	Porcentaje
Egipcio (1>2)	39	50%
Griego (2>1)	11	14,1%
Cuadrado (1=2)	28	35,9%

Tabla 11. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas del explorador 1 (n=78).

Fórmula digital radiológica incluyendo contorno	Frecuencia	Porcentaje
Egipcio (1>2)	48	61,5%
Griego (2>1)	7	9 %
Cuadrado (1=2)	23	29,5%

Tabla 12. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas incluyendo el contorno del explorador 1 (n=78).

Fórmula metatarsal	Frecuencia	Porcentaje
Índice plus (1>2)	0	0 %
Índice minus (2>1)	52	66,7%
Índice plus minus (1=2)	26	33,3%

Tabla 13. Frecuencia de las fórmulas metatarsales del explorador 1 (n=78).

Fórmula metatarsal radiológica	Frecuencia	Porcentaje
Índice plus (1>2)	3	3,8%
Índice minus (2>1)	40	44,9%
Índice plus minus (1=2)	35	51,3%

Tabla 14. Frecuencia de las fórmulas metatarsales radiológicas del explorador 1 (n=78).

Fórmula digital	Frecuencia	Porcentaje
Egipcio (1>2)	58	74,3 %
Griego (2>1)	5	6,5%
Cuadrado (1=2)	15	19,2%

Tabla 15. Frecuencia de las fórmulas digitales del explorador 2 (n=78).

Fórmula digital radiológica	Frecuencia	Porcentaje
Egipcio (1>2)	37	47,4%
Griego (2>1)	11	14,1%
Cuadrado (1=2)	30	38,5%

Tabla 16. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas del explorador 2 (n=78).

Fórmula digital radiológica incluyendo contorno	Frecuencia	Porcentaje
Egipcio (1>2)	48	61,5%
Griego (2>1)	8	10,3 %
Cuadrado (1=2)	22	28,2%

Tabla 17. Frecuencia de las fórmulas digitales radiológicas incluyendo el contorno del explorador 2(n=78).

Fórmula metatarsal	Frecuencia	Porcentaje
Índex plus (1>2)	0	0 %
Índex minus (2>1)	54	69,2%
Índex plus minus (1=2)	24	33,3%

Tabla 18. Frecuencia de las fórmulas metatarsales del explorador 2 (n=78).

Fórmula metatarsal radiológica	Frecuencia	Porcentaje
Índex plus (1>2)	0	0%
Índex minus (2>1)	54	69,2%
Índex plus minus (1=2)	24	30,8%

Tabla 19. Frecuencia de las fórmulas metatarsales radiológicas del explorador 2 (n=78).

La fiabilidad de las variables cualitativas se ha medido mediante el índice de Kappa de Cohen, tal y como se muestran en las **tablas 20, 21 y 22**. Como puede observarse en la **tabla 20**, el índice de Kappa en el explorador 1, fue moderado en el caso de la comparativa de la fórmula digital manual y radiológica, y débil en la comparativa de la fórmula digital manual y la radiológica incluyendo el contorno. Respecto a la comparativa de la fórmula metatarsal el índice de Kappa fue débil. En el caso del explorador 2 (**tabla 21**) el índice de kappa obtenido en todas las comparativas fue débil. Sin embargo, en la comparativa entre exploradores el índice de kappa fue muy bueno menos en la comparativa entre las fórmulas metatarsales donde fue bueno, tal y como muestra la **tabla 22**.

Combinación	Índice de Kappa	Significación
Fórmula digital x formula digital radiológica	0,419	< 0,001
Fórmula digital x formula digital radiológica con contorno	0,311	< 0,001
Fórmula metatarsal x formula metatarsal radiológica	0,244	< 0,001

Tabla 20. Resultados del Índice de Kappa del explorador 1 (n=78).

Combinación	Índice de Kappa	Significación
Fórmula digital x formula digital radiológica	0,387	< 0,001
Fórmula digital x formula digital radiológica con contorno	0,388	< 0,001
Fórmula metatarsal x formula metatarsal radiológica	0,263	< 0,001

Tabla 21. Resultados del Índice de Kappa del explorador 2 (n=78).

Combinación	Índice de Kappa	Significación
Fórmula digital explorador 1 y 2	0,845	0,000
Fórmula digital radiológica explorador 1 y 2	0,958	0,000
Fórmula digital radiológica con contorno explorador 1 y 2	0,976	0,000
Fórmula metatarsal explorador 1 y 2	0,765	0,000
Fórmula metatarsal radiológica explorador 1 y 2	0,928	0,000

Tabla 22. Resultados del Índice de Kappa del explorador 1 frente al explorador 2 (n=78).

5.2. Sobre la influencia de la fórmula metatarsal en las presiones que soporta el antepié en estática.

En este apartado se comprobó la normalidad y se realizó un análisis descriptivo de las variables que integran esta segunda fase (**anexos 12 y 13, y tabla 23**).

Zona Presión Máxima	Índex Plus	Índex Minus	Índex Plus- Minus	Total
Zona 1	0	48 (34.1%)	13 (52%)	61
Zona 2	2 (50%)	37 (26.3%)	3 (12%)	42
Zona 3	0	1(0.7%)	0	1
Zona 4	0	3(2.1%)	0	3
Zona 5	2(50%)	3(2.1%)	1(4%)	6
Zona 6	0	15(10.6%)	2(8%)	17
Zona 7	0	33(23.4%)	6(24%)	39
Zona 8	0	1(0.7%)	0	1
Zona 9	0	0	0	0
Zona 10	0	0	0	0
Total	4	141	25	170

Tabla 23. Descriptivo número de pies según fórmula metatarsal y zonas de presión máxima

Tal y como se observa en la **tabla 23**, dentro de la tipología índice minus, la zona de máxima presión apareció en el caso de la zona 1 (34.1 %), seguida de la zona 2 (26.3%) y la zona 7 (23.4%). En el caso de los índice plus minus, la zona de máxima presión fue la 1(52%) seguida de la 7 (24%). En el caso de los índice plus, las zonas de máxima presión fueron la 2 (50%) y la 5(50%). La prueba Chi-cuadrado señaló que sí existen diferencias significativas entre los tres tipos de pie según la fórmula metatarsal y la zona de máxima presión. Las diferencias aparecen al relacionar la tipología índice plus (4 únicos casos) con las otras fórmulas ($p=0.002$), mientras que en el caso de los índice plus minus con los índice minus el p -valor fue de 0,661. Se encontraron diferencias significativas en la zona 1 ó zona del retropié interno, entre los pies índice plus y las otras fórmulas metatarsales. Estas diferencias se deben a la tipología índice plus con las otras

fórmulas, al existir solamente 4 pies índice plus. Además en la zona 7 o zona de las cabezas metatarsales laterales, se encontraron diferencias significativas entre los pies índice plus y los índice plus minus. Se encontraron también diferencias a nivel descriptivo entre los índice plus e índice minus que no llegan a ser significativas. En el **anexo 15** figuran los resultados de la prueba Anova de Kruskal-Wallis complementada con la prueba de Dunn para determinar si existen diferencias significativas entre la presión máxima en cada una de las diez zonas del pie en función de la fórmula metatarsal.

Respecto al resto de las zonas del pie no existen diferencias significativas entre los 3 grupos según la fórmula metatarsal aunque sí existen diferencias a nivel descriptivo. Básicamente en las 10 zonas los pies índice minus y los índice plus minus se comportan del mismo modo con un patrón similar de presiones en todas las zonas, mientras que los índice plus se comportan de manera diferente. En las zonas 1, 2, 4, 6, 7, 9 y 10 los índice plus tienen menos presión máxima que los otros grupos. Sin embargo en las zonas 3 y 5 los índice plus tienen mayor presión máxima que los otros dos grupos (**Gráfico 25 del Anexo 25**).

También se analizó si existían diferencias entre los tres grupos de pies según su fórmula metatarsal y las presiones máximas captadas solamente a nivel del antepié, lo que se corresponde con las zonas 5, 6 y 7. La prueba Chi-cuadrado no mostró diferencias significativas entre los diferentes tipos de pie tal, pero en los gráficos **26, 27, 28 y 29 del anexo 25** figuran las frecuencias y porcentaje obtenidos. A nivel del antepié, 23 pies (13,5%) poseían el pico de presión máxima a nivel de la zona 5, 52 pies (30,6%) a nivel de la zona 6 y 95 pies (55,9%) a nivel de la zona 7. Analizando los grupos según la fórmula metatarsal y la presión máxima del antepié 25 fueron índice plus minus, 4 índice plus y 141 índice minus. Considerando solamente la presión máxima en la zona del antepié la zona más frecuente en la tipología índice plus minus e índice minus fueron las cabezas laterales, seguidas de la segunda cabeza metatarsal y la primera cabeza metatarsal con un patrón muy similar en ambas fórmulas. En la tipología índice plus se encontró mayor presión en la zona del retropié interno y en el primer dedo.

Respecto a la homogeneidad de los 3 grupos en función de la fórmula metatarsal en relación a su distribución por sexo de los sujetos y en cuanto a su edad, talla, peso, presión media y presión máxima hemos usado para la variable sexo la prueba de Chi-cuadrado de Pearson, y para las variables edad, talla, peso, presión máxima y presión media la prueba Anova de Kruskal-Wallis complementada con la prueba de Dunn. Tal y como puede comprobarse en el **anexo 14** no existen diferencias significativas en cuanto a la talla, presión media, presión máxima y edad. Respecto al peso existen diferencias significativas entre los pies tipo índice plus y los pies índice minus e índice plus-minus, no existiendo diferencias en el caso de las tipologías índice plus minus e índice minus. Respecto al sexo hemos analizado si existen diferencias significativas en la proporción de hombres y mujeres distribuidos en los tres grupos según la fórmula metatarsal. De los 170 pies incluidos en esta segunda fase, 70 pertenecen a hombres y 100 a mujeres, lo que supone un 41,1% y un 58,9 % respectivamente en la distribución por sexo de estos pies. Dentro de los hombres 10 pertenecen a la tipología índice plus minus (14,3%) y 60 a índice minus (85,7%). Dentro de las mujeres 15 son índice plus minus (15%), 4 índice plus (4%) y 81 índice minus (81%). Se comprobó que no existían diferencias significativas en cuanto al sexo y la fórmula metatarsal en los tres tipos de pie al ser el valor de p de 0,232.

DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN.

En este apartado abordamos en primer lugar la fiabilidad y la concordancia de los procedimientos empleados, así como los valores de protrusión digital y metatarsal encontrados en nuestro trabajo comparados con los empleados por otros autores. Posteriormente, analizamos la influencia de la fórmula metatarsal en las presiones del pie en estática. Finalmente describimos aquellos aspectos que consideramos relevantes de nuestro trabajo y aquellos otros que constituyen limitaciones, planteando la prospectiva futura a seguir.

6.1. Sobre la fiabilidad intraobservador e interobservador de los procedimientos manuales y radiológicos para evaluar las protrusiones digitales y metatarsales.

En nuestra investigación hemos elegido para el estudio de la fiabilidad intraobservador e interobservador, una técnica basada en métodos palpatorios frente a una forma de medición de tipo radiológico. El cálculo de la fiabilidad tanto intraobservador como interobservador tanto de las mediciones manuales como de las radiológicas ha presentado unos valores muy altos. Todos los valores del CCI han sido superiores a 0.9 menos en el caso del test 2 manual de la comparativa entre exploradores (0.87). Esto nos lleva a determinar que el empleo de dichas técnicas de medición y los resultados obtenidos son válidos para nuestro estudio. Podemos afirmar, por tanto, que el empleo de las técnicas palpatorias empleadas en nuestro trabajo constituyen un instrumento fiable para medir los valores de protrusión relativa entre la posición final del primer y segundo dedos del pie así como de la primera y segunda cabezas metatarsales.

La fiabilidad intraobservador^{97,103,107,108,110} e interobservador^{102,109,111} de las técnicas radiológicas se ha estudiado en diferentes trabajos, mostrando una fiabilidad alta. Según Bryant *et al.*^{107,108} si se emplea un protocolo estandarizado, no existen diferencias significativas cuando las mediciones son realizadas por un

mismo observador o por varios observadores. Según Saltzman¹⁰⁹ y Taranto¹⁰³, la fiabilidad interobservador ofrece más errores que la intraobservador; sin embargo, esta última sirve para describir mejor los errores de los exploradores del estudio. Es importante señalar, que las fuentes primarias de contradicción a la hora de realizar las mediciones, son intrínsecas al proceso empleado: identificación de puntos de referencia, marcación de dichos puntos y dibujo de líneas, lectura del calibre, regla o goniómetro, la exposición de las radiografías a la luz, la posición del pie respecto al rayo central y al casete, etc. Así, pueden minimizarse errores estandarizando la técnica radiológica, el equipo empleado y el método de medición¹⁰³. Según Brage¹⁷⁸, la experiencia influye en la fiabilidad intraobservador, aunque otros autores no opinan lo mismo¹⁷⁹.

Respecto a la fiabilidad de las técnicas palpatorias empleadas en este estudio se han tomado como referencia dos de los 3 test empleados en el estudio previo realizado por Davidson *et al.*¹⁴ con 36 pies pertenecientes a 18 sujetos seleccionados sin criterios de inclusión ni exclusión, es decir, a conveniencia del examinador. Precisamente este estudio fue utilizado como referente por la autora del presente trabajo⁹, en su estudio realizado en 2008, con 202 pies. Los resultados del CCI de Davidson *et al.*¹⁴ y Martínez⁹ para el test 1 fueron de 0.98 en ambos autores, mientras que los del test 2 fueron de 0.67 y 0.87 respectivamente^{9,14}. En el presente trabajo, los valores del CCI de las técnicas manuales para el test 1, obtuvieron un valor de 0.98 en el caso de la comparativa intraobservador y de 0.99, en el caso de la interobservador. En el caso del test 2 se obtuvieron valores superiores a los de Davidson *et al.*¹⁴ y Martínez⁹, con valores de 0.91 en el explorador 1, 0.92 en el explorador 2 y 0.87 en la comparativa entre exploradores. Solamente se ha encontrado un estudio previo² que valoraba la fiabilidad interobservador de las técnicas palpatorias, empleado para valorar la longitud metatarsal desde el tubérculo del escafoides a las cabezas metatarsales del primer y segundo dedos, con resultados de CCI de 0.36, cifra superada por los resultados de nuestro trabajo. Esto explica en gran medida que, aunque ambos test manuales 1 y 2 son precisos, aspectos como la palpación, la

identificación y dibujo de referencias a nivel de las cabezas metatarsales, así como la colocación correcta del calibre, pueden condicionar los resultados obtenidos, especialmente en el caso del test 2^{9,14}. Además el examinador debe colocarse siempre en idéntica posición a la hora de la lectura de la medición, para evitar que sea errónea.

6.2. Sobre la concordancia entre los procedimientos manuales y radiológicos para evaluar las protrusiones digitales y metatarsales.

En cuanto a la concordancia entre las mediciones manuales y radiológicas, en el caso del test 1 (protrusión digital) se han obtenido valores superiores a 0.8 en los resultados de ambos exploradores en el análisis intraobservador, lo que se corresponde con un CCI alto^{173,174}. Sin embargo, en el caso del test 2 (protrusión metatarsal) se obtuvieron valores de 0.38 en ambos exploradores, lo que se corresponde con CCI bajo^{173,174}. En el caso de las longitudes del primer dedo los valores del CCI fueron de 0.725 y 0.671 en el caso del explorador 1 y de 0.692 y 0.646 en el explorador 2. Sin embargo, los valores del CCI respecto a las longitudes del segundo dedo en el explorador 1 fueron de 0,501 y 0,506 y de 0.477 y 0.489 en el explorador 2. Todos estos valores se corresponden con un grado de fiabilidad moderada^{173,174}.

Considerando la comparativa entre las técnicas palpatorias y las radiológicas, solamente hemos encontrado un estudio previo con una muestra de 30 pies, donde se compara la posición de las cabezas metatarsales mediante la palpación y radiografías dorsoplantares en carga. Spooner *et al.*¹⁰ localizaron el aspecto más distal palpable de la cabeza metatarsal del primer dedo del pie, que marcaron con un lápiz dermatográfico. A continuación, realizaron la misma operación para el resto de las cabezas metatarsales de los dedos menores. De esta manera, establecieron la posición relativa metatarsal de cada metatarsiano, desde el más largo al más corto. Realizaron el mismo procedimiento sobre las radiografías, mediante el empleo de papel de calco, un lápiz y una iluminación

posterior a las mismas. Al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos se consideró que el método palpatorio era válido y preciso. Sin embargo, dicho método no proporcionó una evaluación adecuada de la posición metatarsal relativa en el 100% de las mediciones, apareciendo todos los errores a la hora de identificar la posición de los metatarsianos que poseían longitud idéntica¹⁰.

En relación a la comparativa entre las mediciones manuales y las radiológicas, se han encontrado diferentes estudios que comparan la fiabilidad intraobservador e interobservador de las mismas utilizando mediciones angulares y no longitudes como en nuestro trabajo. Así, autores como Piqué *et al.*¹⁸⁰, Farber *et al.*¹⁸¹ y Panchbhavi y Trevino¹⁸² consideran que las mediciones digitales son más precisas que las mediciones manuales para pequeñas mediciones angulares, realizadas sobre radiografías de pie. Condon *et al.*¹⁷⁹ consideran que el error intraobservador es muy superior al interobservador, y que pueden verse influenciado por factores como la experiencia, la habilidad para interpretar las radiografías la variabilidad de las diferentes técnicas. Así, puede lograrse una mejora de la fiabilidad de las mediciones mediante la realización de la técnica de forma cuidadosa, realizar al menos dos mediciones así como un promedio de valores, motivo por el cual en nuestro trabajo hemos empleado 3 mediciones diferentes de cada test, para establecer la fiabilidad intraobservador e interobservador.

A la hora de comparar las diferencias entre las 3 mediciones realizadas en cada uno de los test, se obtuvieron diferencias comprendidas entre $\pm 0,2$ mm en el caso del explorador 1, en el “test 1 manual” y “test 1 radiológico”. En el caso del explorador 2 las diferencias se encontraron en el “test 1 manual”, “test 1 radiológico” y “test 1 radiológico contorno”, lo que nos informa sobre la precisión de la técnica, obteniéndose valores de un rango más amplio y menor precisión en los test restantes. En el caso del explorador 1, el “test 1 radiológico contorno” osciló entre -0,4 a 0,5 mm. Estos valores justifican la utilidad de la técnica en la práctica clínica como herramienta de medida.

6.3. Sobre los valores de protrusión digital y metatarsal en los procedimientos manuales y radiológicos.

El dato sobre la media de la protrusión digital entre el primer y segundo dedo medido mediante test palpatorios ya fue previamente estudiado por nosotros⁹, al no encontrar ninguna referencia previa en la bibliografía, obteniendo valores de 1,3 mm tanto en el caso de que el primero fuera más largo que el segundo, como en el caso de que lo fuera el segundo dedo. En el presente trabajo los valores del explorador 1 han sido de 0,50 mm en el caso de la protrusión del primer dedo respecto al segundo y de -0,40 mm en el caso de la protrusión del segundo respecto al primero (**tabla 24**). En caso del explorador 2, los valores han sido de 0,6 mm en el caso de la protrusión del primer dedo respecto al segundo y de -0,4 mm en el caso de la protrusión del segundo respecto al primero (**tabla 25**). Esta diferencia de valores puede deberse a que las muestras de nuestro anterior trabajo y del que ahora presentamos son diferentes (202 pies frente a 78 pies).

Explorador 1	Test 1 Manual	Test 1 Radiológico	Test 1 Radiológico Contorno
Protrusión 1º sobre 2º	0,50 mm	0,50 mm	0,50 mm
Protrusión 2º sobre 1º	-0,40 mm	-0,40 mm	-0,40 mm

Tabla 24. Media de protrusión del test 1 del explorador 1

Explorador 2	Test 1 Manual	Test 1 Radiológico	Test 1 Radiológico Contorno
Protrusión 1º sobre 2º	0,62 mm	0,50 mm	0,51 mm
Protrusión 2º sobre 1º	-0,36 mm	-0,39 mm	-0,43 mm

Tabla 25. Media de protrusión del test 1 del explorador 2

Respecto a los valores medios de protrusión del “test 1 radiológico” y “test 1 radiológico contorno” no se ha encontrado ninguna referencia bibliográfica previa. En el presente trabajo, los valores obtenidos por el explorador 1 en cada uno de los tres test han sido exactamente iguales y muy similares en el caso del explorador 2, lo que justifica en cierta manera la precisión entre ambas formas de

medir. Es importante señalar que los diferentes autores emplean valores de referencia distintos para clasificar los pies según las fórmulas digitales y metatarsales. Así, Oztekin *et al.*⁷, consideraron a los pies con un primer dedo ± 2 mm mayor o menor respecto al segundo como primer dedo más largo o más corto que el segundo; sin embargo en nuestro trabajo las diferencias comprendidas entre ± 2 mm se han considerado como pie cuadrado, o lo que es lo mismo, que la protrusión distal del primer y segundo dedo es la misma. Es importante dejar claro que este test sirve solamente para identificar la protrusión distal del primer dedo respecto al segundo, sin precisar si es por la longitud de las falanges, metatarsianos u otra estructura.

Analizando los resultados del test 2, la diferencia máxima de protrusión fue de $\pm 4,5$ mm tanto en el estudio de 2008⁹, como en el que presentamos ahora, mejorando los resultados encontrados por Davidson *et al.*¹⁴ donde se encontraron diferencias de hasta 12 mm. Respecto a los valores del presente trabajo sobre la comparativa entre las 3 mediciones realizadas en el “test 2” y “test 2 radiológico”, los resultados en el caso del explorador 1 fueron de $\pm 0,3$ mm y $\pm 0,2$ mm, respectivamente. En el caso del explorador 2 fueron de $\pm 0,4$ mm y $\pm 0,2$ mm, respectivamente, reflejando estos resultados que las mediciones fueron realizadas de forma precisa.

Los valores de protrusión metatarsal relativa entre el primer y segundo metatarsiano y viceversa de cada uno de los test manual y radiológico, se muestran en las **tablas 26 y 27**, siendo los resultados muy parecidos entre sí, lo que justifica la precisión de los mismos.

Explorador 1	Test 2 Manual	Test 2 Radiológico
Protrusión 1° sobre 2°	0,13 mm	0,18 mm
Protrusión 2° sobre 1°	-0,39 mm	-0,36 mm

Tabla 26. Media de protrusión del test 2 del explorador 1

Explorador 2	Test 2 Manual	Test 2 Radiológico
Protrusión 1° sobre 2°	0,13 mm	0,18 mm
Protrusión 2° sobre 1°	-0,45 mm	-0,35 mm

Tabla 27. Media de protrusión del test 2 explorador 2

En nuestro trabajo previo de 2008⁹, y empleando este método palpatorio, el valor medio en el caso de primer metatarsiano mayor que el segundo fue de 1,75 mm, y de 1,45 mm en el caso del segundo más largo que el primero.

Otros autores han presentado datos sobre la protrusión metatarsal pero con métodos exclusivamente radiológicos. Así, Harris y Beath²⁵ encontraron una media de protrusión metatarsal del primero respecto al segundo y viceversa de 3 mm, con diferencias que oscilaban entre -10 a 12 mm en ambos casos. La mayoría de los autores encuentran las diferencias de protrusión relativa entre ambos metatarsianos en el rango de ± 2 mm^{57,59,75,93,94,96,106,139,144,183}, encontrándose nuestros resultados dentro de dicho rango. Hardy y Clapham⁹¹ y Mancuso *et al.*⁹⁸ encontraron una media de protrusión del primer metatarsiano respecto al segundo de 2 mm en pies sanos. Domínguez *et al.*¹²⁰ establecieron una diferencia de 1,88 mm de protrusión media del segundo respecto al primero. Zgonis *et al.*¹⁰² encontraron una media de protrusión del segundo sobre el primero de 1,7 mm. Bryant *et al.*¹⁰⁷ encontraron valores de protrusión del segundo respecto al primero de 1,13 mm. Munuera⁴⁷ encontró valores de protrusión entre ambos metatarsianos de 1,33 mm y Domínguez³⁰ de 0,58 mm en hombres y de 1,43 mm en mujeres, con un valor de normalidad de 0,94 mm. Saragas y Becker¹¹⁶ encontraron valores de 0,82 mm de protrusión del primero sobre el segundo. Autores como Roukis *et al.*¹⁰⁶, Novel y Ogalla⁹⁶, Mancuso *et al.*⁹⁸ y Calvo *et al.*¹⁴² consideran valores de protrusión normales dentro del rango ± 2 mm, siendo el metatarsiano largo cuando la protrusión metatarsal supera valores de 2 mm y corto cuando es inferior a 2 mm. Mancuso *et al.*⁹⁸ clasificaron la protrusión metatarsal en 4 grupos considerando la longitud del primer metatarsiano: grupo 1, cuando el primero es al menos 2mm más corto que el segundo; grupo 2 cuando el primero tiene una longitud entre 2 mm más corto e igual al segundo; grupo 3 cuando el primero tiene una longitud igual y hasta 2 mm más largo que el segundo y grupo 4 cuando el primero es más de 2 mm más

largo que el segundo. Grady *et al.*¹⁴³ sin embargo, consideran al metatarsiano largo a partir de 1 mm de protrusión. Nilsonne *et al.*³⁸, aunque no señalan valores de normalidad respecto a la protrusión del primer y segundo metatarsianos, concluyen que en el pie normal, es más frecuente un primer metatarsiano más corto que el segundo. Este criterio lo comparten otros autores como Heden y Sorto⁹², quienes obtuvieron un valor medio de protrusión del primero sobre el segundo de -1,77 mm, siendo menor el primero respecto al segundo. Bryant *et al.*¹⁰⁷ obtuvieron valores de -1,13 mm en caso de un primer metatarsiano más corto que el segundo.

Otros autores consideran que el método de medición influye en que el metatarsiano sea considerado más largo^{25,91,98,118}. Así Chauhan *et al.*¹¹⁰ compararon 3 métodos diferentes para valorar la protrusión metatarsal (método de Hardy y Clapham, método de Coughlin y método de Maestro) encontrando que las diferencias entre los tres oscilan entre 1 y 5,5 mm. Además los errores intraobservador e interobservador fueron más pequeños en el caso del método de Coughlin y más grandes en el de Hardy y Clapham, siendo considerado el método Coughlin más fácil y sencillo de realizar y muy similar al método de Morton¹¹⁰. Sobre este mismo punto, Bhutta *et al.*¹¹¹ consideraron que de los 3 métodos analizados, los mayores valores de protrusión del segundo respecto al primero se encontraron en el caso del método Coughlin, seguido del de Maestro y el de Hardy, proporcionando este último los mayores valores de retracción del segundo metatarsiano.

Munuera *et al.*¹¹⁹ consideran que la protrusión metatarsal no es una medición absoluta, sino una medición de la longitud del primer metatarsiano relativa al segundo, siendo los valores de protrusión y de longitud del primer metatarsiano superiores cuando existe un sesamoideo bipartito o un primer segmento metatarso-digital más largo de lo normal¹⁰¹. Domínguez³⁰, recomienda obtener los valores de protrusión medios del primer metatarsiano respecto a la longitud del segundo radio en milímetros, establecidos en porcentajes, para poder extrapolar los resultados obtenidos a toda la población de forma fiable. Otros autores diferencian entre el concepto de longitud absoluta y longitud relativa, considerando en esta última la metodología empleada por Domínguez^{97,100,101,120}.

Así Munuera *et al.*¹⁰⁰ exponen que cuando un primer metatarsiano se considera que es excesivamente largo en longitud absoluta, no quiere decir que sea más largo que el segundo, sino que el primer metatarsiano es más largo que los valores normales, y aún así, es más corto que el segundo.

Respecto a la utilidad del test 2, sirve para saber qué metatarsiano es más largo, siendo el valor positivo cuando es el primero, y negativo cuando es el segundo. Como ya adelantamos en nuestro trabajo de 2008⁹, aunque no lo realizamos, también se puede utilizar para cuantificar las longitudes de las falanges de cada uno de los dedos en total (es decir, de las dos falanges en el caso del primer dedo, y de las tres en el caso del segundo dedo), si se restara a la longitud total de este test los 2 cm que se utilizaron para realizar la línea de referencia negra según la **figura 18** del apartado material y método. De esta manera, puede emplearse para cuantificar la longitud en milímetros de cada uno de los dedos en el primer test. Sin embargo, no sirve para cuantificar la longitud de los metatarsianos puesto que sólo considera una parte final de los mismos⁹.

En el presente trabajo los datos encontrados respecto a la longitud de los dedos se muestran en la **tabla 8**. En el caso del primer y segundo dedos las medias de las mediciones manuales del explorador 1 fueron de 6,38 cm y 6,04 cm, mientras que en el caso del explorador 2, fueron de 5,61 cm y 6,03 cm, no encontrándose ningún estudio previo para poder realizar una comparativa. Respecto a las mediciones radiológicas de ambos dedos, las medias del explorador 1 fueron de 4,83 cm y 4,45 cm, mientras que en el explorador 2 fueron de 4,83 cm y 4,46 cm, encontrándose dentro de los rangos descritos por otros autores (4 a 6,3 cm) como Alonso *et al.*⁹⁴, Ilstrup *et al.*¹⁸⁴ y Maxwell *et al.*¹⁸⁵ que registraron la longitud total del primer dedo en el pie adulto, no encontrándose referencias respecto a la longitud total del segundo. Otros autores como Munuera *et al.*^{100,101} en dos estudios diferentes, y Zgonis *et al.*¹⁰² encontraron valores ligeramente superiores a los de nuestro estudio, con valores de longitud del primer dedo de 5,67 cm, 5,64 cm y 5,79 cm respectivamente. Estos datos reflejan que las mediciones radiológicas proporcionar valores inferiores a las manuales, de ahí que la concordancia sea de un nivel más bajo. Respecto a la inclusión o exclusión del contorno del dedo a la hora

de considerar la longitud total de los mismos, tampoco se ha encontrado ninguna referencia al respecto. El hecho de incluir el contorno de los dedos se debe a que el “test 1 manual” empleado a la hora de cuantificar la longitud de los dedos, se realiza considerando la protrusión de ambos dedos entre sí empleando la espátula, siendo un método directo de palpación.

En relación a la clasificación de los diferentes tipos de pies según su protrusión a nivel distal o de las cabezas metatarsales, los resultados de nuestro trabajo muestran una mayor predominancia de los pies tipo egipcio, seguidos del pie cuadrado y griego, en ambos exploradores y en todas las fórmulas. Estos datos coinciden con los encontrados en nuestro trabajo de 2008⁹. A nivel de la fórmula metatarsal, son los pies índice minus los más prevalentes seguidos de los índice plus-minus e índice plus en ambos exploradores, siguiendo la misma prevalencia que ya estudiamos anteriormente⁹.

El grado de concordancia intraobservador en el caso del explorador 1 entre las diferentes formas de clasificar la fórmula digital, ha demostrado ser moderado en el caso de los resultados de la fórmula digital palpatoria y la fórmula digital radiológica. Sin embargo, fue débil al relacionar la fórmula digital palpatoria con la radiológica incluyendo el contorno, y en el caso de la fórmula metatarsal palpatoria y la radiológica. En el caso del explorador 2, los resultados muestran también una concordancia débil. Esto puede deberse al hecho de haber clasificado de forma diferente a un mismo individuo en cada fórmula, y a la distinta manera de realizarse el test a nivel palpatorio, puesto que el sujeto se coloca en carga sobre el papel milimetrado, mientras que el radiológico se realiza directamente sobre la radiografía. Esto explica, en gran medida, que el hecho de incluir el contorno de las falanges distales en las mediciones radiológicas no es relevante a la hora de considerar los resultados obtenidos. Si bien en ambos métodos (palpatorios y radiológicos) la destreza del examinador es muy importante, al ser necesaria mucha concentración a la hora de identificar la posición de las cabezas metatarsales. En ambos casos, la vista puede distorsionar la información, de ahí la

importancia de la colocación por parte del examinador a la hora de realizar la valoración. Sin embargo, en el caso del análisis interexplorador la concordancia es muy buena en todos los casos y buena en el caso de la fórmula metatarsal.

Llegado este punto, es importante recordar que, a la hora de proceder a la clasificación de los pies según la fórmula digital, se ha considerado que los valores comprendidos en ± 2 mm se correspondieran con pies cuadrados según el criterio de Ogilvie-Harris *et al.*¹³ y a la hora de la fórmula metatarsal se consideraron que los valores comprendidos entre ± 2 mm se correspondieran con pies índice plus-minus¹⁰⁶. Muchas veces el método empleado condiciona el tipo de pie. Así Fonseca *et al.*¹⁸⁶ analizando 3 formas diferentes de mediciones radiológicas con una muestra de 186 pies, encontró una mayor prevalencia de la tipología índice plus en una de ellas en comparación con las otras dos, donde prevalecía el tipo índice minus. Además el criterio empleado a la hora de clasificar los pies, en función de la fórmula digital y metatarsal, también difiere entre autores. A diferencia de nuestro trabajo, otros autores como Nilsonne *et al.*³⁸, Viladot^{22,52,73}, Domínguez³⁰ y Munuera *et al.*¹¹⁹ clasifican los pies en índice plus minus cuando las diferencias de protrusión de la primera y segunda cabezas metatarsales son menores o iguales a 0,5mm; índice plus cuando el primero es superior 0,5 mm respecto al segundo e índice minus cuando es inferior al segundo 0,5 mm. En este último caso se establece una prevalencia de la tipología índice plus (71,5%) sobre los índice minus (19,6%) e índice plus-minus (8,9%) tanto en el grupo control de estos trabajos, como en el conjunto de la muestra total.

6.4. Sobre la influencia de la fórmula metatarsal en las presiones que soporta el pie en estática.

En relación a los resultados obtenidos, existe una mayor predominancia de la tipología índice minus en todas las zonas, al ser la fórmula metatarsal más frecuente en la muestra a estudio. Por otro lado, se encontraron diferencias

significativas a nivel del retropié interno entre los pies índice plus y las otras fórmulas metatarsales y a nivel de las cabezas metatarsales laterales entre la tipología índice plus y la tipología índice plus minus. Se encontraron también diferencias a nivel descriptivo entre los índice plus e índice minus que no llegan a ser significativas.

La mayoría de los estudios señalan que la presión en el talón es superior al resto de las zonas del pie, siendo la región externa del mediopié donde se registran los valores más bajos^{148,149}, estando nuestros resultados en consonancia con dichos valores. En el presente trabajo las presiones más elevadas se han registrado en el retropié interno y externo (81,1 y 74,3 kPa respectivamente) seguidas de las cabezas metatarsales laterales (69,8 kPa), segunda cabeza metatarsal (57,5kPa) y primera cabeza metatarsal (40,12 kPa). Por el contrario las presiones más bajas se han localizado en los pulpejos de los dedos laterales, pulpejo del segundo dedo, mediopié interno, mediopié externo y pulpejo del primer dedo (**anexo 13**).

Una vez analizada la presión en los diferentes grupos de pies, encontramos que existen diferencias significativas en la zona 1 o retropié interno (entre los pies índice plus y el resto de fórmulas metatarsales) y en la zona 7 o cabezas metatarsales laterales entre los índice plus y la tipología índice plus minus, aunque se encontraron también diferencias a nivel descriptivo entre los índice plus e índice minus, que no llegaron a ser significativas. Antes de proceder a relacionar nuestros resultados con los de otros autores, realizamos un análisis de los diferentes esquemas empleados para clasificar las zonas de la superficie plantar, además de los métodos empleados para obtener los valores de presión plantar.

Respecto a los esquemas para analizar los resultados de las zonas de máxima presión a nivel plantar existen diferentes corrientes. La mayoría de los autores^{9,18,147,150,187-189,190} dividen la superficie plantar en 10 zonas según el esquema de Cavanagh *et al.*⁴ que son retropié interno, retropié externo, mediopié interno, mediopié externo, primera cabeza metatarsal, segunda cabeza metatarsal, tercer a quinta cabezas metatarsales, primer dedo y dedos menores. Sin embargo autores como Putti *et al.*^{191,192}, emplean 10 zonas diferentes: talón, mediopié, una

zona por cada cabeza metatarsal, primer dedo, segundo dedo y dedos laterales. Kaipel *et al.*¹¹⁴ dividen la planta del pie en 12 zonas: talón, mediopié, cada una de las cabezas metatarsales y cada uno de los dedos. Martínez *et al.*¹⁹³ dividen la superficie plantar en 9 zonas: talón, mediopié, una zona para cada cabeza metatarsal, dedos menores y primer dedo. Otros autores como Hessert *et al.*¹⁹⁴ emplean también 9 zonas pero las dividen en calcáneo medial, calcáneo lateral, arco medial, arco lateral, una zona para cada cabeza metatarsal, primer dedo y dedos menores. Scott *et al.*¹⁹⁵ utilizaron 7 zonas: talón, mediopié, primera cabeza metatarsal, segunda cabeza metatarsal, tercera a quinta cabezas metatarsales, primer dedo y dedos menores. Bennet *et al.*¹⁶ usaron 6 zonas: calcáneo medial, calcáneo lateral, primera cabeza metatarsal, segunda a cuarta cabezas metatarsales, quinta cabeza metatarsal y primer dedo. En ocasiones los autores⁶⁴ estudian sólo las presiones bajo la primera y segunda cabezas metatarsales, solamente de la primera a la cuarta¹⁹⁶ o analizan lo que ocurre a nivel metatarsal bajo cada una de ellas sin considerar ni el mediopié ni el retropié¹⁵².

En relación a los métodos empleados para el estudio de las presiones plantares, se han realizado trabajos que emplean plataformas de presión captando los valores de presión plantar en estática^{153-156,188,189}, mientras que otros autores han utilizado plataformas de presión en dinámica^{64,114,187,195,196}. Además, se han encontrado estudios en estática^{152,194} y dinámica^{191-194,199,200} que emplean plantillas instrumentadas.

Diferentes autores como Duckworth *et al.*²⁰¹, señalan que los picos de presión en un pie normal adulto durante la bipedestación aumentan con la edad y se sitúan dentro del rango de 61-108 kPa. Autores como Cavanagh *et al.*¹⁴⁸, localizaron el pico máximo de presión a nivel del talón, siendo su valor de 139 kPa, siendo 2,6 veces superior al del antepié, ocupando la carga a nivel del talón el 60 % de la carga total frente al 28% del antepié. Grieve *et al.*¹⁵⁰ encontraron valores elevados a nivel del retropié interno y externo (138,9 kPa y 132,6 kPa) seguidos de las cabezas laterales (53,4 kPa), segunda cabeza metatarsal (51,8 kPa) y primera (38,4 kPa). Teh *et al.*¹⁸⁹ localizaron la zona de máxima presión en el

retropié, seguida de las cabezas metatarsales del primer, segundo y dedos laterales, obteniendo resultados similares a los del presente trabajo. Martínez^{193,200} y Putti *et al.*^{191,192} consideran que existe mayor presión en la zona del talón y en las cabezas metatarsales, pero los porcentajes entre dichas zonas no están claros respecto a la carga total y a la distribución de las cargas en el antepié, y de hecho autores como Morton¹³² opinan que el reparto entre el talón y el antepié era equitativo.

Los resultados de nuestro trabajo son similares a los de Grieve *et al.*¹⁵⁰ al registrarse el valor más elevado en retropié interno seguido de retropié externo, cabezas laterales, segunda cabeza y primera cabeza metatarsal. Además estos autores consideran que existe una correlación entre los picos de presión en determinadas cabezas metatarsales, entre el primer dedo y primera y segunda cabeza metatarsales, y entre las dos partes del mediopié. La presión bajo la primera cabeza metatarsal era un 23% menor que el pico de presión bajo los restantes metatarsianos, mientras que las presiones a nivel medial y lateral del talón fueron los valores más elevados. Otros autores encuentran mayor presión a nivel del talón, mediopié y región metatarsal en estática y dinámica^{153,154} pero Birtane y Tuna¹⁵⁶ encontraron mayor presión en la zona del antepié solamente.

Considerando solamente el antepié, la zona de presión máxima se localizó en las cabezas metatarsales laterales (55,9%) seguidas de la segunda cabeza metatarsal(30,6%) y la primera (13,5%). Pero para Grieve *et al.*¹⁵⁰, las presiones ordenadas de forma decreciente se localizan bajo el segundo metatarsiano, tercer metatarsiano, primer metatarsiano, cuarto y quinto. Minns y Craxford²⁰² y Cavanagh *et al.*¹⁴⁷ también sitúan a nivel del antepié los valores de máxima presión con valores de 67 a 79 kPa y de 53 kPa respectivamente. En el trabajo de Pérez *et al.*¹⁵², donde se analizó la relación entre la fórmula metatarsal y la carga en la planta del pie, captada en estática mediante el empleo de un podoscopio electrónico de alta resolución, la carga máxima se realizó en los metatarsianos centrales(segunda, tercera y cuarta cabezas metatarsales). Para ello se registró la carga puntual de la cabeza de los metatarsianos cifrada en porcentaje relativo a la

carga total ejercida en el antepié. El apoyo metatarsal en relación a la fórmula reflejó que existen diferencias significativas entre el apoyo de la primera y quinta cabezas metatarsales, entre la tipología *índex plus* y las otras fórmulas, siendo la carga mayor a nivel de la primera cabeza en el caso de los *índex plus* y menor en la quinta. Además de existir un predominio central del apoyo en todas las fórmulas, la carga a nivel del tercer metatarsiano es mayor en pies con *índex minus*, existiendo diferencias significativas en relación a los otros tipos de fórmula metatarsal. A nivel del segundo y cuarto metatarsianos los valores más altos se encontraron en el caso de los *índex plus*, existiendo diferencia significativa con las otras fórmulas; esto ocurre también en nuestro trabajo al existir diferencias significativas entre los *índex plus* e *índex plus minus* en la zona de las cabezas laterales.

Cavanagh *et al.*¹⁹⁸ opinan que cuando el segundo metatarsiano protruye más distalmente que el primero, se detectan menores valores de presión bajo el segundo que cuando ambos se sitúan al mismo nivel o cuando el primero se dispone más distal. En la misma línea en otro trabajo realizado, Cavanagh *et al.*¹⁴⁷ exponen que el punto de más presión del antepié en estático se sitúa bajo la cabezas metatarsales segunda y tercera, mientras que Henning y Milani consideran que se sitúa bajo la tercera cabeza metatarsal tanto en estática como en dinámica¹²². Autores como Kaipel *et al.*¹⁴⁴ en un estudio de pacientes con y sin metatarsalgia concluyen que la longitud metatarsal relativa no influye en la carga a nivel plantar, luego el aumento de la misma no se relaciona con aumento de carga a nivel de las cabezas metatarsales. Además encontraron menor carga bajo la primera cabeza metatarsal en el grupo de sintomáticos, pero sin embargo la carga no aumentó a nivel del segundo y tercer metatarsianos sino bajo el cuarto y quinto.

En dinámica, la plataforma EMED utilizada por Bryant *et al.*¹⁹⁰ mostró picos de presión en primer dedo, segunda y tercera cabezas metatarsales, talón, primera, cuarta y quinta cabezas metatarsales, dedos menores y finalmente mediopié. Autores como Plank *et al.*²⁰³, encontraron valores de presión normales bajo el antepié a nivel de la tercera, segunda y cuarta cabezas

metatarsales. Otros autores como Bryant *et al.*¹⁹⁰ consideran que las presiones máximas normales se localizan bajo el primer dedo y el segundo y tercer metatarsianos. Rai y Aggarwal²⁰⁴ encontraron valores de máxima presión a nivel del talón, seguido del mediopié y antepié en la fase de apoyo. Dentro del antepié la máxima presión se localizó bajo la segunda y tercera cabezas metatarsales, como en el caso de Woodburn y Helliwell²⁰⁵.

Analizando la homogeneidad de los grupos, podemos demostrar que al no existir diferencias entre los tres tipos de pies en las variables edad, talla, presión media, presión máxima y sexo, los tres grupos de pies son homogéneos. Solamente en la variable peso existen diferencias. Esto puede deberse a que en el grupo *índex plus* solamente hay 4 pies que corresponden a 4 mujeres diferentes cuya altura y peso es menor respecto a los otros grupos. En los otros grupos el porcentaje de hombres y mujeres es el mismo y no existen diferencias entre las variables de control. Es lógico pensar que existan diferencias entre el grupo *índex plus* y los otros porque normalmente las mujeres en términos medios son un poco más bajas en talla y pesan menos que un grupo donde haya hombres y mujeres en un porcentaje de 60-40%. Respecto al sexo según Betts *et al.*¹⁹⁷ la presión del retropié es mayor a la del antepié tanto en hombres como en mujeres. Gravante *et al.*¹⁵⁷ señalan que el pico de presión en mujeres es de 47,5 kPa y en hombres de 51,7 kPa. Otros autores como Periyamasy *et al.*¹⁸⁸ encontraron mayor presión en las mujeres en la zona del mediopié y en el caso de los hombres en el retropié. Putti *et al.*¹⁹¹ no encontraron diferencias entre el pico máximo de presión entre géneros. Ferrari *et al.*²⁰⁶ encontraron como Bennet y Duplock¹⁶, y Holmes *et al.*¹⁵ picos de presión bajo el primer dedo en mujeres. Para Pérez *et al.*¹⁵¹ existe un predominio central con valores mayores de apoyo del tercer metatarsiano en las mujeres, mientras que en varones aparecen a nivel de la primera cabeza metatarsal, siendo estadísticamente significativas para el primero, tercero y quinto metatarsianos. Por tanto la fórmula metatarsal influye en el apoyo metatarsal, registrándose mayor carga en el primer y segundo metatarsianos cuando el primero es más largo, y mayor sobrecarga central si es más corto. Grieve *et al.*¹⁵⁰

consideran que las mujeres ligeras pueden tener presiones plantares tan grandes como hombres pesados, existiendo una gran variabilidad entre individuos en la distribución de la presión siendo los picos de presión bajo un pie en estática un 30% del experimentado durante la marcha y un 16% del experimentado al correr.

Respecto a la presencia de hiperqueratosis, Woodburn y Heliwell²⁰⁵ en su estudio con plantillas y en el ámbito de la dinámica, no encontraron hiperqueratosis a nivel de las cabezas centrales, zona donde se localizó el pico de máxima presión. Según Rai y Aggarwal²⁰⁴, la presencia del hiperqueratosis en la zona plantar puede aumentar la presión plantar hasta un 30%. Para Rodgers y Cavanagh⁴, la zona de mayor presión en la zona del antepié captada en sujetos sanos y mediante una plataforma de presión en estático se sitúa bajo la segunda o resto de cabezas metatarsales, y no bajo el primer radio del pie. En nuestro trabajo de 2008⁹ así lo comprobamos, pero a diferencia de Rodgers y Cavanagh, no cuantificamos las zonas de máxima presión, sino que estimamos la presencia o no de zonas de máxima presión en las tres zonas del antepié (primera, segunda y cabezas metatarsales laterales). Sí encontramos resultados estadísticamente significativos a la hora de relacionar la presencia de hiperqueratosis y exceso de presión en dichas zonas, de manera que el exceso de presión en la zona de la segunda cabeza metatarsal se relacionó con aparición de hiperqueratosis en la segunda cabeza así como en la tercera, cuarta y quinta. Sin embargo, no encontramos resultados estadísticamente significativos que relacionaran la fórmula metatarsal ni con las zonas de hiperqueratosis, ni con las de exceso de presión en el caso de los pies índice minus señalados por la bibliografía como los que desarrollan mayores concentraciones de hiperqueratosis en la planta del pie¹. Por el contrario, cuando existe exceso de presión en la zona plantar de la segunda cabeza metatarsal en la tipología índice plus minus, se desarrollan hiperqueratosis en la zona de la segunda y resto de cabezas metatarsales laterales⁹. Autores como Weijers *et al.*¹⁵² consideraron que la existencia de la almohadilla plantar, desvía la carga a nivel metatarsal, especialmente si se asocia a un movimiento de flexión dorsal de los dedos, motivo por el cual no siempre coincide la posición de las

cabezas metatarsales con las zonas de mayor presión y esto puede influir en la presencia y/o localización de hiperqueratosis en la planta del pie.

6.5. Limitaciones y aspectos relevantes.

La principal limitación de este trabajo, tiene que ver con la metodología empleada para captar la presión plantar, ya que podríamos haber empleado un análisis en dinámica. De esta manera se podrían relacionar los valores de máxima presión en cada una de las zonas del pie con la presencia de hiperqueratosis que pudieran aparecer fruto de la sobrecarga sobre la superficie plantar, debido a las características de la marcha del individuo.

Por otro lado es importante destacar la fortaleza de nuestro trabajo, al encontrarse resultados de fiabilidad tan altos en la comparativa entre los procedimientos manuales de forma aislada y con los procedimientos radiológicos, cosa que nos permite emplear con seguridad el test 1 manual para poder cuantificar diferencias de protrusión fiables entre el primer y segundo dedos del pie.

6.6. Prospectiva.

Deseamos concluir el apartado de discusión de nuestra Tesis Doctoral, planteando la realización de diversos trabajos como continuidad del presente y en desarrollo de esta línea de investigación.

- Pretendemos complementar nuestro estudio mediante el análisis en dinámica de las presiones plantares para poder estudiar mejor si existe relación entre la presencia de hiperqueratosis y los puntos de máxima presión en las diferentes zonas de estudio. Además podría identificarse mediante punción la presencia de PGM en la musculatura peronea en el caso de sujetos que tuviesen la fórmula metatarsal índice minus, que a su vez, se relaciona también con la presencia de hiperqueratosis a nivel plantar.

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES.

Una vez finalizado nuestro estudio sobre la comparativa entre mediciones clínicas y radiológicas para obtener la protrusión digital y metatarsal, además de su correlación con el soporte de cargas a nivel plantar, planteamos las siguientes conclusiones:

- 1ª. La evaluación de las protrusiones digitales mediante procedimientos manuales presenta la misma fiabilidad que los procedimientos radiológicos de evaluación con valores de fiabilidad altos en todos los test empleados.
- 2ª. La evaluación de las protrusiones metatarsales mediante procedimientos manuales presenta una fiabilidad moderada respecto a los procedimientos radiológicos de evaluación.
- 3ª. La fórmula metatarsal influye en las presiones que soporta el pie en apoyo estático, existiendo diferencias significativas a nivel del retropié interno -en el caso de los índice plus comparados con los índice minus e índice plus minus- y en las cabezas metatarsales laterales, en el caso de los pies índice plus e índice plus minus.

RESUMEN

8. RESUMEN.

En el presente trabajo nos planteamos estudiar, por un lado, si la evaluación de las protrusiones digitales y metatarsales mediante procedimientos manuales presenta la misma fiabilidad que los procedimientos radiológicos de evaluación. Por otro lado, también hemos estudiado si la fórmula metatarsal influye en las presiones que soporta la planta del pie en apoyo estático. Para ello, hemos llevado a cabo en una primera fase, un estudio de concordancia entre los test palpatorios y los test radiológicos donde participaron dos evaluadores independientes, estableciéndose la fiabilidad intraobservador e interobservador. En la segunda fase del mismo, se establecieron si existen diferencias entre las presiones plantares y la fórmula metatarsal.

La población de estudio estuvo formada en la primera fase por 78 pies, y en la segunda fase por 170 pies. En la primera fase de nuestro trabajo, se recogieron las mediciones palpatorias según el protocolo descrito por Davidson *et al*¹⁴., seguidas de las radiológicas. En la segunda fase, se empleó una plataforma de presión portátil Footcheker, identificándose las zonas de mayor presión en cada una de las 10 zonas propuestas por Rodgers y Cavanagh⁴. Se ha realizado el análisis de los datos mediante técnicas descriptivas y de contraste, empleando los paquetes estadísticos SPSS versión 18.0 para Windows y GraphPad InStat 3.06.

Las pruebas estadísticas de la primera fase fueron la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lillie Fors para el análisis de normalidad de las variables cuantitativas. Además, se emplearon el coeficiente alfa de Cronbach y el Coeficiente de Correlación Intraclase, complementados con el Error Standard de Medición, el Cambio Mínimo Detectable y los análisis Bland y Altman, al tratarse de un estudio de concordancia entre dos sistemas de medición. Además estudiamos la fiabilidad de las variables cualitativas mediante el índice de Kappa de Cohen. En la segunda fase, tras analizar la normalidad de

las variables cuantitativas, se analizó la homogeneidad de los grupos de pies según la variable fórmula metatarsal, en relación a la distribución por sexo de los sujetos mediante la prueba Chi-cuadrado, y en cuanto a su edad, peso, talla, presión media y presión máxima de todo el pie, mediante la prueba Anova de Kruskal-Wallis complementada con la prueba de Dunn. Además para conocer si existen diferencias entre el tipo de pie según la fórmula metatarsal en las presiones plantares máximas de cada zona, hemos empleado la prueba Chi-cuadrado. Además para determinar la existencia de diferencias en las presiones máximas en función de la fórmula metatarsal en cada una de las diez zonas en las que hemos dividido la planta del pie, se ha utilizado la prueba Anova de Kruskal-Wallis complementada con la prueba de Dunn, o la prueba Anova de un factor según corresponda. Finalmente se analizaron las posibles diferencias en cuanto a la presión máxima en función de la fórmula metatarsal en las zonas 5, 6 y 7 que se corresponden con las zonas del antepié, utilizándose la prueba Chi-cuadrado.

La evaluación de las protrusiones digitales mediante procedimientos manuales presenta la misma fiabilidad que los procedimientos radiológicos con valores de fiabilidad altos en todos los test empleados. Sin embargo, la fiabilidad fue moderada en el caso de la comparativa entre los métodos manuales y radiológicos para la evaluación de la protrusión metatarsal. Podemos afirmar, por tanto, que el empleo de las técnicas palpatorias empleadas en nuestro trabajo constituyen un instrumento fiable para medir los valores de protrusión relativa entre la posición final del primer y segundo dedos y metatarsianos del pie. Por otro lado, la fórmula metatarsal influye en las presiones que soporta el pie en estática, al encontrarse diferencias significativas a nivel de la zona del retropié interno y en las cabezas metatarsales laterales.

REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Travell JG, Simons DG. Dolor y Disfunción Muscular. El manual de los Puntos Gatillo. Volumen 2. Extremidades inferiores. 1ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2004.
2. Glasoe WM, Allen MK, Kepros T, Stonewall L, Ludewing PM. Dorsal First Ray Mobility in Women Athletes with a History of Stress Fractures of the Second and Third Metatarsal. J Orthop Sports Phys Ther 2002; 32(11): 560-567.
3. Davitt JS, Kadel N, Sangeorzan BJ, Hansen ST, Holt SK, Donaldson-Fletcher E. An Association between Functional Second Metatarsal Length and Midfoot Arthrosis. J Bone Joint Surg 2005; 87 (4): 795-800.
4. Rodgers MM, Cavanagh PR. Pressure Distribution in Morton's Foot Structure. Medicine and Science in Sports and Exercise 1988; 21 (1): 23-28.
5. Decherchi P. Le Pied du Dudley Morton. La Presse Médicale 2005; 34 (22): 1737-1740.
6. Michaud TC. Foot Orthoses and Other Forms of Conservative Foot Care. 2nd ed. Baltimore: Williams and Wilkins; 1997.
7. Oztekin HH, Boya H, Nalcakan M, Ozcan O. Second-toe Length and Forefoot Disorders in Ballet and Folk Dancers. Journal of the American Podiatric Medical Association 2007; 97(5): 385-388.
8. Howse J. Disorders of the Great Toe in Dancers. Clin Sports Med 1983; 2(3):499-505.
9. Martínez CB. Análisis de la Fiabilidad Intraobservador de la Clasificación del Pie mediante las Fórmulas Digitales y Metatarsales a través de un Método Palpatorio [diploma de estudios avanzados]. Madrid: Universidad CEU-San Pablo; 2008.

10. Spooner SK, Kilmartin TE, Merriman LM. The Palpation Technique for Determination of Metatarsal Formula: A Study of Validity. *The Foot* 1994; 4(4): 198-200.
11. Sanner WH. Foot Segmental Relations and Bone Morphology. En: Christman RA (ed). *Foot and Ankle Radiology*. 1st ed. St. Louis: Churchill Livingstone; 2003.
12. Monreal D. Biometría del Esqueleto del Primer Radio del Pie [tesis doctoral]; Madrid: Universidad Alcalá de Henares; 2002.
13. Ogilvie-Harris DJ, Carr MM, Fleming PJ. The Foot in Ballet Dancers: The Importance of Second Toe Length. *Foot Ankle Int* 1995; 16 (3): 144-147.
14. Davidson G, Pizzari T, Mayes S. Reliability of Measuring First and Second Metatarsal and Toe Length. *The Foot* 2007; 17 (1): 32-37.
15. Holmes GB, Timmerman L, Willitis N. Practical Considerations for the Use of the Pedobarograph. *Foot Ankle* 1991; 12(2): 105-108.
16. Bennet P, Duplock L. Pressure Distribution Beneath the Human Foot. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 1993; 83(12): 674-678.
17. Pink MM, Jobe FW. The Foot/Shoe Interface. En: Guten GN, editor. *Running Injuries*. 1st ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 1997.p. 20-29.
18. Henning EM, Staats A, Rosenbaum D. Plantar Pressure Distribution Patterns of Young School Children in Comparison to Adults. *Foot Ankle* 1994; 15(1): 35-40.
19. Damiano DL, Abel MF, Fontaine J, Juhl G, Carmines D. Age Related Changes in Plantar Pressure during Gait and in Normally Developing Children. *Gait Posture* 1998; 7(2): 175-176.
20. Libotte M, Zygaz P, Giudici S, Noel B. Podometrie Electronique, Deux Annees d'experience : Rapport Preliminaire. *Acta Orthop Belg* 1992; 58(4): 448-452.

21. Comín M, Villarroya A, Pérez JM, Nerín S, Marco C. Análisis de las Presiones Plantares. Técnicas y Aplicaciones. Medicina de Rehabilitación 1999; 12 (3): 22-30.
22. Viladot A. Quince Lecciones sobre Patología del Pie. 1ª ed. Barcelona: Toray; 1989.
23. Henning EM, Cavanagh PR, Albert HT, Macmillan NH. A Piezoelectric Method of Measuring the Vertical Contact Stress Beneath the Human Foot. J Biomed Eng 1982; 4(3): 213-221.
24. Lord M, Hosein RB. Method for in-Shoe Shear Stress Measurement. J Biomed Eng 1992; 14:181-186.
25. Harris RI, Beath T. The Short First Metatarsal: its Incidence and Clinical Significance. J Bone Joint Surg 1949; 31 A(3): 553-565.
26. Morton DJ. Foot Disorders in General Practice. Journal of the American Association 1937; 109: 1112-1119.
27. Davies C, Davies A. The Trigger Point Therapy Workbook. 2nd ed. Oakland: New Harbinger Publications; 2004.
28. Cordeiro C, Muñoz-Barús JI, Wasterlain S, Cunha E, Vieira DN. Predicting Adult Stature from Metatarsal Length in Portuguese Population. Forensic Science International 2009; 193(1):131.e1-4.
29. McFadden D, Bracht MS. Sex and Race Different in the Relative Lengths of Metacarpals and Metatarsal in Human Skeletons. Early Human Development 2009; 85 (2): 117-124.
30. Domínguez G. Estudio de la Protrusión Metatarsal en el Adulto. Criterios de Normalidad [tesis doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2006.
31. Davidson G, Pizzari T, Mayes S. The Influence of Second Toe and Metatarsal Length on Stress Fractures at the Base of the Second Metatarsal in Classical Dancers. Foot Ankle International 2007; 28(10):1082-1086.
32. Lelièvre J, Lelièvre JF. Patología del Pie. 4ª ed. Barcelona: Toray-Masson; 1982.

33. Montagne J, Chevrot A, Galmiche JM. Atlas de Radiología del Pie. 1ª ed. Barcelona: Masson; 1984.
34. Berquist TH. Anatomy: Normal Variants and Basic Biomechanics. In: Berquist TH, editor. Radiology of the Foot and Ankle. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2000, p.1-40.
35. Palomo IC. Prevalencia del Hallux Abductus Valgus en las Mujeres de Edad Fértil. [tesis doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2007.
36. Oller A. La Fórmula Metatarsal y su Valor Predictivo en los Trastornos de la Marcha [tesis doctoral]. Barcelona: Universidad de Barcelona; 2.006.
37. Pareja JA. Análisis Anatómico y Clínico de la Osificación Postnatal del Primer Radio del Pie [tesis doctoral]. Madrid: Universidad de Alcalá de Henares; 2004.
38. Nilsonne H. Hallux Rigidus and its Treatment. Acta Orthop Scan 1930; 1: 295-302.
39. Glasoe WM, Yack HJ, Saltzman CL. Anatomy and Biomechanics of the First Ray. Phys Ther. 1999; 79 (9): 854-859.
40. Moreno JL. Podología General y Biomecánica. 1ª ed. Barcelona: Masson; 2003.
41. Rueda M. Los desequilibrios del Pie. 1ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2.004.
42. Núñez-Samper M, Llanos LF. Biomecánica, Medicina y Cirugía del Pie. 2ª ed. Barcelona: Ed Masson; 1997.
43. Samojla BG. Normal Anatomy of the Forefoot. En: Hetherington VJ, editor. Hallux Valgus and Forefoot Surgery. 1st ed. Melbourne: Churchill Livingstone; 1994: 7-38.
44. Spalteholz. Atlas de Anatomía Humana. Tomo I. 14ª ed. Barcelona: Ed. Labor SA; 1990.
45. Rouvière H, Delmas A. Anatomía Humana Descriptiva, Topográfica y Funcional. Tomo 3. 9ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 1994.
46. Valmassy RL. Clinical Biomechanics of the Lower Extremities. 1st ed. St Louis (MO): Mosby; 1996.

47. Munuera PV. Factores Morfológicos en la Etiología de Hallux Limitus y Hallux Abductus Valgus. [tesis doctoral]. Sevilla: Universidad de Sevilla; 2006.
48. Spalteholz. Atlas de Anatomía Humana. Tomo I. 14ª ed. Barcelona: Ed. Labor SA; 1990.
49. Latarjet M, Ruiz A. Anatomía Humana. Volumen I. 3ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1997.
50. Sarrafian SK. Sarrafian's Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional. 2nd ed. Philadelphia, Pa: JB Lippincott Co; 1983.
51. Anwar R, Anjum SN, Nicholl JE. Sesamoids of the Foot. *The Foot*. 2005; 19(1): 40-48.
52. Viladot A. Patología del antepié. 4ª ed. Barcelona: Springer-Verlag Ibérica; 2001.
53. Coughlin MJ. Sesamoids and Accessory Bones of the Foot. In Mann RA, Coughlin MJ eds. *Surgery of the Foot and Ankle*. 6th ed. St Louis: Mosby; 1999.
54. Phillips D. Biomechanics. En: Hetherington VJ, editor. *Hallux Valgus and Forefoot Surgery*. 1st ed. New York: Churchill Livingstone; 1994.p 39-66.
55. Shereff MJ. Radiographic Analysis of the Foot and ankle. En: Jahss MH, editor. *Disorders of the Foot and Ankle. Medical and Surgical Management*. Philadelphia: WB Saunders; 1991; vol1. p. 91-108.
56. Calvo de Cos A. Estudio de Casos y Controles para la Evaluación de la Asociación de Parámetros Morfológicos del Pie y la Presencia de Hallux Rigidus [tesis doctoral]. Tarragona: Universidad Rovira y Virgili; 2005.
57. LaPorta G, Melillo TV, Olinsky D. X-Ray Evaluation of Hallux Abductus Valgus Deformity. *J Am Podiatry Assoc* 1974; 64:544-566.
58. Ogalla JM, Zalacaín AJ. Técnicas Radiológicas en Podología 1991; II (5): 229-237.

59. Palladino SJ. Preoperative Evaluation of the Bunion Patient: Etiology, Biomechanics, Clinical and Radiographic Assesment. In: Gerbert J, editor. *Textbook of Bunion Surgery*. 2nd ed. New York: Futura Publishing Company 1991, p.1-87.
60. Seibel MO. *Función del Pie. Texto Programado*. 1ª ed. Madrid: Ortocen Editores; 1994.
61. Morton DJ: Significant Characteristics of the Neanderthal Foot. *Nat Hist* 1926; 26:310-314.
62. Alcorisa O, Prats B, Vázquez FX, Verdaguer J, Vergés C, Vila RM. Alteraciones del Primer Radio en el Plano Sagital. Tratamiento Ortopodológico. *Revista Española de Podología* 2004; XV (5): 240-243.
63. Christensen JC, Jennings MM. Normal and Abnormal Function of the First Ray. *Clin Podiatr Med Surg*. 2009; 26(3):355-71.
64. Cornwall MW, McPoil TG, Fishco WD, O'Donnell D, Hunt L, Lane C. The Influence of First Ray Mobility on Forefoot Plantar Pressure and Hindfoot Kinematics During Walking. *Foot Ankle International* 2006; 27(7): 539-547.
65. Delgado PE. Artrosis de la Primera Articulación Cuneometatarsiana en un Paciente con Índice Minus. *Reduca* 2010; 2(2): 13-25.
66. Morton DJ. Metatarsus Atavicus. The Identification of a Distinctive Type of Foot Disorder. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1927; 9(5): 531-544.
67. Sarimo J, Orava S, Alamen J. Operative Treatment of Stress Fractures of the Proximal Second Metatarsal. *Scand J Med Sci Sports* 2007; 17(4): 383-386.
68. Brockwell J, Yeung Y, Griffith JF. Stress Fractures of the Foot and Ankle. *Sports Med Arthrosc Rev* 2009; 17(3): 149-159.
69. Hay SM, Harris NJ, Duckworth T. Freiberg's Disease Present in Adjacent Metatarsals. *The Foot* 1995; 5(2): 95-97.
70. Smith BW, Coughlin MJ. Disorders of Lesser Toes. *Sports Med Arthrosc Rev* 2009; 17(3): 167-174.

71. Coughlin M. Crossover Second Toe Deformity. *Foot Ankle* 1987; 8(1): 29-39.
72. McGlamary ED, Banks AS, Downey MS. *Comprehensive Textbook of Foot Surgery*. Vol 1. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1992.
73. Viladot A. *Lecciones Básicas de Biomecánica del Aparato Locomotor*. 4^a ed. Barcelona: Springer Ibérica; 2001.
74. Monreal-Redondo D, Fernández-Camacho FJ. Diaphyseal Nutrient Foramina in the First Metatarsals in Normal and Hallux Valgus Feet: Location and Surgical Implications. *Surg Radiol Anat*. 2003; 25 (3-4): 234-240.
75. Smith RW, Reynolds JC, Stewart MJ. Hallux Valgus Assessment. Report of the Research Committee of the American Orthopedic Foot and Ankle Society. *Foot Ankle*. 1984; 5 (2): 92-103.
76. Faure C. The Skeleton of the Anterior Foot. *Anat Clin*. 1981; 3: 49-65.
77. Báez-Prieto. *Apuntes de podología*. Escuela Oficial de Podología. Universidad Complutense de Madrid. 1974-1980.
78. Pizones FJ. *Estudio de la Osificación del Segundo Radio del Pie en la Edad Pediátrica [tesis doctoral]*. Madrid: Universidad de Alcalá de Henares; 2007.
79. Calderón F. Frecuencia de las alteraciones estáticas y dinámicas de los pies de 1000 asegurados de ambos sexos. *An Ortop Traum* 1974;(10):203.
80. Beeson P, Phillips C, Corr S, Ribbans WJ. Hallux Rigidus: A Cross-sectional Study to Evaluate Clinical Parameters. *The Foot* 2009; 19 (2): 80-92.
81. Martínez CB, Zuil JC, Martín JA. Estudio descriptivo sobre las fórmulas digitales y metatarsales. XI Jornadas Nacionales y I Congreso Internacional de Fisioterapia, Actividad Física y el Deporte [comunicación cartel]. Madrid, 2009.
82. Viladot A. *Diez lecciones sobre patología del pie*. Barcelona: Toray, 1979.

83. Orlin MN, McPoil TG. Plantar Pressure Assessment. *Physical Therapy* 2000; 80(4): 399-409.
84. Zuil JC, Martínez CB. Estudio de Fiabilidad y Descriptivo de las Variables de Presión Plantar mediante Plataforma de Presión. XI Jornadas Nacionales y I Congreso Internacional de Fisioterapia, Actividad Física y Deporte.[comunicación cartel]. Madrid, 2009.
85. Zuil JC, Martínez CB. Fiabilidad Intrasesión en la Exploración del Equilibrio mediante Plataforma de Presión. *Fisioterapia* 2011; 33(5): 192-197.
86. Llanos LF, Acebes JC. *El Pie*. 1ª ed. Barcelona: Masson SA; 1997.
87. Zequera M, Garavito L, Sandham W, Bernal JC, Rodríguez A, Jiménez LC *et al*. Diabetic Foot Prevention: Repeatability of the Loran Platform Plantar Pressure and Load Distribution Measurements in Nondiabetic Subjects during Bipedal Standing-A Pilot Study. *Journal of Electrical and Computer Engineering* 2011. Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/jece/2011/136936/>. [fecha de consulta marzo de 2012].
88. Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D. Between-day Reliability of Repeated Plantar Pressure Distribution Measurements in a Normal Population. *Gait and Posture* 2008; 27(4): 706-709.
89. Grebing BR, Coughlin MJ. Evaluation of Morton's theory of Second Metatarsal Hypertrophy. *J Bone Joint Surg* 2004; 86 A (7): 1375-1386.
90. Morton DJ. Structural Factors in Static Disorders of the Foot. *Am J Surg* 1930; 9: 315-326.
91. Hardy R, Clapham JC. Observations on Hallux Valgus. *J Bone Joint Surg* 1951; 33 B: 376-391.
92. Heden RI, Sorto LA JR. The Bucle Point and the Metatarsal Protrusion's Relationship to the Hallux Valgus. *JAPA* 1981; 71(4): 200-8.

93. Laporta DM, Melillo TV, Hetherington VJ. Preoperative Assessment in Hallux Valgus. En: Hetherington VJ, editor. Hallux Valgus and Forefoot Surgery. 1st ed. Melbourne: Churchill Livingstone; 1994: 7-38.
94. Alonso C, García FJ, Jiménez R, Morales R. Valoraciones Longitudinales y Angulares en el Primer Radio en Radiografía Dorsoplantar. Revista Española de Podología 1997; 8(2): 71-77.
95. Drez D, Young JC, Johnston RD, Parker WD. Metatarsal Stress Fractures. Am J Sports Med 1980; 8(2): 123-125.
96. Novel V, Ogalla JM. Goniometría. Revista Española de Podología 1993; IV (6): 264-268.
97. Tanaka Y, Takakura Y, Kumai T, *et al.* Radiographic Analysis of Hallux Valgus: a Two Dimensional Coordinate System. J Bone Surg Am 1995; 77(2): 205-213.
98. Mancuso JE, Abramov SP, Landsman MJ, Waldman M, Carioscia M. The Zero-Plus First Metatarsal and its Relation to Bunion Deformity. Journal of Foot and Ankle Surgery 2003; 42(6): 319-326.
99. Maestro MD, Besse J-L, Ragusa M, Bertonnaud E. Forefoot Morphotype Study and Planning Method for Forefoot Osteotomy. Foot Ankle Clin 2003; 8(4): 695-710.
100. Munuera PV, Polo J, Rebollo J. Length of the First Metatarsal and Hallux in Hallux Valgus in the Initial Stage. International Orthopaedics 2008; 32(4):489-495.
101. Munuera PV, Domínguez G, Castillo JM. Radiographic Study of the Size of the First Metatarso-Digital Segment in Feet with incipient Hallux Limitus. Journal American Podiatric Medical Association 2007; 97(6): 460-468.
102. Zgonis T, Jolly GP, Garbalosa JC, Cindric T, Godhania V, York S. The Value of Radiographic Parameters in the Surgical Treatment of Hallux Rigidus. Journal of Foot and Ankle Surgery 2005; 44(3): 184-189.

103. Taranto MJ, Taranto J, Bryant A, Singer KP. Radiographic Investigation of Angular Measurements Including First Metatarsophalangeal Joint Dorsiflexion and Rearfoot to Forefoot Axis Angle. *Journal of Foot and Ankle Surgery* 2005; 44(3): 190-9.
104. O'Malley MJ, Hamilton WG, Munyak J, DeFranco MJ. Stress Fractures at the Base of the Second Metatarsal in Ballet Dancers. *Foot Ankle International* 1996; 17(2): 89-94.
105. Munuera PV, Lafuente G, Domínguez G, Salcini JL, Martínez L. Morphofunctional Study of Brachymetatarsia of the Fourth Metatarsal. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 2004; 94(4): 347-352.
106. Roukis TS, Jacobs PM, Dawson DT, et al. A Prospective Comparison of Clinical, Radiographic, and Intraoperative Features of Hallux Rigidus. *J Foot Ankle Surg* 2002; 41(3):158-65.
107. Bryant A, Tinley P, Singer K. A Comparison of Radiographic Measurements in Normal, Hallux Valgus and Hallux Limitus Feet. *J Bone Joint Surg.* 2000; 39(1): 39-43.
108. Bryant JA. A Comparison of Radiographic Foot Measurements Taken in Two Different Positions. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 2001; 91(5): 234-239.
109. Saltzman CL, Brandser EA, Berbaum KS, DeGnore L, Holmes JR, Katcherian DA, et al. Reliability of Standard Foot Radiographic Measurements. *Foot Ankle* 1994; 15(12): 661-665.
110. Chauhan D, Bhutta MA, Barrie JL. Does it Matter how we Measure Metatarsal Length? *Foot Ankle Surgery* 2011; 17(3): 124-127.
111. Bhutta MA, Chauhan D, Zubairy AI, Barrie J. Second Metatarsophalangeal Joint Instability and Second Metatarsal Length Association Depends on the Method of Measurement. *Foot Ankle International* 2010; 31(6): 486-491.

112. McCluney JG, Tinley P. Radiographic Measurements of Patients with Juvenile Hallux Valgus Compared with Age-Matched Controls: A Cohort Investigation. *J Foot Surg* 2006; 45(3): 161-7.
113. Kaz AJ, Coughlin MJ. Crossover Second Toe: Demographics, Etiology, and Radiographic Assesment. *Foot Ankle International* 2007; 28(12): 1223-1237.
114. Kaipel M, Krapf D, Wyss C. Metatarsal Length does not Correlate with Maximal Peak Pressure and Maximal Force. *Clin Orthop Relat Res* 2011; 469(4): 1161-1166.
115. Bevilacqua NJ, Rogers LC, Wrobel JS, Shechter DZ. Restoration and Preservation of First Metatarsal Length Using the Distraction Scarf Osteotomy. *Journal of Foot and Ankle Surgery* 2008; 47(2): 96-102.
116. Saragas NP, Becker PJ. Comparative Radiographic Analysis of Parameters in Feet with and without Hallux Valgus. *Foot Ankle Int* 1995; 16(3):139-43.
117. Stokes IAF, Hutton WC, Mech E, Stott JRR, Chir B, Lowe LW. Forces Under the Hallux Valgus Foot Before and After Surgery. *Clin Orthopaedics Related Research* 1979; (142): 64-72.
118. Coughlin MJ. Crossover second toe deformity. *Foot Ankle* 1987; 8(1): 29-39.
119. Munuera PV, Domínguez G, Reina M, Trujillo P. Bipartite Hallucal Sesamoid Bones: Relationship with Hallux Valgus and Metatarsal Index. *Skeletal Radiol.* 2007; 36(11):1043-50. Epub 2007 Sep 2.
120. Domínguez G, Munuera PV, Lafuente G. Relative Metatarsal Protrusion in the Adult. A Preliminary Study. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 2006; 96 (3): 238-44.
121. Smith SL. Attribution of Foot Bones to Sex and Population Groups. *Journal Forensic Sciences* 1997; 42(2): 186-195.
122. Griffin NL, Richmond BG. Cross-sectional Geometry of the Human Foot. *Bone* 2005; 37(2): 253-260.

123. Mafart B. Hallux Valgus in a Historical French Population: Paleopathological Study of 605 First Metatarsal Bones. *Joint Bone Spine* 2007; 74(2): 166-170.
124. Martínez CB, Zuñil JC, Rodríguez AL. Análisis de la fiabilidad intraobservador de las fórmulas digitales y metatarsales mediante test palpatorios [comunicación cartel] I Jornadas Nacionales de Fisioterapia Asepeyo-Universidad San Pablo-CEU. Madrid, 2008.
125. Lord M, Hosein RB. Method for in-Shoe Shear Stress Measurement. *J Biomed Eng* 1992; 14(3):181-186.
126. Mall NA, Hardaker WM, Nunley JA, Queen RM. The Reliability and Reproducibility of Foot Type Measurements using a Mirrored Foot Photo Box and Digital Photography Compared to Caliper Measurements. *J Biomech* 2007; 40(5):1171-6.
127. McPoil T, Vicenzino B, Cornwall MW, Collins N. Can Foot Anthropometric Measurements Predict Dynamic Plantar Surface Contact Area? *Journal Foot Ankle Research* 2009; 2: 28.
128. Paiva A, Rubens J, Rabiatti T. The Relationship between Wearing Incorrectly Sized Shoes and Foot Dimensions, Foot Pain, and Diabetes. *Journal Sport Rehabilitation* 2010; 19(2): 214-225.
129. O'Meara D, Vanwanseele B, Hunt A, Smith R. The Reliability and Validity of a Three-Camera Foot Image System for Obtaining Foot Anthropometrics. *Journal of Applied Biomechanics* 2010; 26(3): 349-356.
130. Viladot A. Metatarsalgia due to Biomechanical Alterations of the Forefoot. *Orthop. Clin. North. Am.* 1973; 4(1): 165-178.
131. Kaplan AR. Genetics of Relative Toe Lengths. *Acta Genet. Med. Gemellol.* 1964; 13:295-304.
132. Morton DJ. *The Human Foot*. 1st ed. New York: Columbia University Press, 1935.

133. Bernstein DA. Morton's Syndrome and Morton's Neuroma: Two Different, but often Confused, Problems. *Orthopaedic Surgery & Sports Medicine Specialists* 2003; 1-3.
134. Travell J. Low Back Pain and the Dudley J. Morton Foot (Long Second Toe). *Arch Phys Med Rehabil* 1975; 56: 566.
135. Martínez CB, Alegre M. Influencia del Pie de Morton en la Activación de Puntos Gatillo Miofasciales (PGM) en Miembros Inferiores de Maratonianos. [comunicación oral]. Libro de Ponencias de las X Jornadas Nacionales de Fisioterapia en el Deporte. Logroño, Mayo de 2.005.
136. Morton DJ, Fuller DD. *Human Locomotion and Body Form*. 1st ed. Baltimore: The Williams and Wilkings Co; 1952.
137. Martínez CB, Alegre M, Rodríguez AL, Zuil JC. Prevalencia de Activación de Puntos Gatillo Miofasciales (PGM) en Miembros Inferiores en Maratonianos. [comunicación cartel]. Libro de Ponencias de las X Jornadas Nacionales de Fisioterapia en el Deporte. Logroño, Mayo de 2.005.
138. Delgado PE. Artrosis de la Primera Articulación Cuneometatarsiana en un Paciente con Índice Minus. *Reduca* 2010; 2(2): 13-25.
139. Lundberg BJ, Sulja T. Skeletal Parameters in the Hallux Valgus Foot. *Acta Orthop Scandinav* 1972; 43(6): 576-582.
140. Air ME, Rietveld ABM. Freiberg's Disease as a Rare Cause of Limited and Painful Relevé in Dancers. *Dance Medicine&Science* 2010; 14(1):32-36.
141. Nihal A, Trepman E, Nag D. First Ray Disorders in Athletes. *Sports Med Arthrosc Rev* 2009; 17(3): 160-166.
142. Calvo A, Viladot R, Giné J, Alvarez F. The Importance of the Length of the First Metatarsal and the Proximal Phalanx of Hallux in the Etiopathogeny of the Hallux Rigidus. *Foot Ankle Surgery* 2009; 15(2): 69-74.

143. Grady JF, Axe TM, Zager EJ, Sheldon LA. A Retrospective Analysis of 772 Patients with Hallux Limitus. *Journal American Medical Association* 2002; 92(2): 102-108.
144. Haas M. Radiographic and Biomechanical Considerations of Bunion Surgery. En: Gerbet J and Sokoloff TH editors. *Textbook of Bunion Surgery*. 1st ed. New York: Futura; 1981.
145. Díaz CA, Torres A, Ramírez JI, García LF, Álvarez N. Descripción de un Sistema de Medición de las Presiones Plantares por medio del Procesamiento de Imágenes. *Revista EIA* 2006; 6: 43-55. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/1492/149216907004.pdf> [fecha de consulta marzo de 2012].
146. Arcan M, Brull MA. A fundamental Characteristics of the Human Body and Foot, the Foot-ground Pressure Pattern. *Journal of Biomechanics* 1976; 9(7): 453-457.
147. Cavanagh PR, Rodgers MM, Liboshi A. Pressure Distribution under Symptom-Free Feet during Barefoot Standing. *Foot Ankle* 1987; 7(5): 262-76.
148. Lavigne A, Noviel D. *Estudio Clínico del Pie y Terapéutica por Ortesis*. 1ª ed. Barcelona: Masson; 1994.
149. Grieve DW, Rachdi T. Pressures under Feet in Standing and Walking as Measured by Foil Pedography. *Ann Reum Dis* 1984; 43(6): 816-818.
150. Valenti V, Viladot A. Principios de Biomecánica del Antepié. *Rev Med Cir Pie* 1990; IV (1):9-12.
151. Pérez JM, Tabuenca A, López JE, Orrite C, Martínez J, Herrera A. Estudio del Apoyo Metatarsal en Bipedestación mediante Podoscopio Electrónico de Alta Resolución. *Biomecánica* 1996; IV (6): 19-24.
152. Weijers RE, Geert HIM, Walenkamp MD, Henk van Mameren MD, Alphons GH, Kessels MD. The Relationship of the Position of the Metatarsal Heads and Peak Plantar Pressure. *Foot Ankle International* 2003; 24(4):349-353.

153. Dowling AM, Steele JR, Baur LA. Does Obesity Influence Foot Structure and Plantar Pressure Patterns in Prepubescent Children? *Int J Obes Relat Disord* 2001; 25: 845-852.
154. Hills AP, Henning EM, Byrne NM, Steele JR. The Biomechanics of Adiposity-Structural and Functional Limitations of Obesity and Implications for Movement. *Obes Rev* 2002; 3(1): 35-43.
155. Birtane M, Tuna Hakan. The Evaluation of Plantar Pressure Distribution in Obese and Non-Obese Adults. *Clinical Biomechanics* 2004; 19(10): 1055-1059.
156. Gravante G, Russo G, Pomara F, Ridola C. Comparison of Ground Reaction between Obese and Control Young Adults during Quiet Standing on a Baropodometric Platform. *Clinical Biomechanics* 2003; 18(8): 780-782.
157. Nyska M, McCabe C, Linge K, Lennerman L. Effect of the Shoe on Plantar Foot Pressures. *Acta Orthop Scand* 1995; 66(1): 54-56.
158. Hughes J, Cark P, Klenerman L. The Importance of the Toes in Walking. *J Bone Joint Surgery* 1993; 72B(2): 245-251.
159. Polit DF, Hungler BP. *Investigación Científica en Ciencias de la Salud: Principios y Métodos*. 6ª ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana; 2000.
160. Argimón JM, Jiménez J. *Métodos de Investigación Clínica y Epidemiológica*. 3ª ed. Madrid: Elsevier; 2004.
161. Cailliet R. *Síndromes dolorosos de Tobillo y Pie*. 2ª ed. México: El Manual Moderno; 1985.
162. Martínez L, Domínguez G, Munuera PV, Palomo IC, Salcini JL. Tratamiento Podológico Integral de la Artritis Reumatoide. *Revista Española de Podología* 2001; 12 (2): 81-88.
163. Prieto L, Lamarca R, Casado A. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intraclase. *Med Clin* 1998; 110(4): 142-145.

164. Asamblea General de las Naciones Unidas [página principal de Internet]. Nueva York: Carta internacional de los derechos del hombre. Resolución de la Asamblea General 217 III de 10 de Diciembre de 1948. ONU. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/documents/ga/res/3/ares3.html>.. [fecha de consulta enero de 2010].
165. Sociedad Internacional de Bioética [página principal de Internet]. Gijón: Declaración Bioética de Gijón. I Congreso Mundial de Bioética. España. 2000; Disponible en: <http://www.sibi.org/ddc/bio.htm>. [fecha de consulta enero de 2010].
166. UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [página principal de Internet]. París: Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos; Resolución 32 C/24 de la Conferencia General; Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001316/131636s.pdf>. [fecha de consulta enero de 2010].
167. Asociación Médica Mundial [página principal de Internet]. Ferney-Voltaire (Francia): Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. 59ª Asamblea General, Seúl, Corea, octubre 2008. Disponible en: <http://www.wma.net/es/30publications/10policies/b3/>. [fecha de consulta enero de 2010].
168. Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.
169. Ogalla JM, Zalacaín AJ. Técnicas Radiológicas en Podología. Revista Española de Podología 1991; II (5): 247-253.
170. Graf P. The EMED System of Foot Pressure Analysis. Clin Podiatr Med Surg 1993; 10(3): 445-454.
171. Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L. Reliability of Pressure Measurements: The EMED F-System. Clin Biomech 1991; 6(1): 14-18.

172. Zuñil Escobar JC. Análisis de la fiabilidad intrasesión del estudio del apoyo plantar en estático mediante plataforma de presión. [diploma de estudios avanzados]. Madrid: Universidad CEU-San Pablo; 2008.
173. Ríos-Díaz J, Martínez-Paya J, del-Baño-Aladom M, de Groot-Ferrando A. Fiabilidad y Reproducibilidad intra e inter observador de un Método Semi-automático de Análisis Ecográfico del Tendón de Aquiles. *Cuestiones de Fisioterapia*. 2010; 39(3): 190-198.
174. Oliveira VC, Furiati T, Sakamoto A, Ferreira P, Ferreira M, Maher C. Health Locus of Control Questionnaire for Patients with Chronic Low Back Pain: Psychometric Properties of the Brazilian–Portuguese Version. *Physiotherapy Research International*. 2008; 13 (1). 42-52.
175. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*. 1977; 33(1): 159-74.
176. Bland JM, Altman DG. Statistic Notes: Measurements Error and Correlation Coefficients. *British Medical Journal* 1996; 313(7048): 41-42.
177. López de Ullibarri I, Pita S. Medidas de Concordancia: El Índice Kappa. *Cad Aten Primaria* 1999; 6 (4): 223-226.
178. Brage M, Bennet C, Whitehurst J, Getty P, Toledano A. Observer Reliability in Ankle Radiographic Measurements. *Foot Ankle Int* 1997; 18(6): 324-329.
179. Condon F, Kaliszer M, Conhyea D, O'Donnell T, Shaju A, Masterson E. The First Intermetatarsal Angle in Hallux Valgus: an Analysis of Measurements Reliability and the Error Involved. *Foot Ankle International* 2002; 22(8): 717-721.
180. Piqué C, Maled I, Arabi J, Vila J. Radiographic Angles in Hallux Valgus: Differences in Measurements Made Manually and with a Computerized Program. *Foot Ankle Int* 2006; 27(3): 175-180.
181. Farber DC, DeOrío JK, Steel MW III. Goniometric versus Computerized Angle Measurements in Assessing Hallux Valgus. *Foot Ankle Int* 2005; 26(3): 234-238.

182. Panchbhavi VK, Trevino SG. Evaluation of Hallux Valgus Surgery using Computer-Assisted Radiographic Measurements and 2 Direct Forefoot Parameters. *Foot Ankle Surgery* 2004; 10(2):59-63.
183. Montoya HE. Evaluación radiométrica del pie. *Ortho-tips* 2006; 2(4):246-254.
184. Ilstrup DM. Radiographic Measurements of the Normal Adult Foot. *Foot Ankle International* 1980; 1(3):151-8.
185. Maxwell WS, Johnson KA, DeWitz MA, Ilstrup DM. Radiographic Measurements of the Normal Foot. *Foot Ankle International* 1980; 1(3):151-158.
186. Fonseca FF, Prado JCL. Comparación entre 3 Métodos de Medida de la Posición de las Extremidades Distales del Primer y Segundo Metatarsianos y determinación de la Fórmula Metatarsiana. *Revista de Medicina y Cirugía del Pie*. Disponible en: http://www.ortopediatria.com.br/aagkujahdbuahdilwgemigetdaldtenhdtgajutiejhgtmoiuyubgtuilojutgtuooistghiunolsgsstred2aksbgt8wjsikhol/imprensa/douglas_4112009_151848.pdf. [fecha de consulta septiembre de 2011].
187. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long Distance Running Increase Plantar Pressure beneath the Metatarsal Heads. A Barefoot Walking Investigation of 200 Marathon Runners. *Gait&Posture* 2008; 27(1): 152-155.
188. Periyamasy R, Mishra A, Anand S, Ammini AC. Preliminary Investigation Of Foot Pressure Distribution Variation in Men and Women Adults while Standing. *The Foot* 2011; 2011; 21(3):142-148.
189. Teh E, Teng LF, Rajendra U, Ha TP, Goh E, Min LC. Static and Frequency Domain Analysis of Plantar Pressure Distribution in Obese and Non-Obese Subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 2006; 10(2): 127-133.

190. Bryant AR, Tynley P, Singer KP. Normal Values of Plantar Pressure Measurements determined using the EMED-System. JAPMA 2000; 90(6):295-299.
191. Putti AB, Arnold GP, Abboud RJ. Foot Pressure Differences in Men and Women. Foot Ankle Surg. 2010; 16(1):21-4.
192. Putti AB, Arnold GP, Abboud RJ. Differences in Foot Pressures between Caucasians and Indians. Foot Ankle Surg. 2010; 16(4): 195-198.
193. Martínez A, Sánchez R, Cuevas JC. Patrón de Presiones Plantares en el Pie Normal: Análisis mediante Sistema Biofoot de Plantillas Instrumentadas. El Peu 2006; 26(4): 190-194.
194. Hessert MJ, Vyash M, Leach J, Hu Kun, Lipsitz LA, Novak V. Foot Pressure Distribution during Walking in Young and Old Adults. BMC Geriatr 2005; 19; 5:8.
195. Scott G, Menz HB, Newcombe L. Age-related differences in foot structure and function. Gait and Posture 2007; 26(1): 68-75.
196. Wei-Li H, Jiunn-Hong K, Jin-Shin L. Distribution of Plantar Pressure on the second metatarsal head during walking. J Forms Med Assoc 2004; 103(7):540-545.
197. Betts RP, Franks CI, Duckworth T, Burke J. Static and Dynamic Foot-pressure Measurements in Clinical Orthopaedics. Med&Biol Eng Comput 1980; 18(5): 674-684.
198. Cavanagh PR, Morag E, Boulton AJ, Young MJ, Deffner KT, Pammer SE. The Relationship of Static Foot Structure to Dynamic Foot Function. J Biomech. 1997; 30(3):243-50.
199. Sanz E, Lázaro JL. Efecto de las posiciones del retropié sobre las presiones plantares del antepié. Reduca 2010, 2(1):951-956.
200. Martínez A, Sánchez JC, Cuevas JC, Sánchez E. Estudio baropodométrico de los valores de presión plantar en pies no patológicos. Rehabilitación 2007; 41(4):155-160.
201. Duckworth T, Betts RP, Franks CI, Burke J. The Measurement of Pressure under the Foot. Foot Ankle 1982; 3(3):130-41.

202. Minns RJ, Craxford AD. Pressure under the Forefoot in Rheumatoid Arthritis. *Clin Orthop Rel Res* 1984; 187: 235-42.
203. Plank MJ. The Pattern of Forefoot Pressure Distribution in Hallux Valgus. *The Foot* 1995; 5(1): 8-14.
204. Rai DV, Aggarwall LM. The Study of Plantar Pressure Distribution in Normal and Pathological Foot. *Pol J Med Phys Eng* 2006; 12(1): 25-34.
205. Woodburn J, Helliwell PS. Relation between Heel Position and the Distribution of Forefoot Plantar Pressure and Skin Callosities in Rheumatoid Arthritis. *Ann Rheum Dis* 1996; 55(11): 806-810.
206. Ferrari J, Watkinson D. Foot Pressure Measurement Differences between Boys and Girls with reference to Hallux Valgus Deformity and Hypermobility. *Foot Ankle Int.* 2005; 26(9):739-47.

ANEXOS

10. ANEXOS.

Anexo 1. Frecuencia tipología pie según fórmula digital (n= nº de pies)

AUTOR	TÉCNICA	PIE EGIPCIO	PIE GRIEGO	PIE CUADRADO
Cousin (serie canadiense)	Radiológica	2 (37%)	1 (40%)	3 (22%)
Calderón (serie mejicana)	Radiológica	1 (42.4%)	3 (19.2%)	2(34.6%)
Lake (serie anglosajona)	Radiológica	1 83.1%	3 4.75%	2 10.8%
Lelièvre (serie francesa)	Radiológica	1 64.2%	3 14.8%	2 20%
Hawkes (serie anglosajona)	Radiológica	1 85.5%	2 7.9%	3 6.6%
Weisenberg (serie alemana)	Radiológica	1 64.95%	2 30.3%	3 4.75%
Viladot (n=273) (serie española)	Radiológica	1 72.9%	2 21.2%	3 5.9%
Viladot, Sant Mestres(n=1000) (serie española)	Radiológica	1 69%	2 22.3%	3 8.7%
Monreal Redondo(n=47) (serie española)	Osteológica	1 68.1%	2 21.3%	3 10.6%
Pareja(n=550) (serie española)	Radiológica	1 62.6%	2 25.6%	3 11.8%
Calvo de Cos(n=132) (serie española)	Radiológica	1 59.5%	3 17.4%	2 23.1%
Pizones Arce(n=462) (serie española)	Radiológica	1 63.2%	2 25.1%	3 11.7%
Ogilvie-Harris(n=120) (serie americana)	Visual	3 23%	1 52%	2 25%
Beeson (n=180) (serie inglesa)	Visual	2 30%	3 8.3%	1 61.7%
Martínez Cepa(n=202) (serie española)	Palpatoria	1 59,4%	3 5%	2 35,6%
	Visual	1 49%	2 31,7%	3 19,3%

Anexo 2. Frecuencia tipología de pie según fórmula metatarsal (n=nº de pies)

AUTOR	TÉCNICA	INDEX MINUS	INDEX PLUS	INDEX PLUS MINUS
Nilsonne(n=497) (serie escandinava)	Radiológica	1 52,2%	2 34,4%	3 13,4%
Harris y Beath(n=7167) (serie Americana)	Radiológica	1 40,1%	2 37,6%	3 22,3%
Viladot, Sant Mestres(n=1000) (serie española)	Radiológica	1 56%	3 16%	2 28%
Monreal Redondo(n=47) (serie española)	Osteológica	3 25,5%	1 44,7%	2 29,8%
Pareja(n=550) (serie española)	Radiológica	1 44,1%	2 41,9%	3 14%
Oller Asensio(n=484) (serie española)	Radiológica	2 35,2%	3 13,9%	1 50,9%
Calvo de Cos(n=132) (serie española)	Radiológica	2 36%	3 14%	1 50%
Pizones Arce(n=462) (serie española)	Radiológica	1 45%	2 39,4%	3 15,6%
Martínez Cepa(n=202) (serie española)	Palpatoria	1 73,8%	3 0,5%	2 25,7%
	Visual	1 72,3%	3 1%	2 26,7%

Anexo 3. Aprobación del Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Sevilla



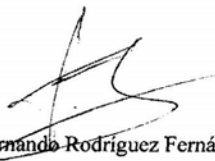
A quien pueda interesar:

El Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Sevilla, habiendo examinado el Proyecto “La protusión digital y metatarsal: comparación entre mediciones clínicas y radiológicas y su correlación con el soporte de cargas en el antepié” presentado por D^a. Raquel Chillón Martínez emite el siguiente informe,

El proyecto cumple los requisitos exigidos para experimentación en sujetos humanos y en animales, y se ajusta a las normativas vigentes en España y en la Unión Europea.

Sevilla, a 13 de enero de 2012.

EL PRESIDENTE DEL COMITE,



Fdo.: Prof. Dr. Fernando Rodríguez Fernández.

Anexo 4. Documento de Consentimiento Informado

<p>CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA ESTUDIO CLÍNICO DENOMINADO La protrusión digital y metatarsal: comparación entre mediciones clínicas y radiológicas y su correlación con el soporte de cargas en el antepié</p>
--

Lea atenta y completamente la información que se le presenta a continuación. Usted debe preguntar cualquier aspecto que no comprenda antes de firmar el consentimiento que aparece en la última página del documento, por medio del cual usted manifiesta su voluntad de participación libremente en el presente estudio.

INTRODUCCIÓN

Las diferencias de longitud a nivel del primer y segundo dedo del pie, se relacionan con la aparición de problemas que pueden afectar a la totalidad del miembro inferior como sobrecargas musculares, callosidades en la planta del pie, dolor y/o artrosis. Existen diferentes formas de medir dichas diferencias que pueden realizarse mediante métodos radiológicos y palpatorios.

OBJETIVOS DE ESTA INVESTIGACIÓN

En la primera fase de este estudio, el objetivo principal es comparar las medidas en cuanto a la protrusión digital y metatarsal del primer y segundo dedo realizadas a través de un método radiológico con las realizadas a través de un método palpatorio. En una segunda fase, se valorará la relación entre el tipo de pie y el porcentaje de carga que soporta el antepié.

PROTOCOLO DEL ESTUDIO

Para ello, serán necesarios sujetos voluntarios mayores de 20 años y menores de 65, que no presenten deformidades severas en el antepié (hallux limitus, hallux valgus, matatarsus adductus, dedos en garra), ni enfermedades degenerativas osteoarticulares o desequilibrios musculares, sin signos de alteración en la distribución de la carga en el antepié, sin presencia de dolor en el antepié y de cirugía previa en el pie, que no hayan sufrido un episodio traumático durante los doce meses anteriores a la valoración, sin antecedentes de fractura metatarsal, ni enfermedades congénitas o deformaciones de miembros inferiores. Aquellas mujeres en la etapa de climaterio serán excluidas del presente estudio.

En una primera fase, se recogerán datos generales como los derivados de las técnicas palpatorias, en todos los sujetos que quieran participar en el estudio y cumplan los criterios de inclusión y exclusión del mismo. La recogida de estos datos se realizará mediante una entrevista con uno de los componentes del equipo investigador y exploración de la posición en estática (identificación de una serie de referencias anatómicas) y realización de los test palpatorios con el individuo en bipedestación (10 minutos de duración). Cada individuo será valorado 3 veces (separadas en el tiempo y realizadas en días diferentes) por dos terapeutas.

Ninguna de estas pruebas es invasiva ni dolorosa. Posteriormente, cada individuo debe acudir a un centro radiológico para que se le realice una radiografía dorsoplantar en carga de ambos pies. La realización de una única prueba radiológica está exenta de riesgos para la salud.

En una segunda fase, se realizará un estudio estático mediante una plataforma de presión que capte las presiones plantares del individuo permaneciendo éste de pie durante 20 segundos. Esta prueba tampoco es invasiva ni dolorosa.

El equipo investigador se compromete a utilizar los datos que se recojan única y exclusivamente con finalidad investigadora para el desarrollo del presente estudio.

BENEFICIOS Y RIESGOS DE ESTE ESTUDIO

El principal beneficio de este estudio se basa en demostrar que los métodos palpatorios son igual de eficaces para establecer la protrusión digital y metatarsal entre el primer y segundo dedo del pie. Dentro de sus ventajas destacan por ser más baratos, emplear instrumentación sencilla y accesible para el clínico, y poseer beneficios al no constituir una fuente de irradiación ni para los sujetos a estudio ni para el terapeuta, influyendo en la calidad de vida de ambos, y evitando posibles efectos secundarios.

No existen riesgos conocidos asociados a la participación en el estudio y éste cumple con los requisitos para experimentar con sujetos humanos, y se ajusta a las normativas vigentes en el Estado Español y la Unión Europea.

1. He leído la información al participante del estudio “La protrusión digital y metatarsal: comparación entre mediciones clínicas y radiológicas y su correlación con el soporte de cargas en el antepié”.
2. He podido hablar con Carme Belén Martínez Cepa (DNI 11834051E) y hacerle todas las preguntas sobre el estudio necesarias para comprender sus condiciones y considero que he recibido suficiente información sobre el mismo.
3. Doy fe de no haber omitido o alterado datos al informar sobre mi historia clínica y antecedentes médico- quirúrgicos.
4. Doy el consentimiento para el tratamiento informatizado de la información sobre mi persona que se obtenga con fines médicos, científicos o educativos, conforme a las normas legales. De acuerdo con la Ley 1571999 de Protección de datos de Carácter Personal, los datos personales requeridos (edad, sexo, etc.) son los necesarios para realizar el estudio correctamente. No se revelará mi identidad ni mis datos personales. Ninguno de estos datos serán revelados a personas externas a la investigación. La participación es anónima, pero mis datos se registrarán en una lista de control custodiada por el investigador principal y sólo recurrirá a ella en momentos imprescindibles.
5. Me ha sido explicado de forma comprensible tanto el procedimiento a realizar como los beneficios y riesgos del estudio propuesto.
6. He podido hacer preguntas sobre el estudio y han sido contestadas de forma clara y precisa.
7. Comprendo que mi participación es voluntaria, y que puedo retirarme del estudio cuando quiera, sin tener que dar explicaciones.
8. Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

D/Dña.: _____, una vez informado/a sobre el estudio en cuestión, da su consentimiento para participar y ceder sus datos clínicos para el desarrollo del mismo.

Firma y DNI participante:

Firma y DNI investigador

Anexo 5. Protocolo de exploración clínico empleado en esta investigación.

CÓDIGO PACIENTE:

FECHA:

- -

DATOS PERSONALES

APELLIDOS Y NOMBRE:

EDAD:

PROFESION:

DATOS GENERALES

ALTURA:

PESO:

FRACTURA METARSAL Y/O FALANGES

SI/NO

LOCALIZACIÓN

DOLOR PIE

SI/NO

LOCALIZACIÓN

ENFERMEDADES CONGÉNITAS O DEFORMACIONES MIEMBROS INFERIORES

SI/NO

¿CUÁLES?

EPISODIO TRAUMÁTICO EN EL PIE DURANTE DOCE MESES ANTERIORES

SI/NO.....¿CUÁLES?

DEFORMACIONES SEVERAS ANTEPIE O ENFERMEDADES DEGENERATIVAS OSTEOARTICULARES

..SI/NO.....¿CUÁLES?

INTERVENCIONES QUIRÚRGICAS EN MMII.

..SI/NO.....¿CUÁLES?

ALTERACION DISTRIBUCIÓN CARGAS

SI/NO

¿CUÁLES?

Anexo 6. Hoja de Recogida de Datos.

CÓDIGO PACIENTE:

FECHA:

A. MEDICIONES PALPATORIAS

PRUEBA	IZQUIERDO	FÓRMULA DIGITAL	DERECHO	FÓRMULA DIGITAL
TEST I				

PRUEBA	IZQUIERDO	FÓRMULA METATARSAL	DERECHO	FÓRMULA METATARSAL
TEST II				

PRUEBA	IZQUIERDO	DERECHO
LONGITUD I		
LONGITUD II		

B. MEDICIONES RADIOLÓGICAS

PRUEBA	IZQUIERDO	FÓRMULA DIGITAL REAL	DERECHO	FÓRMULA DIGITAL REAL
TEST I Rx				

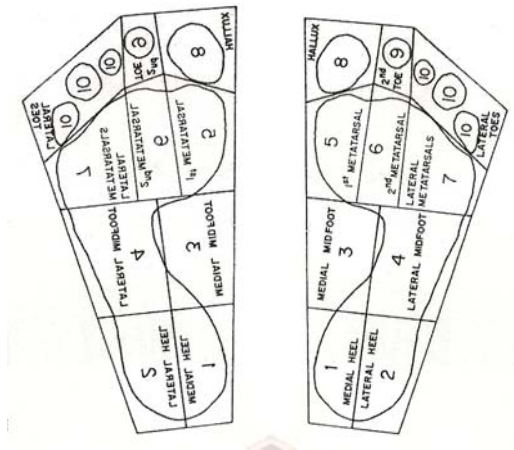
PRUEBA	IZQUIERDO	FÓRMULA DIGITAL REAL CONTORNO	DERECHO	FÓRMULA DIGITAL REAL CONTORNO
TEST I Rx Contorno				

PRUEBA	IZQUIERDO	FÓRMULA METATARSAL REAL	DERECHO	FÓRMULA METATARSAL REAL
TEST II Rx				

PRUEBA	IZQUIERDO	DERECHO
LONGITUD I Rx		
LONGITUD I Rx Contorno		
LONGITUD II Rx		
LONGITUD II Rx Contorno		

C. MEDICIONES PLATAFORMA DE PRESIONES

VARIABLE	IZQUIERDO	DERECHO
Zona presión máxima pie (*)		
Zona presión máxima antepié (*)		
Presión máxima pie		
Presión máxima antepié		
Presión media pie		
Presión media antepié		



Zonas de presión de la planta del pie según esquema de Rodgers y Cavanagh⁴(*)

Anexo 7. Tabla de Normalidad Variables Explorador 1

Variable	Prueba de Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Test 1 Manual	0,087	78	0,200
Test 1 Radiológico	0,076	78	0,200
Test 1 Radiológico Contorno	0,079	78	0,200
Test 2 Manual	0,069	78	0,200
Test 2 Radiológico	0,108	78	0,025
Test Longitud 1 manual	0,090	78	0,194
Test Longitud 1 Rx	0,088	78	0,200
Test Longitud 1 Rx Contorno	0,070	78	0,200
Test Longitud 2	0,070	78	0,200
Test Longitud 2 Rx	0,111	78	0,020
Test Longitud 2 Rx Contorno	0,084	78	0,200

Anexo 8. Tabla de Normalidad Variables Explorador 2

Variable	Prueba de Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Test 1 Manual	0,088	78	0,200
Test 1 Radiológico	0,076	78	0,200
Test 1 Radiológico Contorno	0,097	78	0,069
Test 2 Manual	0,069	78	0,200
Test 2 Radiológico	0,095	78	0,080
Test Longitud 1 manual	0,081	78	0,200
Test Longitud 1 Rx	0,088	78	0,200
Test Longitud 1 Rx Contorno	0,066	78	0,200
Test Longitud 2	0,099	78	0,055
Test Longitud 2 Rx	0,066	78	0,200
Test Longitud 2 Rx Contorno	0,072	78	0,200

Anexo 9. Gráficos Bland-Altman Explorador 1.

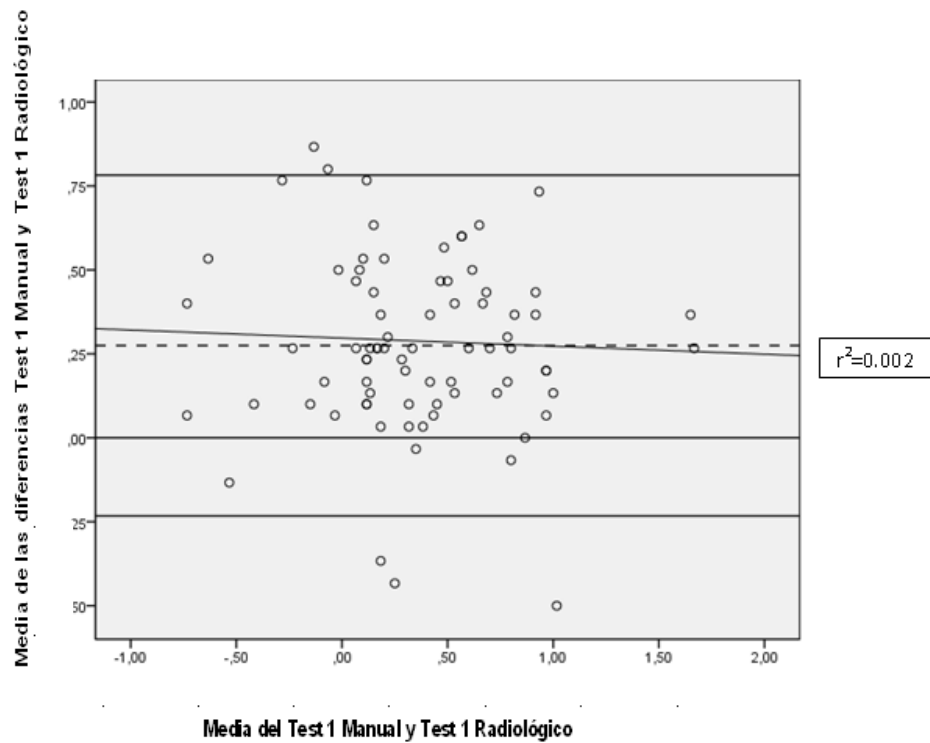


Gráfico1. Bland-Altman Test 1 Manual-Test 1 Radiológico

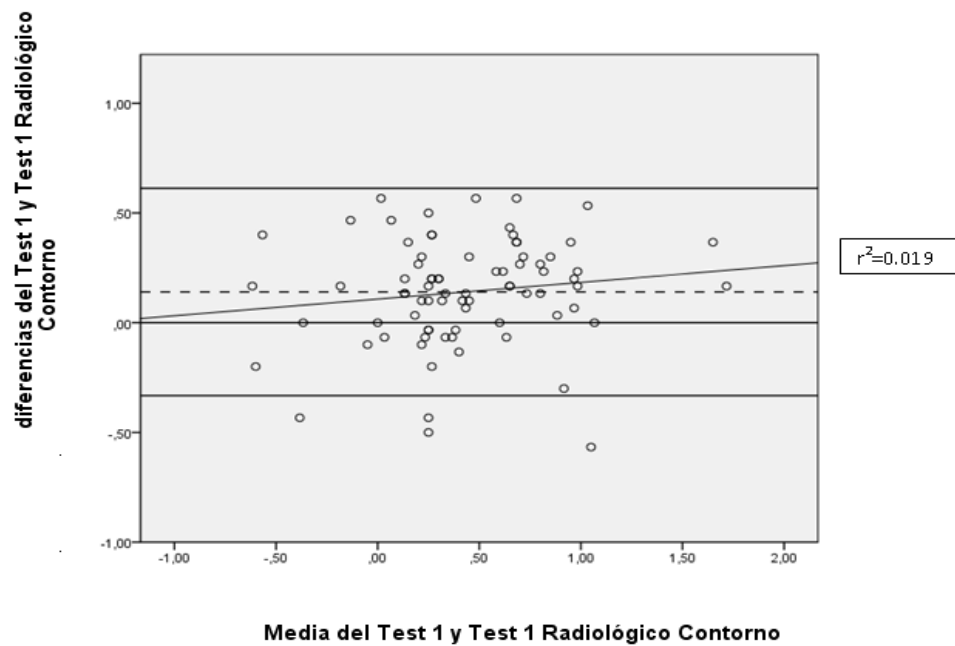


Gráfico2. Bland-Altman Test 1 Manual-Test 1 Radiológico Contorno

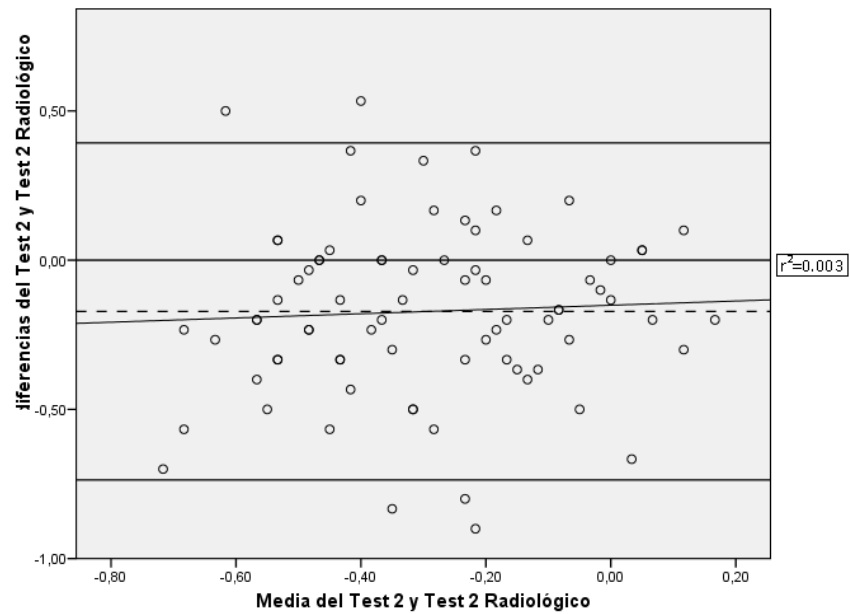


Gráfico3. Bland-Altman Test 2 Manual-Test 2 Radiológico

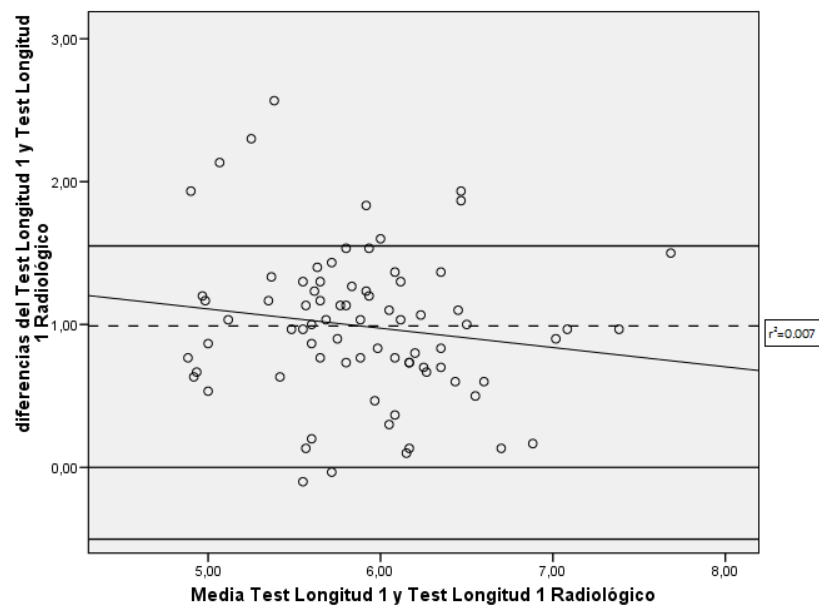


Gráfico4. Bland-Altman Test Longitud 1 Manual- Test Longitud 1 Radiológico

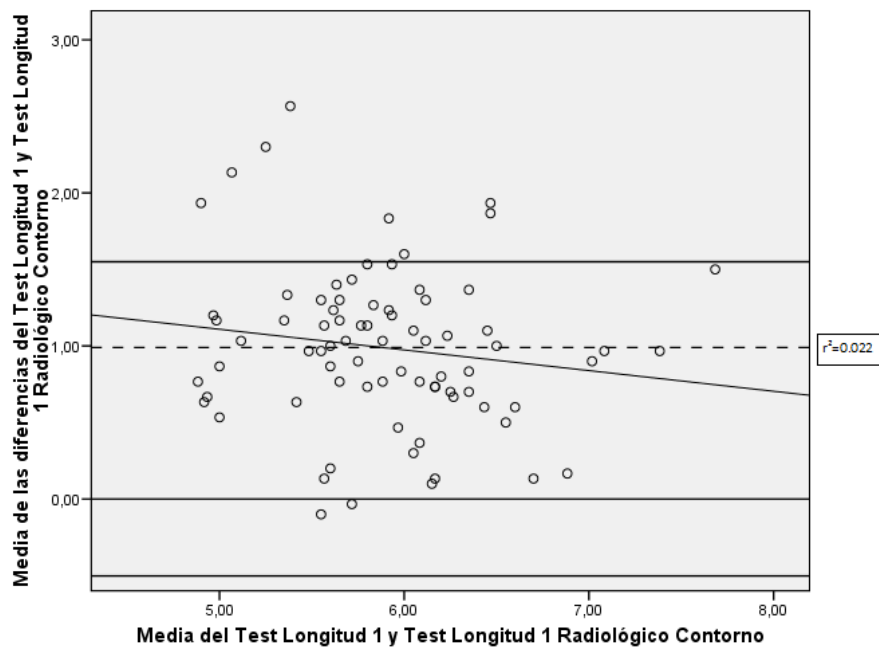


Gráfico5. Bland-Altman Test Longitud 1 Manual- Test Longitud 1 Radiológico Contorno

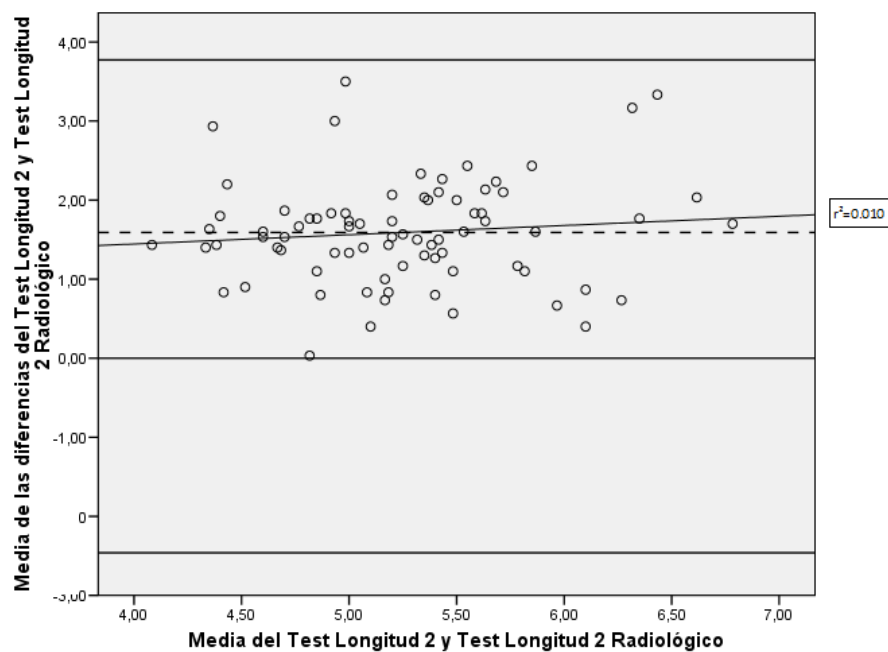


Gráfico6. Bland-Altman Test Longitud 2 Manual- Test Longitud 2 Radiológico

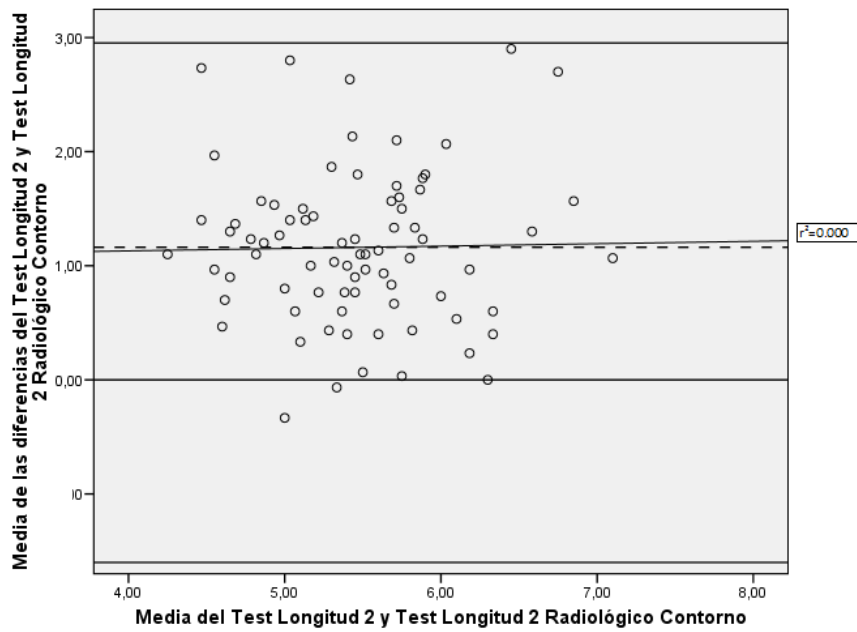


Gráfico7. Bland-Altman Test Longitud 2 Manual- Test Longitud 2 Radiológico Contorno

Anexo 10. Gráficos Bland-Altman Explorador 2.

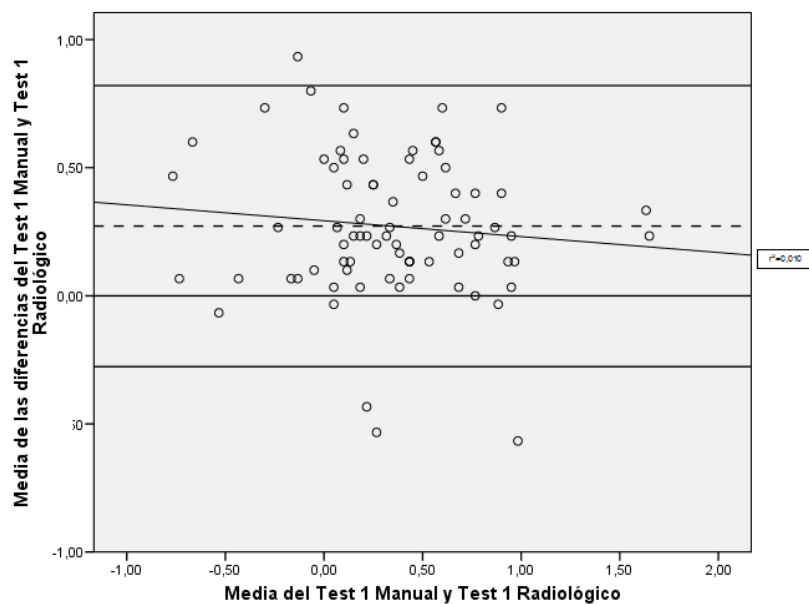


Gráfico 8. Bland-Altman Test 1 Manual y Test 1 Radiológico

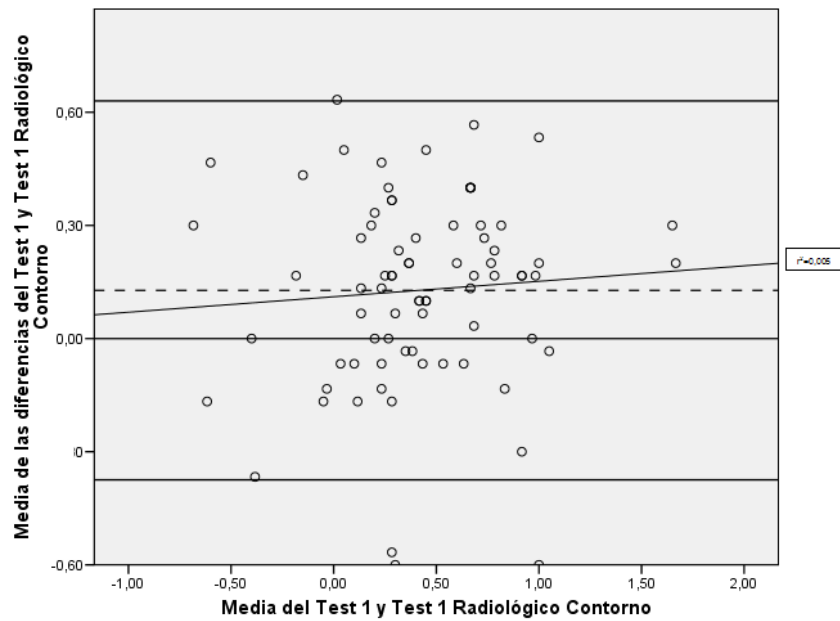


Grafico 9. Bland-Altman Test 1 Manual y Test 1 Radiológico Contorno

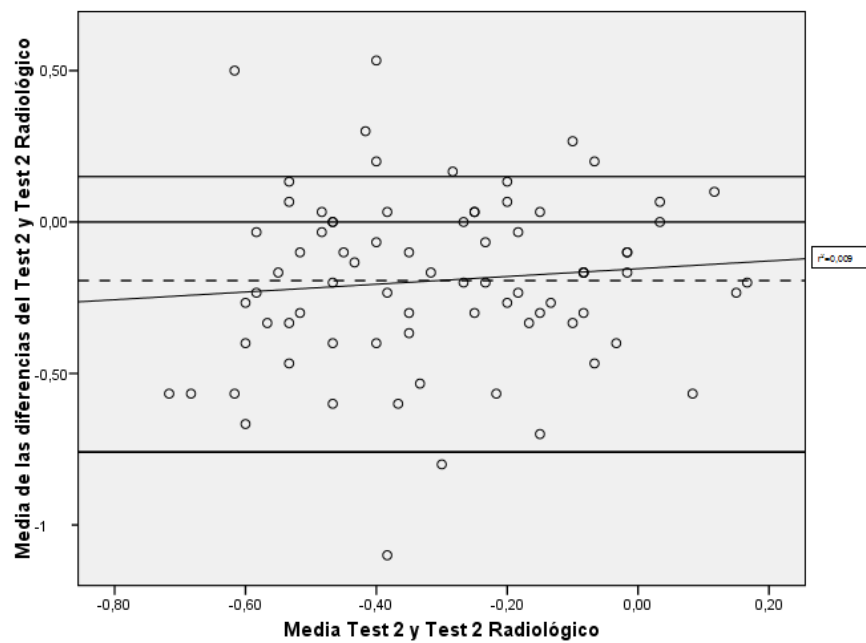


Grafico 10. Bland-Altman Test 2 Manual y Test 2 Radiológico

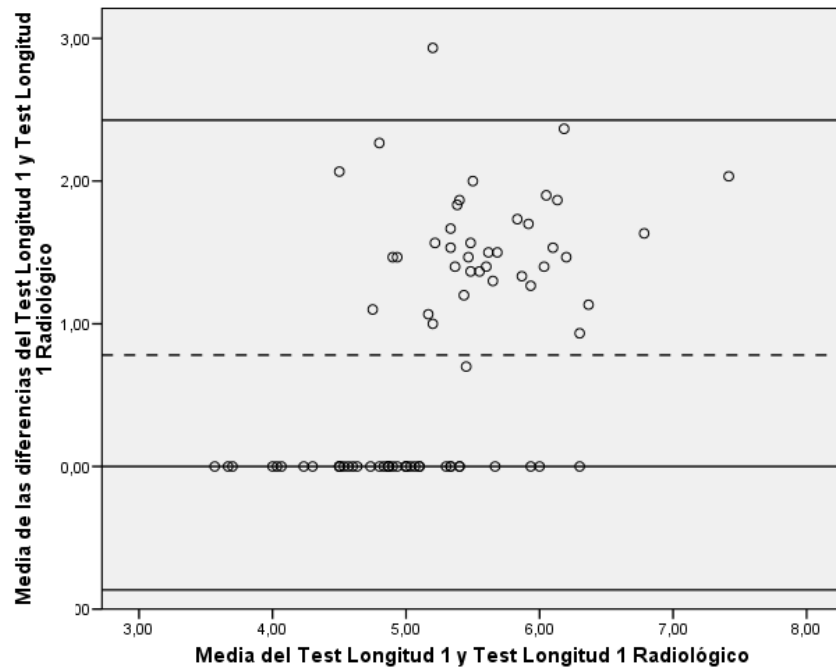


Gráfico 11. Bland-Altman Test Longitud 1 y Test Longitud 1 Radiológico

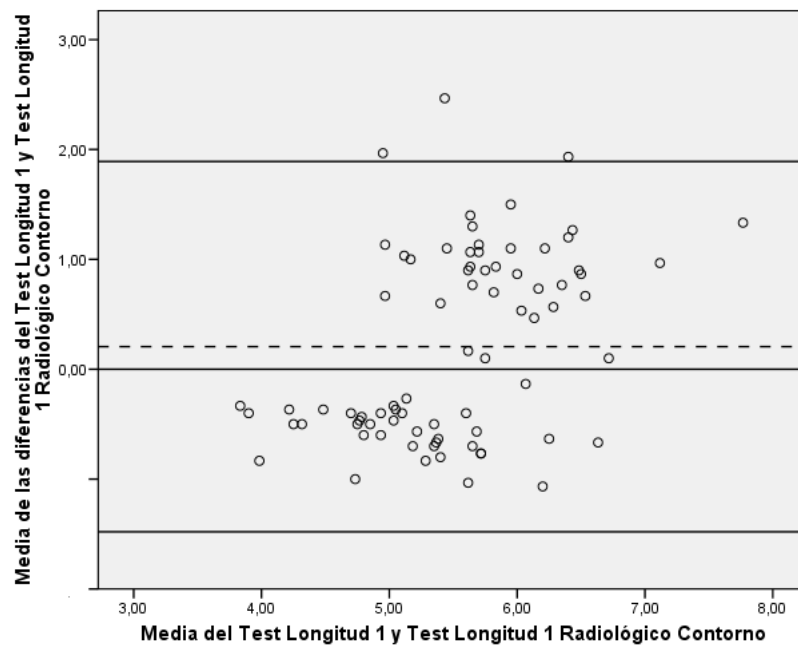


Gráfico 12. Bland-Altman Test Longitud 1 y Test Longitud 1 Radiológico Contorno

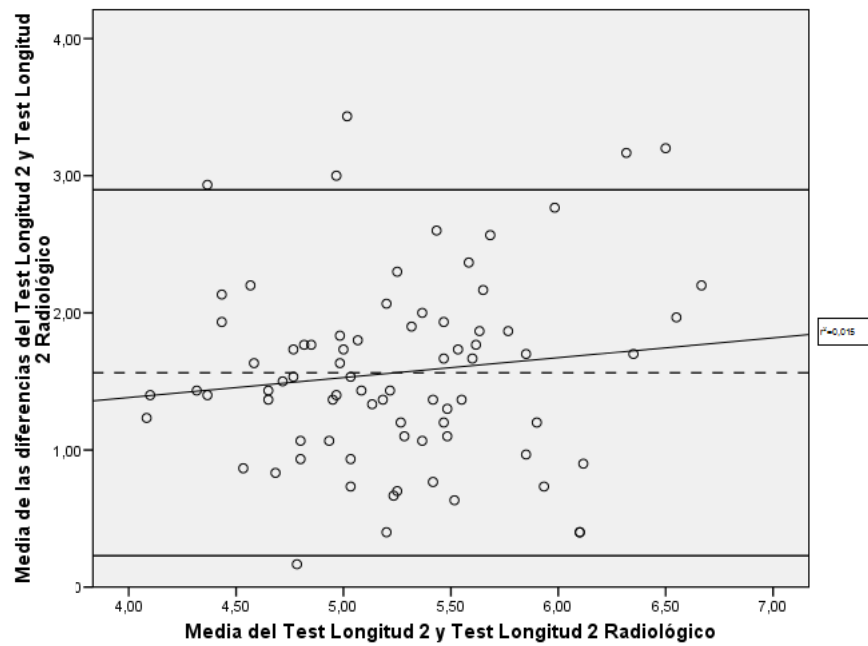


Gráfico 13. Bland-Altman Test Longitud 2 y Test Longitud 2 Radiológico

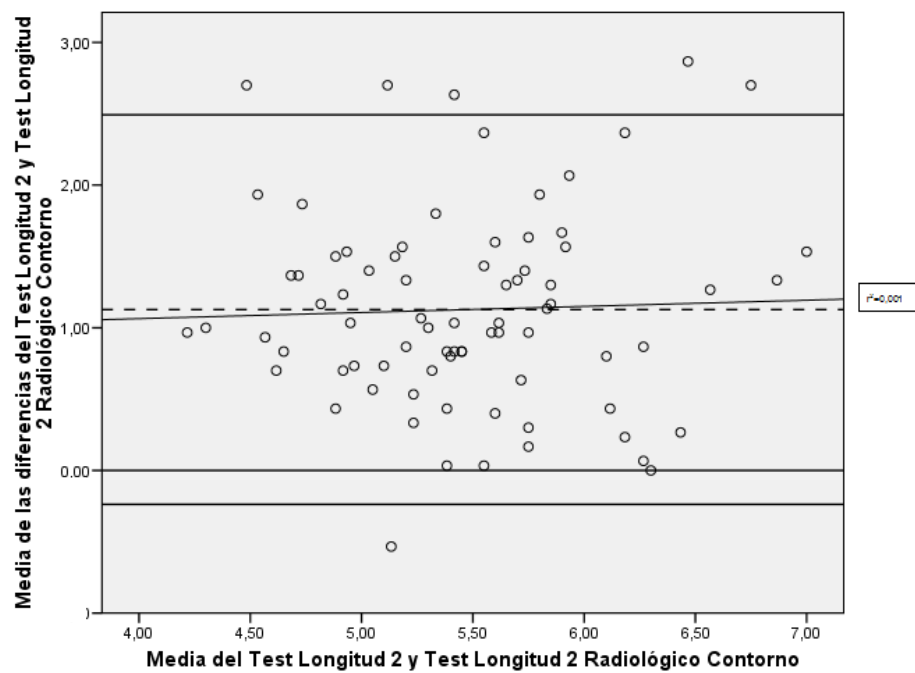
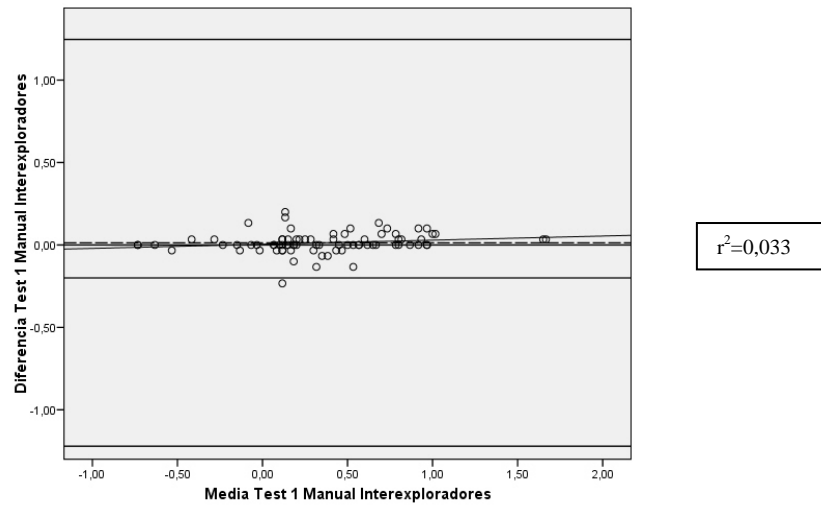
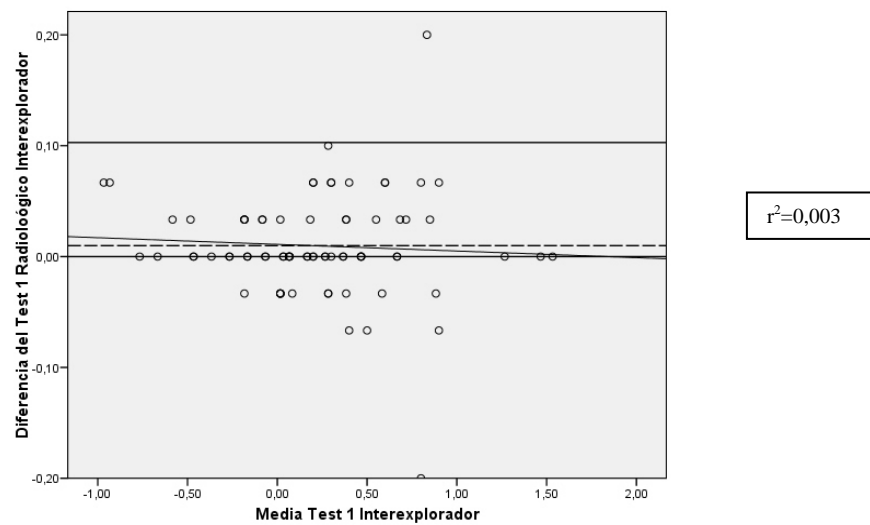


Gráfico 14. Bland-Altman Test Longitud 2 y Test Longitud 2 Radiológico Contorno

Anexo 11. Gráficos Bland-Altman Interexploradores**Gráfico15. Bland-Altman Test 1 Manual Interobservador****Gráfico16. Bland-Altman Test Radiológico Interobservador**

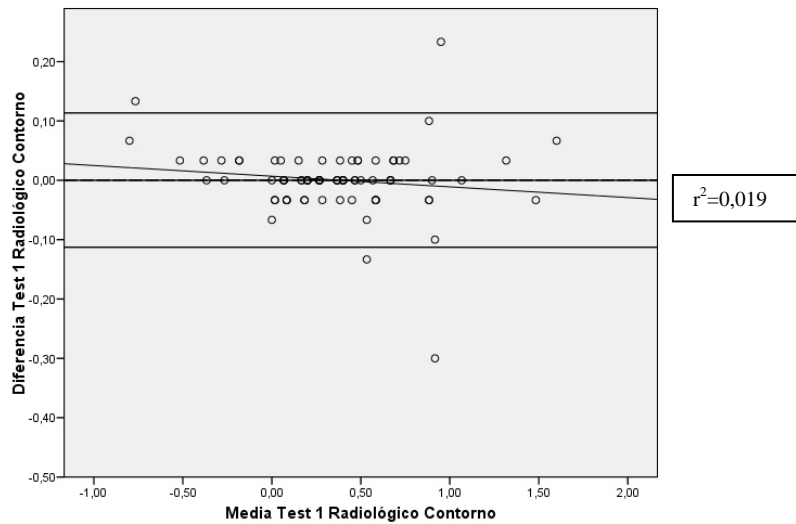


Gráfico17. Bland-Altman Test Radiológico Contorno Interobservador

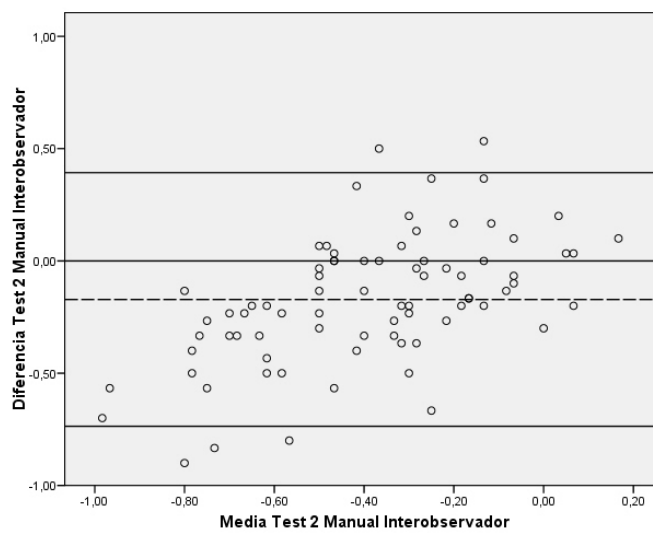


Gráfico18. Bland-Altman Test 2 Manual Interobservador

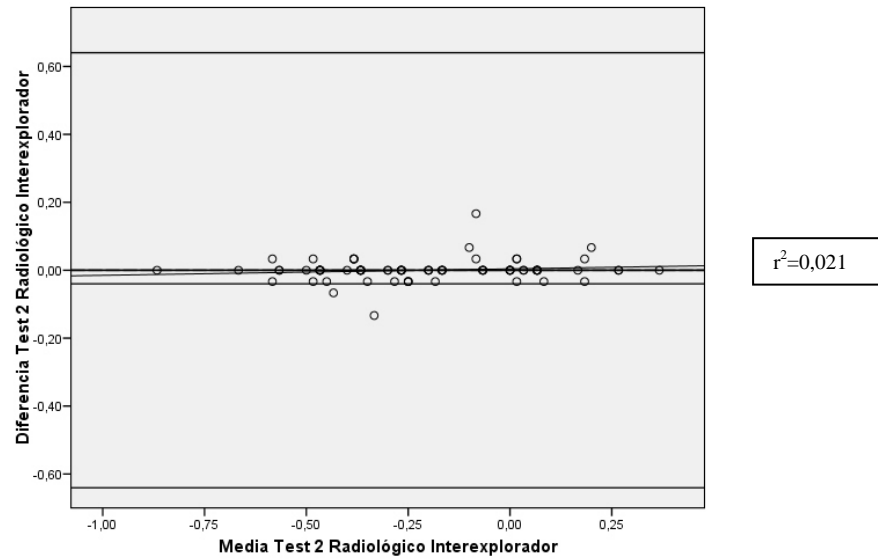


Gráfico19. Bland-Altman Test 2 Manual Radiológico Interobservador

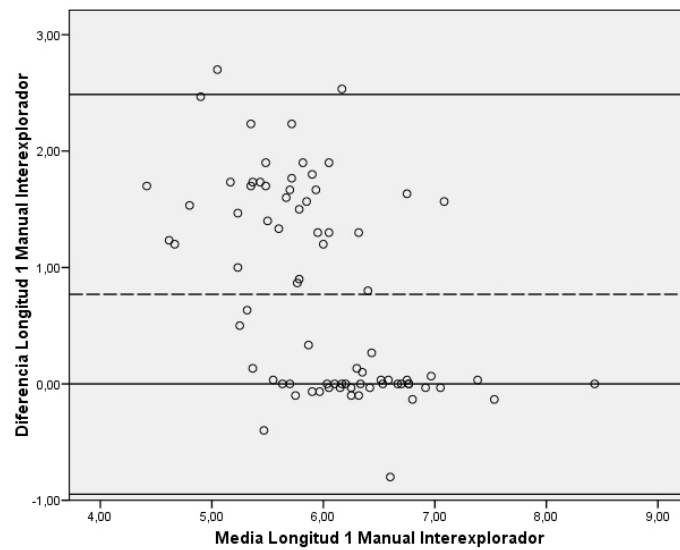


Gráfico20. Bland-Altman Test Longitud 1 Manual Interobservador

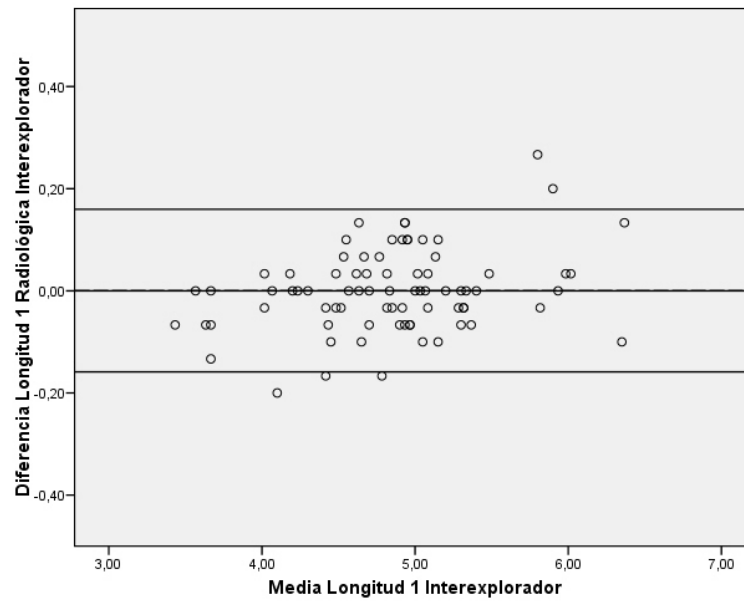


Gráfico21. Bland-Altman Test Longitud 1 Radiológico Interobservador

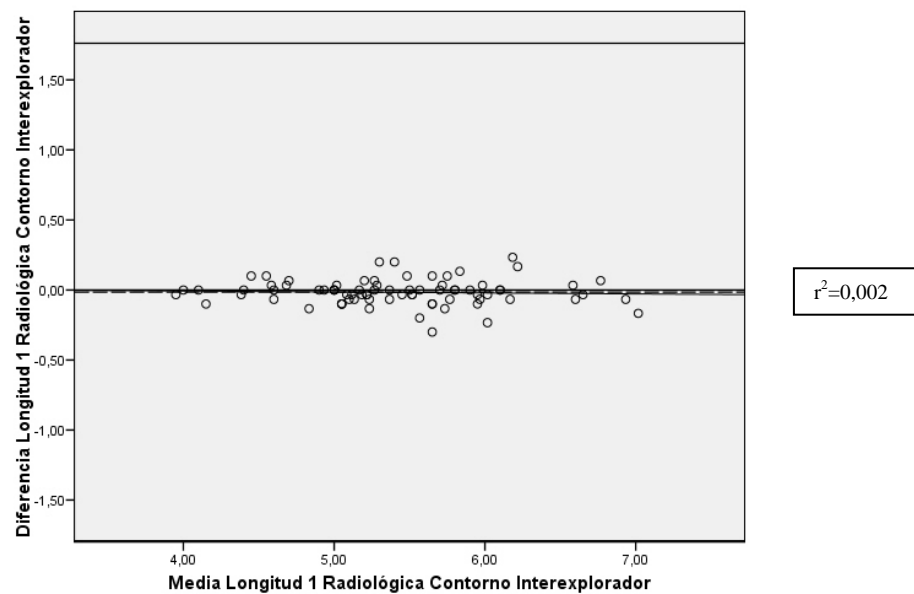


Gráfico22. Bland-Altman Test Longitud 1 Radiológico Contorno Interobservador

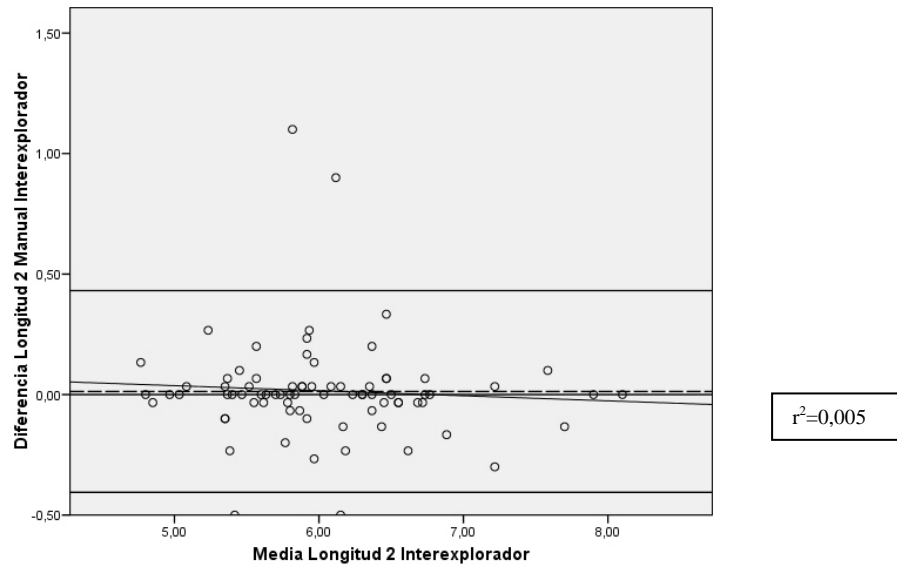


Gráfico23. Bland-Altman Test Longitud 2 Manual Interexplorador

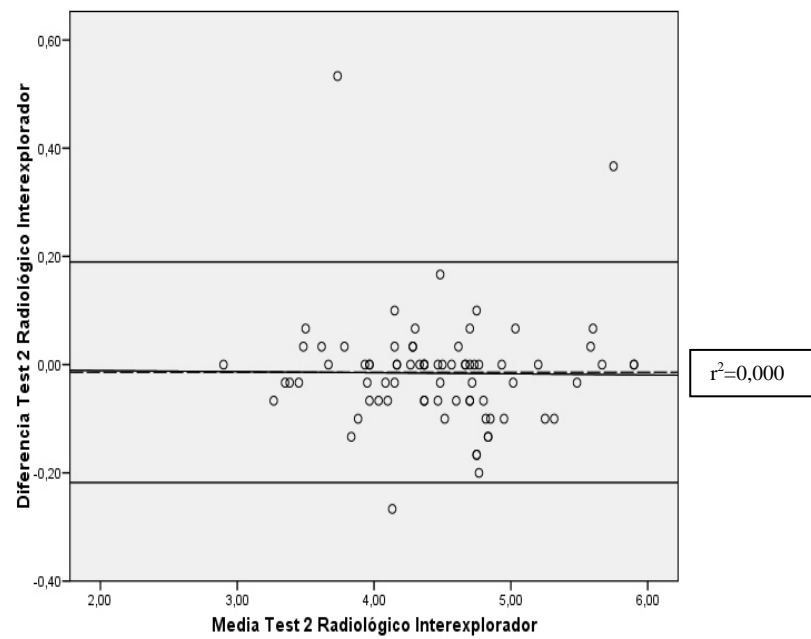


Gráfico24. Bland-Altman Test Longitud 2 Radiológica Interexplorador

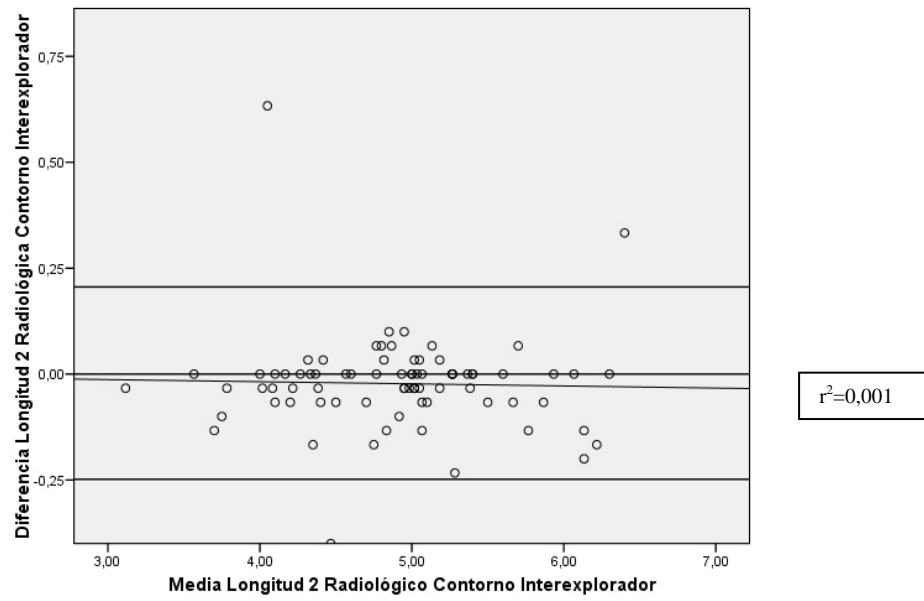


Gráfico25. Bland-Altman Test Longitud 2 Radiológica Contorno Interexplorador

Anexo 12. Tabla Normalidad Variables Cuantitativas de la Segunda Fase

(*se ajustan a la normal)

Variable	Prueba de Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Edad	0,420	170	0,000
Peso	0,108	170	0,000
Talla	0,101	170	0,000
Presión Máxima	0,135	170	0,000
Presión Media	0,083	170	0,006
Presión Antepié	0,061	170	0,200*
Presión Retropié	0,060	170	0,200*
Carga Antepié	0,045	170	0,200*
Carga Retropié	0,085	170	0,004
Presión Máxima Zona 1	0,088	170	0,003
Presión Máxima Zona 2	0,045	170	0,200*
Presión Máxima Zona 3	0,307	170	0,000
Presión Máxima Zona 4	0,196	170	0,006
Presión Máxima Zona 5	0,101	170	0,000
Presión Máxima Zona 6	0,204	170	0,000
Presión Máxima Zona 7	0,139	170	0,000
Presión Máxima Zona 8	0,202	170	0,000
Presión Máxima Zona 9	0,469	170	0,000
Presión Máxima Zona 10	0,491	170	0,000

**Anexo 13 Tabla Estadísticos Descriptivos Variables Cuantitativas de la
Segunda Fase**

(*se ajustan a la normal)

Variable		Media/Mediana	Desviación Típica/Amplitud Intercuartil
Edad	Índex Plus Minus	21	4
	Índex Plus	22,5	9
	Índex Minus	21	4
Peso	Índex Plus Minus	69	18
	Índex Plus	55,25	9,4
	Índex Minus	67	17,9
Talla	Índex Plus Minus	1,7	0,14
	Índex Plus	1,6	0,10
	Índex Minus	1,7	0,16
Presión Máxima del Pie	Índex Plus Minus	103,4	47,95
	Índex Plus	84,9	21,03
	Índex Minus	103,6	46,55
Presión Media del Pie	Índex Plus Minus	26,7	12,15
	Índex Plus	19,75	6,18
	Índex Minus	26,7	8,6
Presión Antepié*	Índex Plus Minus	56,46	8,34
	Índex Plus	60,8	8,25
	Índex Minus	54,07	11
Presión Retropié*	Índex Plus Minus	43,53	8,34
	Índex Plus	39,2	8,25
	Índex Minus	45,74	10,84
Carga Antepié*	Índex Plus Minus	28,75	6,26
	Índex Plus	28	3,19
	Índex Minus	27,34	6,97
Carga Retropié	Índex Plus Minus	20,7	5,39
	Índex Plus	18,35	9,85
	Índex Minus	22	7,75

**Anexo 13 Tabla Estadísticos Descriptivos de las Variables Cuantitativas de la
Segunda Fase (continuación)**

(*se ajustan a la normal)

Variable		Media/Media na	Desviación Típica/Amplitud Intercuartil
Presión Máxima Zona 1	Índex Plus Minus	80,4	56,9
	Índex Plus	28,05	20
	Índex Minus	73	65,3
Presión Máxima Zona 2*	Índex Plus Minus	77,98	34,26
	Índex Plus	50,62	38,02
	Índex Minus	74,41	34,64
Presión Máxima Zona 3	Índex Plus Minus	0	12,1
	Índex Plus	4,9	29,5
	Índex Minus	0	11,7
Presión Máxima Zona 4	Índex Plus Minus	10,5	19,5
	Índex Plus	0	23
	Índex Minus	11,2	23,8
Presión Máxima Zona 5	Índex Plus Minus	39,4	22,4
	Índex Plus	57,7	70
	Índex Minus	35,4	26,6
Presión Máxima Zona 6	Índex Plus Minus	52,5	28,7
	Índex Plus	44,75	31,7
	Índex Minus	51,2	27,4
Presión Máxima Zona 7	Índex Plus Minus	67,3	47,7
	Índex Plus	33,75	35,8
	Índex Minus	60,4	49,4
Presión Máxima Zona 8	Índex Plus Minus	15,3	24,5
	Índex Plus	27,9	52,7
	Índex Minus	10,3	24,1
Presión Máxima Zona 9	Índex Plus Minus	0	3,8
	Índex Plus	-	-
	Índex Minus	0	0
Presión Máxima Zona 10	Índex Plus Minus	0	0
	Índex Plus	-	-
	Índex Minus	0	0

Anexo 14. Homogeneidad de los 3 grupos de pies según la fórmula metatarsal

Variable	Prueba Anova de Kruskall Wallis	Prueba de Dunn		
		Index plus minus versus index plus	Index plus minus versus index minus	Index plus versus index minus
Edad	p=0,677	-	-	-
Peso	p=0,023	p<0.05	p>0.05	p<0.05
Talla	p=0,057	-	-	-
Presión Media del Pie	p=0,428	-	-	-
Presión Máxima del Pie	p=0,086	-	-	-

Anexo 15. Diferencias en Presiones Máximas según la fórmula metatarsal

Variable	Prueba Anova de Kruskall Wallis	Prueba de Dunn		
		Index plus minus versus index plus	Index plus minus versus index minus	Index plus versus index minus
Zona 1	p=0,03	p<0.05	p<0.05	p>0.05
Zona 2	p=0,21*	-	-	-
Zona 3	p=0,72*	-	-	-
Zona 4	p=0,30*	-	-	-
Zona 5	p=0,27*	-	-	-
Zona 6	p=0,51*	-	-	-
Zona 7	p=0,04	p<0.05	-	-
Zona 8	p=0,27*	-	-	-
Zona 9	p=0,30*	-	-	-
Zona 10	p=0,38*	-	-	-

	TEST	CCI		ESM	
	Intervalo	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Explorador 1	1 Manual	0,980	0,991	0,004	0,008
	1 Radiológico	0,981	0,991	0,004	0,008
	1 Radiológico Contorno	0,980	0,991	0,003	0,007
	2 Manual	0,874	0,939	0,009	0,017
	2 Radiológico	0,937	0,970	0,004	0,007
	Longitud 1 manual	0,960	0,981	0,014	0,026
	Longitud 1 Rx	0,987	0,994	0,005	0,009
	Longitud 1 Rx Contorno	0,987	0,994	0,005	0,010
	Longitud 2	0,974	0,988	0,012	0,023
	Longitud 2 Rx	0,987	0,994	0,005	0,009
	Longitud 2 Rx Contorno	0,988	0,995	0,005	0,009

Anexo 16. Tabla de intervalos de confianza del CCI y ESM del explorador 1

	TEST	CCI		ESM	
	Intervalo	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Explorador 2	1 Manual	0,976	0,989	0,005	0,009
	1 Radiológico	0,984	0,993	0,003	0,007
	1 Radiológico Contorno	0,981	0,991	0,003	0,007
	2 Manual	0,889	0,947	0,008	0,016
	2 Radiológico	0,936	0,970	0,004	0,007
	Longitud 1 manual	0,988	0,994	0,012	0,022
	Longitud 1 Rx	0,980	0,991	0,009	0,018
	Longitud 1 Rx Contorno	0,982	0,991	0,011	0,022
	Longitud 2	0,972	0,987	0,013	0,025
	Longitud 2 Rx	0,976	0,989	0,009	0,017
	Longitud 2 Rx Contorno	0,979	0,990	0,009	0,018

Anexo 17. Tabla de intervalos de confianza del CCI y ESM del explorador 2.

	TEST	CCI		ESM	
	Intervalo	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Explorador 1 Explorador 2	1 Manual	0,986	0,994	0,001	0,002
	1 Radiológico	0,993	0,997	0,000	0,001
	1 Radiológico Contorno	0,987	0,995	0,001	0,002
	2 Manual	0,804	0,915	0,006	0,012
	2 Radiológico	0,989	0,996	0,000	0,000
	Longitud 1 manual	0,894	0,955	0,017	0,033
	Longitud 1 Rx	0,987	0,995	0,002	0,004
	Longitud 1 Rx Contorno	0,986	0,994	0,002	0,005
	Longitud 2	0,926	0,969	0,016	0,030
	Longitud 2 Rx	0,979	0,991	0,003	0,007
	Longitud 2 Rx Contorno	0,977	0,991	0,004	0,009

Anexo 18. Tabla intervalos de confianza del CCI y ESM de la comparativa entre explorador 1 y 2.

TEST	CCI		ESM	
Intervalo	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1 Manual x 1 Radiológico	0,778	0,903	0,024	0,045
1 Manual x 1 Radiológico Contorno	0,786	0,907	0,020	0,039
2 Manual x 2 Radiológico	0,181	0,560	0,029	0,054
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico	0,600	0,815	0,074	0,139
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico Contorno	0,528	0,777	0,094	0,176
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico	0,315	0,650	0,155	0,290
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico Contorno	0,321	0,654	0,164	0,307

Anexo 19. Tabla intervalos de confianza del CCI y ESM de la comparativa entre comparativa entre los test manuales y radiológicos del explorador 1.

TEST	CCI		ESM	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
1 Manual x 1 Radiológico	0,746	0,888	0,027	0,051
1 Manual x 1 Radiológico Contorno	0,764	0,897	0,023	0,043
2 Manual x 2 Radiológico	0,184	0,562	0,029	0,055
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico	0,555	0,792	0,081	0,151
Longitud 1 manual x Longitud 1 Radiológico Contorno	0,496	0,759	0,103	0,193
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico	0,285	0,631	0,167	0,312
Longitud 2 manual x Longitud 2 Radiológico Contorno	0,300	0,641	0,175	0,326

Anexo 20. Tabla intervalos de confianza del CCI y ESM de la comparativa entre comparativa entre los test manuales y radiológicos del explorador 2.

Anexo 21. Valores de las protrusiones del explorador 1 para el test 1 manual, radiológico y radiológico contorno.

Diferencias (mm)	Test 1 Manual		Diferencias (mm)		Test 1 Radiológico		Diferencias (mm)		Test 1 Radiológico Contorno	
	Número	%			Número	%			Número	%
-0,7 a -0,3	5	6,4	-0,9 a -0,3		11	14,1	-0,8 a -0,3		7	9
-0,2 a -0,1	2	2,6	-0,2 a -0,1		10	12,8	-0,2 a -0,1		2	2,6
0	4	5,1	0		7	9	0		5	6,4
0,1 a 0,2	10	12,8	0,1 a 0,2		12	15,4	0,1 a 0,2		16	20,5
0,3 a 0,9	46	59	0,3 a 0,9		35	44,9	0,3 a 0,9		43	55,1
1 a 1,8	11	14,1	1 a 1,9		3	3,8	1 a 1,8		5	6,4

Anexo 22. Valores de las protrusiones del explorador 1 para el test 2 manual y radiológico.

Diferencias (mm)	Test 2 Manual		Diferencias (mm)	Test 2 Radiológico	
	Número	%		Número	%
-1,1 a -0,3	52	66,7	-0,9 a -0,3	40	51,3
-0,2 a -0,1	17	21,8	-0,2 a -0,1	14	18
0	5	6,4	0	11	14,1
0,1 a 0,2	4	5,1	0,1 a 0,2	10	12,8
0,3 a 0,4	0	0	0,3 a 0,4	3	3,8

Anexo 23. Valores de las protrusiones del explorador 2 para el test 1 manual, radiológico y radiológico contorno.

Diferencias (mm)	Test 1 Manual		Diferencias (mm)	Test 1 Radiológico		Diferencias (mm)	Test 1 Radiológico Contorno	
	Número	%		Número	%		Número	%
-0,7 a -0,3	5	6,4	-1 a -0,8	3	3,8	-0,8 a -0,3	7	9
-0,2 a -0,1	3	3,8	-0,7 a -0,3	8	10,3	-0,2 a -0,1	2	2,6
0	4	5,1	-0,2 a -0,1	10	12,8	0	6	7,7
0,1 a 0,2	8	10,3	0	7	9	0,1 a 0,2	15	19,2
0,3 a 0,9	47	60,3	0,1 a 0,2	13	16,7	0,3 a 0,9	42	53,8
1 a 1,8	11	14,1	0,3 a 0,9	34	43,6	1 a 1,8	6	7,7
			1 a 1,5	3	3,8			

Anexo 24. Valores de las protrusiones del explorador 2 para el test 2 manual y radiológico.

Diferencias (mm)	Test 2 Manual		Diferencias (mm)	Test 2 Radiológico	
	Número	%		Número	%
-1 a -0,8	8	10,3	-0,9 a -0,3	37	47,5
-0,7 a -0,3	46	59	-0,2 a -0,1	18	23,1
-0,2 a -0,1	17	21,8	0	10	12,8
0	4	5,1	0,1 a 0,2	10	12,8
0,1 a 0,2	3	3,8	0,3 a 0,4	3	3,8

Anexo 25. Gráficos Fórmula Metatarsal y Zona de Presión Máxima

Gráfico de barras

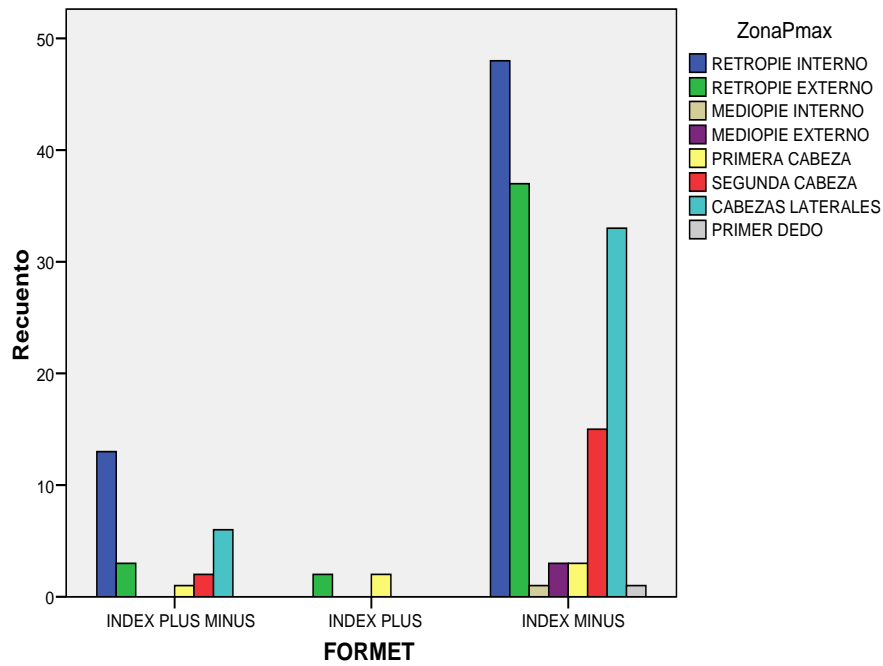


Gráfico 25. Fórmula Metatarsal y Zona de Presión Máxima en la planta del pie

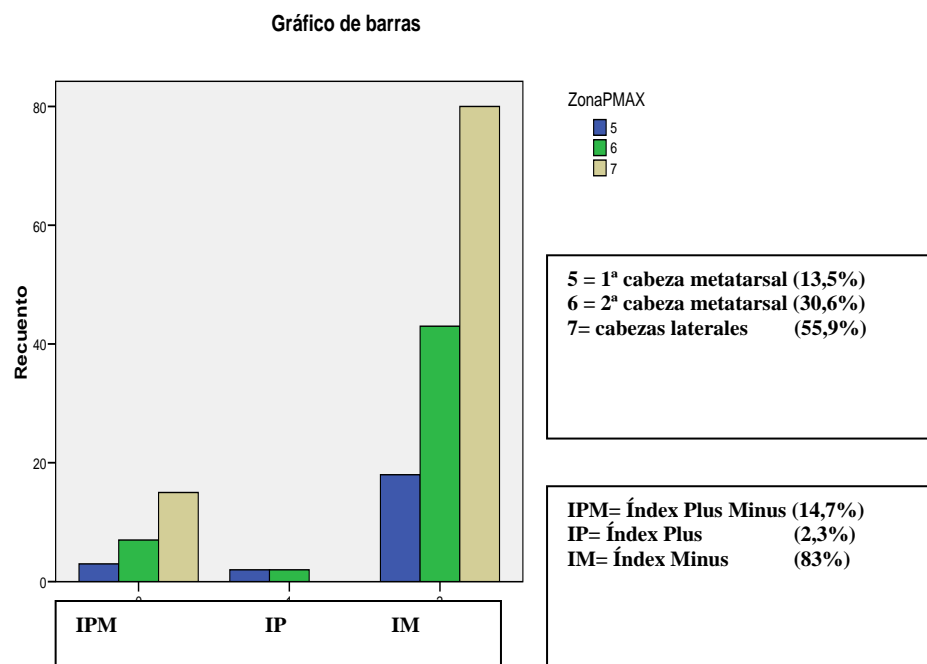


Gráfico 26. Fórmula Metatarsal y Zona de Presión Máxima a nivel metatarsal.

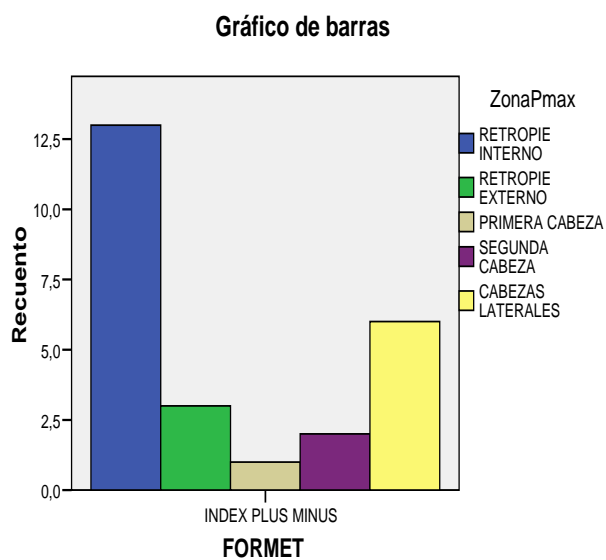


Gráfico 27. Zona de Presión Máxima a nivel metatarsal en pies índice plus minus

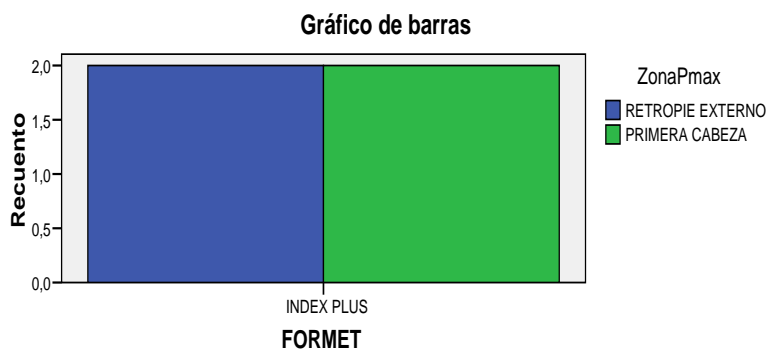


Gráfico 28. Zona de Presión Máxima a nivel metatarsal en pies índice plus

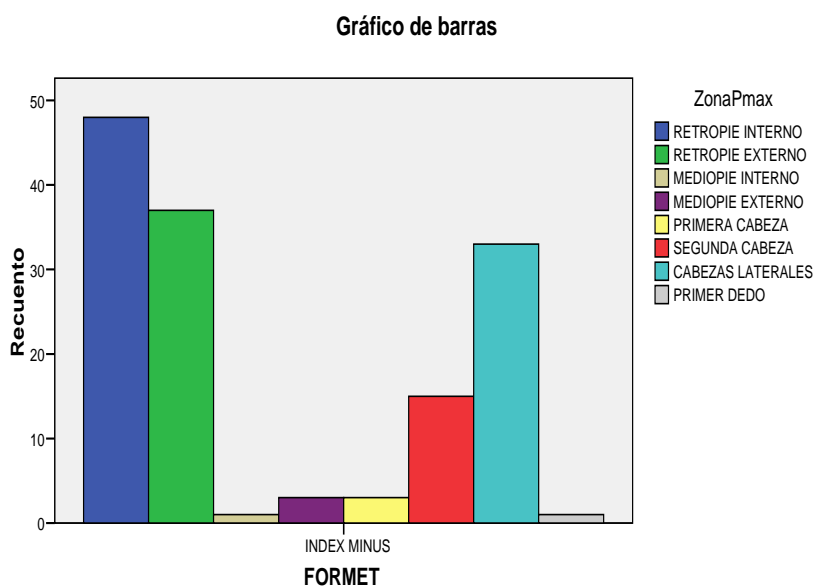


Gráfico 29. Zona de Presión Máxima a nivel metatarsal en pies índice minus