



# Variability Running

Revisión Bibliográfica – Trabajo Fin De Grado

Roberto Sabuco Pagán

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Curso académico 2016-2017

Tutor Académico: Tomás Urbán Infantes

ÍNDICE

RESUMEN.....	p.2
1- CONTEXTUALIZACIÓN.....	p.2
2- METODOLOGÍA.....	p.4
3- RESULTADOS.....	p.5
4- DISCUSIÓN.....	p.12
5- CONCLUSIONES.....	p.14
6- PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	p.14
7- BIBLIOGRAFÍA.....	p.16



## RESUMEN

El número de corredores en España ha aumentado exponencialmente en los últimos años. Este gran incremento ha provocado que se incremente el número de lesiones relacionadas con el sistema musculoesquelético. La lesión más prevalente en este tipo de práctica deportiva se ha asociado principalmente a lesiones por sobreuso, debido a la realización continuada de la carrera a pie sobre terrenos de gran dureza que provocan altos grados de fuerzas de reacción.

Los resultados parecen mostrar un menor riesgo de lesión al correr sobre superficies blandas respecto a superficies duras. Si bien, se han encontrado evidencias en la literatura sobre los beneficios de variar los diferentes tipos de superficies (duras y blandas), lo que permite una mejor adaptación progresiva del sistema musculoesquelético a las superficies duras y, por tanto, reduciendo el riesgo de lesión cuando tengan que enfrentarse a ese tipo de superficies.

Estas consideraciones deberían ser tomadas en cuenta por entrenadores y preparadores físicos en el proceso de prescripción de entrenamiento especialmente en corredores a fin de evitar posibles lesiones por sobreuso. Igualmente, deberían ser tomadas en cuenta en el diseño y construcción de nuevos espacios dedicados a la práctica de la carrera a pie introduciendo diferentes tipos de superficies con el objetivo de minimizar los posibles riesgos de lesión que están asociados a este tipo de práctica deportiva.

**Palabras clave:** Running, Superficies, Lesiones, Cinemática

### 1- CONTEXTUALIZACIÓN

La carrera a pie o actualmente más conocido por el término anglosajón “running” es una actividad de alta accesibilidad y bajo coste (Fredericson & Misra, 2007), con considerables evidencias sobre los beneficios positivos para la salud (Lavie et al., 2015; Johnson et al., 2017). De acuerdo con la última encuesta de hábitos deportivos en España (2010), el porcentaje de la población española mayor de quince años que practica el running es del 5,6 %, porcentaje que si es calculado sobre el conjunto de la población que realiza alguna práctica deportiva se sitúa en el 12,9 %. Ese ligero aumento la convierte en la quinta práctica deportiva más importante en España, por detrás de la actividad física guiada, el fútbol, la natación y el ciclismo (García Ferrando & Llopis Goig, 2011). No obstante, el running también está asociado con un alto riesgo de lesiones, entre las que destacarían aquellas causadas por el sobreuso, (Gallo, Plakke & Silvis, 2012; Tschopp & Brunner, 2017) es decir, por la repetición de micro traumatismos que se producen durante la reproducción continuada de un mismo gesto.

No hay una definición estándar de lesión por sobreuso en la carrera a pie, si bien, algunos autores la han definido como una disfunción musculoesquelética atribuida a la carrera a pie, causante de restricción de la velocidad en carrera, distancia, duración o frecuencia entre sesiones durante al menos una semana (Hreljac, Marshall & Hume, 2000; Koplán, Powell, Sikes, Shirley & Campbell, 1982; Macera et al., 1989). Los ejemplos más comunes de lesiones por sobreuso durante la carrera a pie son la fractura por estrés, la condromalacia patelar, el estrés en la zona medial de la tibia, la fascitis plantar y la tendinitis del tendón de Aquiles (Hreljac, 2004). La mayoría de factores biomecánicos causantes de dichas lesiones están asociados a variables cinemáticas de la técnica de pisada con el talón. Diversos autores han especulado que las variables cinéticas causantes de lesiones por sobreuso en la carrera a pie son la magnitud de fuerzas de impacto (Cavanagh & Fortune, 1980; Clement & Taunton, 1980), el ratio de impacto de carga (Nigg, 1986), la magnitud de fuerzas propulsivas activas (Winter, 1983) y la magnitud de fuerzas de la articulación de la rodilla (Scott & Winter, 1990).

Otro de los factores clave en las lesiones por sobreuso se encuentra en las características y el tipo de superficie donde se practica la carrera a pie. Dichas lesiones pueden ser debidas a las altas fuerzas de reacción provocadas por el impacto del pie contra el suelo (Tillman, Fiolkowski, Bauer & Reisinger, 2002). En este sentido, correr sobre superficies inapropiadas con suelos duros además de los cambios en las pendientes, pueden estar relacionados con la aparición de lesiones en corredores (Derrick, DeReu & McLean, 2002; Tartaruga, Black, Coertjens, Ribas & Krueel, 2005). Además, las superficies con incrementos en el grado de elevación aumentan la demanda del tríceps sural, por lo tanto causan mayor estrés en gastrocnemios y tendón de Aquiles, dando la posibilidad de causar una rotura fibrilar o tendinosa (Sallade & Koch, 1992). Sin embargo, otros autores han presentado resultados que se orientan en dirección opuesta, encontrando que correr sobre superficies con elevación o pendientes parecen mostrar resultados favorables sobre la articulación de la rodilla en personas que tienen como factor de riesgo osteoartritis, entre ellas personas con un varo acentuado de rodilla, sobrepeso o lesión previa del ligamento cruzado anterior (Gottschall & Kram, 2005). Estos autores sostienen que la fuerza pico de impacto es mayor corriendo con la técnica de pisada en retropié como contacto inicial con el suelo en superficies descendentes, y menor en superficies ascendentes utilizando el mediopié en la técnica de pisada. Los datos obtenidos en la fuerza pico de impacto indican que la probabilidad de lesiones musculoesqueléticas aumenta durante la carrera a pie en superficies con descenso, y la probabilidad de lesión disminuye en superficies ascendentes (Gottschall & Kram, 2005) mostrando cierta controversia con los resultados presentados por otros autores, los cuales indicaban que correr en superficies con elevación puede estar relacionado con la aparición de lesiones. El momento de fuerza de la rodilla es mayor en el plano frontal y transversal al correr en superficies con elevación, además la zona medial de la articulación subtalar está expuesta a mayor estrés. Si estas estructuras no están adaptadas a estos niveles de estrés, la alta frecuencia de impacto en estas condiciones puede desembocar en una lesión por sobreuso (Dixon, Tysseyre, Damavandi & Pearsall, 2011).

En la literatura científica de referencia, se encuentran estudios en los que se presentan resultados donde argumentan que correr sobre una superficie con pendiente provoca modificaciones sobre la técnica de carrera. Estos estudios utilizaban diferentes porcentajes de pendiente (0, 3, 6 y 9%) manteniendo estable la velocidad (3 m/s), observando una ligera disminución en la longitud de la zancada y un aumento de la frecuencia de zancada a medida que la pendiente aumentaba (Padulo, Annino, Migliaccio, Dottavio & Tihanyi, 2012; Minetti et al., 1994; Gottschall et al., 2005). Igualmente, la flexión de rodilla y la dorsiflexión del tobillo se incrementan cuando la pendiente aumenta de forma progresiva, asociando ello a un uso del antepié como patrón de pisada (Perl, Daoud, Lieberman, 2012).

Otro de los elementos de gran importancia a tener en consideración se encuentra en los tipos de superficies por donde se realiza la carrera a pie. De forma regular, los corredores realizan la práctica de la carrera sobre diferentes superficies en función de la zona más próxima a su zona de residencia. La presencia de corredores en entornos ajardinados como parques, pistas de montaña, aceras de las ciudades o carreteras secundarias es una imagen habitual del entorno. Estos cambios en las superficies por las que se transcurre puede ser si el corredor no tiene una preparación previa uno de los principales factores de riesgo que pueden desembocar en una futura lesión. Algunos autores han concluido que correr sobre superficies con menor dureza como la madera o moqueta provoca en los atletas una mayor activación de la musculatura posteromedial del tren inferior (gemelo y soleo) a nivel excéntrico. Una excesiva actividad por parte de esta musculatura está vinculada al síndrome de estrés tibial medial, siendo una lesión progresiva que se inicia con una lesión en la inserción tibial del sóleo (Shin Splints), progresando a una reacción ósea por estrés tibial que desembocará en una fractura por estrés tibial en caso de no dejar la actividad desencadenante (Richie, DeVries & Endo, 1993). Por su parte, los atletas que realizan la carrera a pie sobre superficies de

hormigón y asfalto muestran mayor presión por unidad de tiempo en la zona del mediopié y antepié. Otras de las superficies utilizadas habitualmente para practicar la carrera a pie son el césped y el tartán, estas dos superficies provocan una mejor disipación del impacto producido por el talón durante la fase de aterrizaje sobre la superficie. En cuanto al césped se observan diferencias entre el césped natural y artificial. El césped natural muestra mayor rango de lesión respecto al césped artificial, que muestra un menor grado de incidencia de lesión (Belloch, Soriano & Figueres, 2010), si bien, estos resultados deben tomarse con cautela, ya que solamente han sido analizados en jugadores de fútbol en los que se incorporan además de la carrera los cambios de dirección. Por otro lado la superficie de grava muestra mayor incidencia de lesión que el césped artificial en jugadores de fútbol (West Berlin Soccer Federation, 1985).

A la vista de los resultados extraídos de la literatura científica respecto a los valores de presión plantar, la superficie donde se va a realizar la carrera a pie debería estar considerada antes de prescribir ejercicio físico, con el objetivo de evitar posibles lesiones (Tessutti, Pereira, Trombini, Onodera & Sacco, 2007). Los resultados obtenidos en diferentes estudios, muestran al césped natural es una de las principales superficies recomendadas, ya que ofrece un menor riesgo de desarrollar lesiones a nivel musculo-esquelético (Tessutti, Trombini, Ribeiro, Nunes & Sacco, 2010). Por otro lado, además de disminuir el riesgo de lesiones el césped también modifica la técnica de carrera de los corredores. Asimismo, en corredores experimentados la altura del césped alto muestra una disminución de la longitud de zancada y mostrando un aumento en el desplazamiento vertical de la cadera en comparación con el asfalto (Creagh, Reilly & Lees, 1998). Por su parte, los corredores recreacionales muestran pasos más cortos y, tienen dificultad para mantener un determinado ritmo de carrera cuando corren en césped alto en comparación con superficies duras (Creagh et al., 1998).

La utilización durante la práctica de la carrera a pie en terrenos duros (asfalto y cemento) de forma moderada combinado con terrenos blandos (césped, arena, astillas de madera) favorece la adaptación del sistema musculo-esquelético y por lo tanto evita el riesgo de lesión, ya que si únicamente se utilizan terrenos blandos la lesión puede producirse por una transición a terreno duro de forma brusca sin una previa adaptación de nuestra musculatura y articulaciones (Giraldez & Soidan, 2002).

El objetivo de esta revisión es conocer las evidencias científicas que se encuentran en la literatura de referencia, acerca de los efectos que provoca sobre los atletas el practicar la carrera a pie sobre diferentes tipos de superficie y características de las mismas, y en base a los resultados extraídos en el proceso de revisión, utilizarlos a modo de propuesta para el diseño de un circuito de running que trate de minimizar los posibles riesgos de lesión derivados de la propia práctica introduciendo variaciones en las superficies que favorezcan una adecuada adaptación de los sistemas implicados en la carrera a pie.

## 2- METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los artículos publicados durante los últimos 10 años (desde enero del 2007 a marzo de 2017) acerca de la temática de trabajo. La búsqueda se realizó a través de las bases de datos *Pubmed*, *Researchgate* y *Google Académico*, insertando las siguientes palabras clave: “*Running Surface*” seguido de “*Effect*”, “*Kinematics*”, “*Technique*”, y posteriormente revisando el título y abstract de los artículos encontrados. La búsqueda se realizó en marzo de 2017.

Por medio de un diagrama de flujo se seleccionaron los artículos, siguiendo las directrices del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematics Review and Meta-analyses) (Urrútia y Bonfil, 2010).

Los criterios de inclusión/exclusión que se han seleccionado fueron los siguientes:

1. Artículos publicados a partir del 2007.
2. Estudios realizados con corredores sin ninguna lesión previa.
3. Trabajos con corredores recreacionales o elite.
4. El contenido debe mostrar al menos tres variables que presente el efecto de una o varias superficies sobre la técnica de carrera.

En la primera búsqueda se obtuvieron 387 resultados. Una gran parte de los artículos se observó que eran de temas no relacionados, varios de ellos solo incluían una palabra clave. Tras la lectura inicial del título y del abstract se obtuvieron 17 artículos. Una vez aplicados los criterios de inclusión/exclusión se seleccionaron 8 artículos, por lo tanto 9 artículos fueron excluidos por no cumplir los criterios seleccionados.

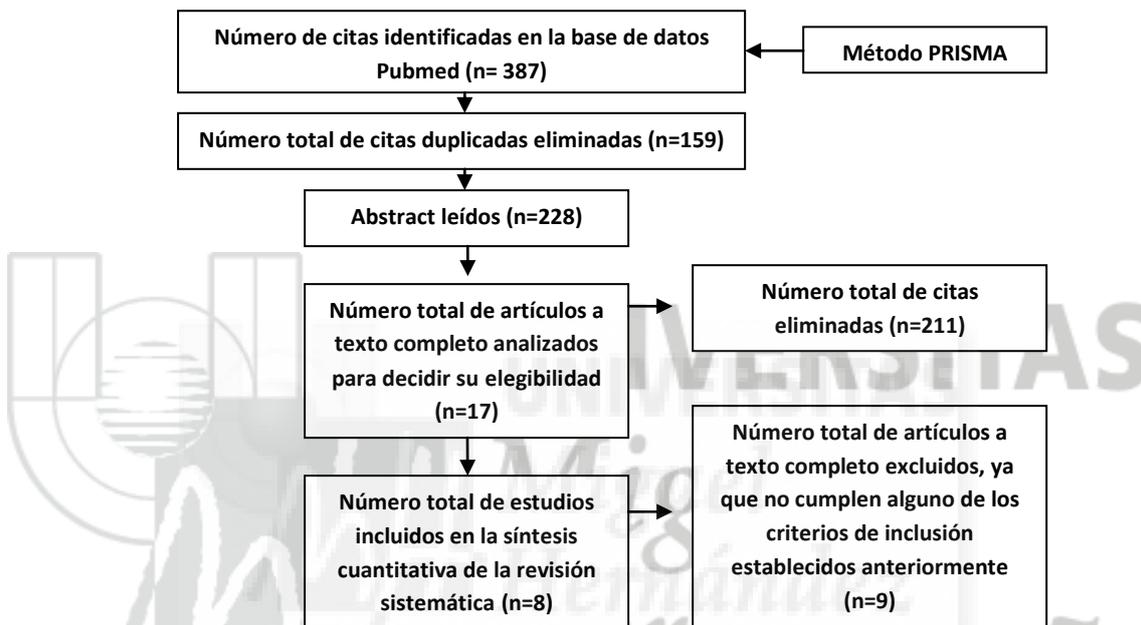


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de inclusión de los artículos para la síntesis cuantitativa de la revisión sistemática.

3- RESULTADOS

Tabla 1 .Características principales de los artículos seleccionados

Referencia	Participantes		Experiencia	Método	Material & Variables
	Muestra	Edad			
Tessutti, Ribeiro, Souza, & Sacco, 2012	N total= 47 N varones=34 N mujeres=13	Rango: 18 a 50 Media de edad ↓ Varones: 35.1 Mujeres: 38.9	Distancia media: 38±13 km/sem. >20 km/sem durante un año.	Carrera a pie 40 m a 12 km/h en superficies de asfalto, césped natural, caucho y hormigón. No se registran datos los 10 m iniciales y finales. 5 min de máximo descanso entre superficies. Tres ensayos por superficie. Registro de medidas sobre seis regiones plantares: TM, TC, TL, M, AM, AL.	-Sistema Pedar X -PP, TPI, TC
Fu et al., 2015	N varones=30	23.7±1.2	3.5±1.4 años. Distancia media: 20.4±5.2 km/sem.	Carrera a pie 30 m a 12 km/h en superficies de hormigón, césped, cinta de correr, cinta de correr cubierta de goma EVA. Datos registrados entre 7,5 m y 22,5 m. 5 min de descanso entre superficies. Tres ensayos por superficie. Registro de medidas sobre cinco áreas: A, M <sup>1</sup> , T, M <sup>2</sup> , L.	-Cámara alta velocidad -Acelerómetro biaxial -PP,SP, TPI, PDCA -PPA

<p>Tessutti, Souza, Ribeiro, Nunes &amp; Sacco, 2008</p>	<p>N total=44 (amateur) N varones=32 N mujeres=12</p>	<p>35.7±6.8</p>	<p>4±3 años 35.7±13.4 km/sem</p>	<p>Carrera a pie de 40 m a 12 km/h. Registro de datos sobre seis regiones plantares: AM, AL, AC, M<sup>1</sup>, RM, RL.</p>	<p>-Sistema Pedar X -PP<sup>1</sup>, AC<sup>1</sup>, TC</p>
<p>Schüttte et al.,2016</p>	<p>N total =28 N entrenados =11 N recreacionales=17 % Varones: 85.5 % Mujeres: 14.5</p>	<p>Rango: 18 a 33</p>	<p>AE: &gt;50 km/semana R: &lt;30 km/semana</p>	<p>Carrera a pie de 90 m en las superficies de hormigón, pista sintética y astillas de madera. Media de velocidad registrada desde los 10 hasta los 70 m (fotocélula). -5 min de descanso entre superficies.</p>	<p>-Fotocélulas -Acelerómetro -PE: FZ, TA -PEDP: VA→VT,RZ→ML -PCD:FMI→VT AP</p>
<p>Boey, Aeles, Schütte &amp; Vanwanseele,2016</p>	<p>N total=35 N Mujeres=17 N Varones= 18 PD (n=6 varones, n=6 mujeres) CR (n=6 varones , n=6 mujeres) CE (n=6 varones, n=5 mujeres)</p>	<p>PD: 22.3±1.8 CR: 22.3±1.5 CE: 25.4±5.0</p>	<p>PD: &lt;2 h/sem CR: Entre 10 y 30 km/sem CE: &gt;50 km/sem</p>	<p>Carrera a pie de 90m en hormigón, pista sintética y superficie de astillas de madera. Realizan 2 ensayos a dos velocidades distintas (1º velocidad cómoda, 2º V→ 11 km/h).</p>	<p>-Acelerómetro tridimensional -Fotocélulas -PAVP</p>

<p>Hebert, Mourot &amp; Holmberg, 2015</p>	<p>N total=14 N elite=7 N amateur =7</p>	<p>Elite: 26.4±5.4 Amateur: 30.5±9.5</p>	<p>Amateur: 3.6 h/sem (25% STL, 45% STI, 30% STID) Elite: 10 h/sem (35% STL, 40% STI, 25% STID)</p>	<p>3x20 m por superficie→STL, STI, STID (1º a máx velocidad 2º velocidad de 13,8 km/h 3º 85%max en función de la velocidad máxima obtenida en 20 m). 2 min de descanso entre series.</p>	<p>-Fotocélulas -Cámaras infrarrojos (mov) -PTZ: V,TA,TZ,TCC, LZ ACTR durante PPI y D.</p>
<p>Alcaraz, Palao, Elvira &amp; Linthorne, 2011</p>	<p>N total= 10 atletas especializados en 100 y 200m. N varones=5 N mujeres= 5</p>	<p>Varones: 21±6 Mujeres: 19±2</p>	<p>Varones: 9±2 años Hombres: 8±2 años</p>	<p>Sprint 30 m a máx intensidad (salida en parado) en las superficies de arena y pista sintética.</p>	<p>Videocámara Células fotoeléctricas VVCG,VHCG, LZ,FZ, AA, VAA, DA,DD</p>
<p>Padulo, Annino, Migliaccio, D'Ottavio &amp; Tihanyi, 2012</p>	<p>N total=16 corredores de maratón N elite=8 N amateur=8</p>	<p>Elite: 21.17±2.32 Amateur: 21.83±1.33</p>	<p>Elite: 8±1.08 años Km/sem: 141±7.23 Amateur: 7±0.10 Km/sem: 127±2.71</p>	<p>6 series de 3 repeticiones en cinta. 5 min recuperación entre serie. Cada serie se ejecuta a una velocidad (14 km/h a 18 km/h) y en cada repetición se realiza tres pendientes (0%-2%-7%).</p>	<p>Cámara alta velocidad FZ, LZ , TC<sup>1</sup>, TV</p>

**Tabla 2.** Objetivos y Resultados de los artículos seleccionados

Referencia	Objetivo	Resultados
Tessutti, Ribeiro, Souza, & Sacco, 2012	Investigar el efecto de correr en las superficies de asfalto, césped natural, hormigón y caucho sobre la presión plantar en corredores adultos recreacionales.	Césped natural produce picos de presión un 16%↓ en TM, TL, TC en comparación con las otras superficies. Entre superficies duras (asfalto y hormigón) no hubo diferencias en las variables de presión. Similar comportamiento del caucho respecto al asfalto y hormigón.
Fu et al., 2015	Explorar los efectos de correr en las diferentes superficies sobre las características de la presión plantar y la aceleración de la tibia.	No hubieron diferencias significativas entre las cinco superficies en las variables de presión plantar durante FA, ni tampoco en el PP y SP de presión en el talón en el contacto inicial exceptuando la superficie de EVA que obtuvo ↓PP de presión y TPI. No hay diferencias significativas entre PPA. Las diferentes superficies no afectan al pico de impacto plantar (PIP) excepto la superficie con EVA que si afecta con ↓ PIP.
Tessutti, Souza, Ribeiro, Nunes & Sacco, 2008	Investigar cómo se distribuyen las cargas sobre la superficie plantar en césped natural y asfalto.	↑ PP en AC y AL → asfalto respecto a césped natural. ↑ AC <sup>1</sup> en AC →césped respecto a asfalto. ↑ TC en AC→césped respecto a asfalto.
Schüttte et al.,2016	Investigar los efectos de las superficies en la estabilidad dinámica y carga dinámica durante la carrera a pie usando un acelerómetro triaxial en a nivel del tronco.	↑RZ (ML) en pista sintética y en superficie de astillas de madera ↓FZ (ML). ↓RA (VT) ↓RZ ↓FMI (AP) respecto a la superficie de hormigón.

<p>Boey, Aeles, Schütte &amp; Vanwanseele, 2016</p>	<p>Identificar el efecto que produce las diferentes superficies, la velocidad y la experiencia del corredor en la aceleración vertical de la tibia.</p>	<p>↓PAVP en la superficie de astillas de madera en comparación con hormigón y pista sintética a una velocidad fijada de 11 km/h.                  ↑PAVP autoseleccionando la velocidad de carrera respecto a correr a una velocidad fijada.                  Correr en superficie de astillas de madera y a una velocidad moderada podría reducir el riesgo de lesión en la tibia.</p>
<p>Hebert, Mourot &amp; Holmberg, 2015</p>	<p>Identificar el efecto del estatus en el atleta además de la superficie en la biomecánica de carrera.</p>	<p><i>Velocidad máxima</i>                  ↓Velocidad máxima ↑LZ ↑TCC en STID comparado con STL.                  -Durante la pisada ↑extensión rodilla en STID comparado con STL (ambos grupos) ↑flexión plantar en amateurs ↑extensión cadera en STI en comparación con STL.  <i>85%max</i>                  ↓LZ en STI y STID comparado con STL ↓amateur.                  ↑Extensión de cadera ↑dorsiflexión durante la pisada en STID en comparación con STL. ↑dorsiflexión durante la propulsión en elite en todas las superficies.  <i>Velocidad 12,8 km/h</i>                  ↓TA ↓TZ ↓TCC en STI y STID comparado con STL en corredores elite.                  ↓LZ en STID en corredores amateur y elite.                  ↑flexión rodilla durante pisada ↑dorsiflexión durante propulsión en STDI respecto a STL.</p>
<p>Alcaraz, Palao, Elvira &amp; Linthorne, 2011</p>	<p>Comparar la cinemática de esprintar a máxima velocidad en arena y pista sintética de atletismo.</p>	<p>Arena vs pista sintética: ↓velocidad media a sprint en hombres y mujeres.                  Superficie arena: ↓centro de gravedad ↑inclinación del tronco durante la fase de contacto ↓ extensión de tronco en la fase final de apoyo.                  ↓Velocidad angular al esprintar en arena sobre la articulación de la cadera en fase de apoyo, además se asocia con ↓velocidad horizontal.                  ↑Flexión plantar ↑Flexión rodilla ↑ Flexión cadera sobre la superficie de arena respecto a la pista sintética en las tres fases → fase de contacto, apoyo y propulsión.                  Arena → ↓Frecuencia y longitud de zancada → ↓Velocidad horizontal → ↑Tiempo de contacto</p>

<p>Padulo, Annino, Migliaccio, D'Ottavio &amp; Tihanyi, 2012</p>	<p>Verificar la influencia de combinar diferentes velocidades y pendientes basado en los principales parámetros cinemáticos del grupo de corredores elite y amateur.</p>	<p>Elite y amateur ↓ LZ en todas las velocidades al 2% y 7%(↓↓) de pendiente respecto a 0%.</p> <p>Elite y amateur ↑ FZ progresivamente a medida que ↑ la velocidad y ↑ pendiente.</p> <p>Elite y amateur ↓ tiempo de contacto a medida que ↑ velocidad.</p> <p>Elite ↓ tiempo de contacto en pendiente 2% y 7% respecto a 0%.</p> <p>Amateur ↓ tiempo de contacto en pendiente 2% y ↑ tiempo de contacto en pendiente 7%.</p> <p>Elite y amateur ↓ TV progresivamente a medida que ↑ velocidad en pendiente 2% y 7%. A 0% de pendiente ↓ TV hasta la velocidad 16 km/h → ↑TV en elite y Amateur.</p>
--	--	---

PP=Presión pico; TPI=Tiempo presión integral; TC=Tiempo de contacto; TM=Talón medial; TL=Talón lateral; TC=Talón central; M<sup>1</sup>=Mediopié; AM=Antepié medial; AL=Antepié Lateral; AC=Antepié central; RM=Retropié medial; RL=Retropié lateral; PP<sup>1</sup>=Pico de presión; PP=Primer pico; SP=Segundo pico; PDCA= Pico distribución de cinco áreas; A=Antepié M<sup>2</sup>=Medial; T=Talón; L=Lateral; PPA=Pico positivo de aceleración; AC<sup>1</sup>=Área de contacto; AE=Altamente entrenados; R=Recreacionales; PE=Parámetros espacio-temporales; FZ=Frecuencia de zancada; TA=Tiempo de apoyo; PEDP=Parámetros de estabilidad dinámico postural; PCD= Parámetros de carga dinámica; FMI=Frecuencia mediana de impacto; VA=Variabilidad aceleración; RZ= Regularidad zancada; VT=Eje longitudinal; ML=Eje transversal; AP=Eje anteroposterior; STL= Sendero tierra llano; STI=Sendero tierra irregular; STID=Sendero tierra irregular denso; PTZ=Parámetros temporales zancada; TZ=Tiempo de zancada; TCC=Tiempo ciclo completo (Tiempo Apoyo+Tiempo oscilación); LZ=Longitud zancada; ACRT=Ángulo cadera-tobillo-rodilla; PPI=Pisada primer impacto; D=Despegue; VVCG= Velocidad vertical centro gravedad; VHCG=Velocidad horizontal centro gravedad; AA=Ángulo articulación; VAA=Velocidad angular articulación; DA=Distancia aterrizaje; DD=Distancia despegue; TC<sup>1</sup>=Tiempo de contacto; TV=Tiempo de vuelo; PD=Participantes desentrenados; CR=Corredores recreacionales; CE=Corredores entrenados; PAVP=Pico de aceleración vertical positivo; PIP=Pico de impacto plantar; EVA=etilvinilacetato; RA=Ratio aceleración; V=Velocidad; Mov=movimiento; Km=kilometro; Sem=semana; M=metro; Min=minuto; H=hora; Max=máxima ↓=Disminuye; ↓ ↓=Disminuyeconmásintensidad; ↑=Aumenta.

#### 4- DISCUSIÓN

En relación a los resultados de la revisión sistemática se ha considerado distribuir la presente discusión con las variables más representativas a nivel lesivo durante la carrera a pie.

##### Efecto de las superficies sobre la Presión plantar

El pico de presión que se ejerce sobre las diferentes superficies indica el grado de carga que recibe el sistema musculoesquelético durante la carrera a pie (Tessutti, Ribeiro, Souza, & Sacco, 2012). En este sentido, el correr sobre superficies blandas como el césped natural provoca un incremento en el tiempo de contacto sobre la superficie, mostrando así una mayor atenuación de la carga y como resultado una mejor adaptación del sistema musculoesquelético para absorber la presión plantar ejercida sobre la superficie, (Tessutti et al., 2008) La hipótesis inicial es que los resultados mostrarán un menor pico de presión en las superficies más blandas (césped y caucho) respecto a otras más duras (asfalto y cemento).

Estudios recientes han mostrado que correr sobre superficies duras como el asfalto provocaron una reducción en el tiempo de contacto, así como una menor área de contacto con la superficie y por consiguiente un mayor riesgo de lesión por el mayor impacto o estrés que recibe el sistema musculoesquelético (Tessutti, et al., 2012; Fu et al., 2015). El correr por superficies más blandas muestra un menor pico de presión en la superficie de césped respecto a las superficies de hormigón y asfalto, especialmente durante la fase de apoyo (primer contacto inicial) y en el momento de impulsión del pie en las regiones plantares: talón central, talón medial, antepié medial y antepié lateral. En la región plantar del mediopie no se encontraron diferencias significativas (Tessutti et al., 2012; Tessutti et al., 2008). No obstante, otros autores presentaron cierta controversia en su estudio, encontrando resultados que se muestran en dirección opuesta, no se observando diferencias significativas en el pico de impacto durante el primer contacto entre los diferentes tipos de superficies (hormigón, césped natural y pista sintética) (Fu et al., 2015). Estos resultados parecen indicar que la carrera sobre superficies con mayor dureza no tendría por qué estar relacionadas con un mayor riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

##### Efecto de las superficies en el pico positivo de aceleración

El pico positivo de aceleración representa el pico de impacto tibial (Fu et al., 2015). No se observaron diferencias respecto al pico positivo de aceleración (PPA) entre las superficies de hormigón, césped, pista sintética, cinta de correr a velocidades moderadas ( $\pm 3,3$  m/s) (Fu et al., 2015). No obstante, en otro estudio los resultados mostraron mayor impacto tibial en la superficie de hormigón respecto a pista sintética cuando la velocidad se realizaba a una velocidad elevada ( $\pm 5$  m/s), aunque encontraron resultados similares respecto a la no existencia de diferencias entre superficies a velocidades de desplazamiento moderadas (Greenhalgh, Sinclair, Leat & Chockalingam, 2012). Por lo tanto, en base a los resultados parece que una velocidad moderada no suponía suficiente estímulo como para observar diferencias entre superficies en el PPA. No obstante, un estudio reciente realizado sobre una superficie de astillas de madera mostró un menor PPA a una velocidad de desplazamiento moderada, mostrando un menor riesgo de lesión por impacto tibial.

Otro de los aspectos que deberían ser tenidos en cuenta sería el nivel del atleta, no obstante, los resultados parecen no indicar diferencias significativas en el PPA entre superficies a una velocidad moderada, aunque si se observa un incremento en el PPA cuando se desplazan a una velocidad para los corredores experimentados y recreacionales que se encuentre entre moderada y elevada (3,3 a 5 m/s). A la vista de los resultados presentados, se podría asumir que el PPA se incrementaría cuando la velocidad de desplazamiento aumenta, a excepción de los atletas desentrenados, los cuales no presentaron diferencias significativas entre velocidades moderadas y elevadas. No obstante, respecto al nivel de los atletas

(desentrenados, recreacionales y experimentados) no se observaron diferencias significativas cuando estos utilizaban una velocidad de desplazamiento que cada atleta en función del nivel de experiencia seleccionaba para la carrera, independientemente de la superficie por la que se desplazaba (asfalto, hormigón y astillas de madera) (Boey et al., 2016), si bien, cuando la velocidad de desplazamiento se encuentra por debajo de niveles moderados ( $\pm 3,3$  m/s) se observa una reducción significativa de la PPA en la superficie más blanda (pista sintética y superficie de astillas de madera) (Boey et al., 2016). Por otro lado, el incrementar la velocidad de desplazamiento a valores elevados ( $> 5$  m/s) mostró un incremento significativo en la PPA cuando el atleta realiza la actividad sobre una superficie dura como el hormigón (Greenhalgh et al., 2012).

#### Efecto de la arena sobre los parámetros cinemáticos

La utilización de una superficie blanda como la arena muestra una menor velocidad horizontal y una menor longitud de zancada comparado con una superficie más rígida como pista sintética, debido principalmente a que la fuerza generada por el atleta es disipada en la arena durante la fase de apoyo del pie (Nigg, 1988). La pérdida de esta energía produce menor velocidad en la fase de despegue o impulsión del pie y como consecuencia una menor velocidad de sprint (Lejeune, Willems & Heglund, 1998), observándose una menor frecuencia de zancada como consecuencia de un mayor tiempo de contacto en la fase de apoyo (Alcaraz, Palao, Elvira & Linthorne, 2011).

#### Efecto de las pendientes positivas en las variables cinemáticas de carrera

Los corredores elite a medida que aumenta la pendiente reducen la longitud y frecuencia de zancada además del tiempo de contacto. Por su parte, los corredores amateur aumentan el tiempo de contacto con valores más elevados que los corredores elite, observando diferencias significativas en el tiempo de vuelo entre ambos grupos. Esta reducción del tiempo de vuelo no solo depende del gradiente de la pendiente, de hecho considerando el aumento de velocidad, el mayor tiempo de vuelo lo obtuvieron los corredores elite respecto a los corredores amateur, aspecto que podría estar relacionado con una mayor eficiencia en la fase de impulsión que se muestra con un menor tiempo de contacto. No hay diferencias significativas cuando se aumenta la pendiente del 2% al 7% indicando que la adaptación a la pendiente del 7% no es dependiente del nivel de rendimiento. Sin embargo, los corredores elite tienen mayor capacidad para encontrar la óptima combinación de longitud y frecuencia de zancada, por medio de una mejor fase propulsiva durante el tiempo de contacto generando así un mayor tiempo de vuelo y una mayor eficiencia en el patrón de movimiento, respecto a los corredores amateur (Padulo et al., 2012).

#### Efecto de las superficies a través de la carga y estabilidad dinámica

La superficie de astillas de madera muestra diferencias significativas respecto a la superficie de hormigón, observándose un mayor ratio de aceleración horizontal de frenado durante los primeros instantes de la fase de apoyo, una menor regularidad de la zancada, un menor pico de impacto y una menor frecuencia media de impacto a nivel horizontal y vertical. A la vista de los resultados obtenidos de la revisión, parece razonable hipotetizar que existe un menor riesgo de lesión al correr sobre una superficie más blanda (astillas de madera) respecto a superficies más duras (hormigón o asfalto). Si bien, un estudio previo realizado en laboratorio mostró que la estabilidad dinámica puede estar comprometida por el terreno irregular formado por astillas de madera (Schütte, Maas, Exadaktylos, berckmans & Vanwanseele, 2015).

#### Efecto de las superficies y el nivel del atleta en la biomecánica de carrera

La revisión de la literatura científica de referencia ha mostrado diferencias en la práctica de la carrera entre varias superficies (camino llano, terreno irregular y terreno irregular

denso), asociando estas al nivel de los atletas y la velocidad de desplazamiento. Los resultados obtenidos en la revisión parecen indicar que correr a velocidades moderadas (3,8 m/s) sobre un terreno irregular con densa vegetación (terreno forestal) está relacionado con zancadas y tiempos de fase de apoyo más cortos, una mayor flexión de rodilla durante el contacto inicial del primer apoyo y mayores rangos de movimiento en la pelvis, cadera y rodilla. Los resultados observados en atletas de élite mostraron una reducción en la amplitud de la zancada, así como una menor dorsiflexión durante la fase de apoyo cuando la carrera se realizaba sobre un terreno irregular denso. Tal y como ha sido presentado en estudios previos, los terrenos irregulares provocan en los corredores zancadas más cortas (Blum, Jeffery, Daley & Seyfarth, 2011; Creagh et al., 1998), al igual que un incremento en la flexión de rodilla con el objetivo de mostrar una mayor estabilidad (Blum et al., 2011; Rolf, Andersson, Westblad & Saltin, 1997).

## 5- CONCLUSIONES

En base a los resultados observados y la discusión presentada se llegan a las siguientes conclusiones:

- Correr sobre las superficies blandas (astillas de madera, césped, arena) presentan menor impacto para las articulaciones por un mayor tiempo de contacto, menor frecuencia de zancada y atenuación de la carga, además muestran una mayor área de contacto durante la aplicación de fuerza respecto al asfalto y, por lo tanto, menor riesgo de lesión.
- Aminorar la velocidad de desplazamiento en superficies blandas y duras reduce el pico positivo de aceleración, y por tanto produce menor impacto tibial.
- A medida que aumenta la pendiente positivamente el tiempo de vuelo decrece incrementando así la frecuencia de zancada además de disminuir el tiempo de contacto, factores que se relacionan con un mayor riesgo de lesión.
- Los terrenos irregulares muestran mayor riesgo de lesión debido a una menor fase de apoyo y una menor longitud de zancada.
- En vista de la discusión y las conclusiones se plantea la posibilidad de alternar terrenos duros y blandos ya que muestra mayores beneficios a nivel de impacto articular y tendinoso, disminuyendo así el riesgo de lesión.

## 6- PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

En función de los resultados obtenidos en la revisión se ha podido observar que superficies son más beneficiosas a nivel de impacto muscular y esquelético. Superficies duras (asfalto, cemento) y pendientes positivas presentan mayor riesgo de lesión que las superficies blandas (césped, astillas de madera, arena).

Sin embargo, se debe encontrar un equilibrio entre las superficies blandas y duras, ya que un abuso de utilización de las superficies blandas reducirá ampliamente el riesgo de lesión, si bien, el problema reside en que a nivel tendinoso y musculo-esquelético no se producirían las adaptaciones necesarias para enfrentarnos a una superficie de mayor dureza, y por lo tanto podría ocasionar lesiones como periostitis o fascitis plantar indirectamente, por una transición de terreno blando a terreno duro sin una adaptación progresiva que permita al sistema adecuarse.

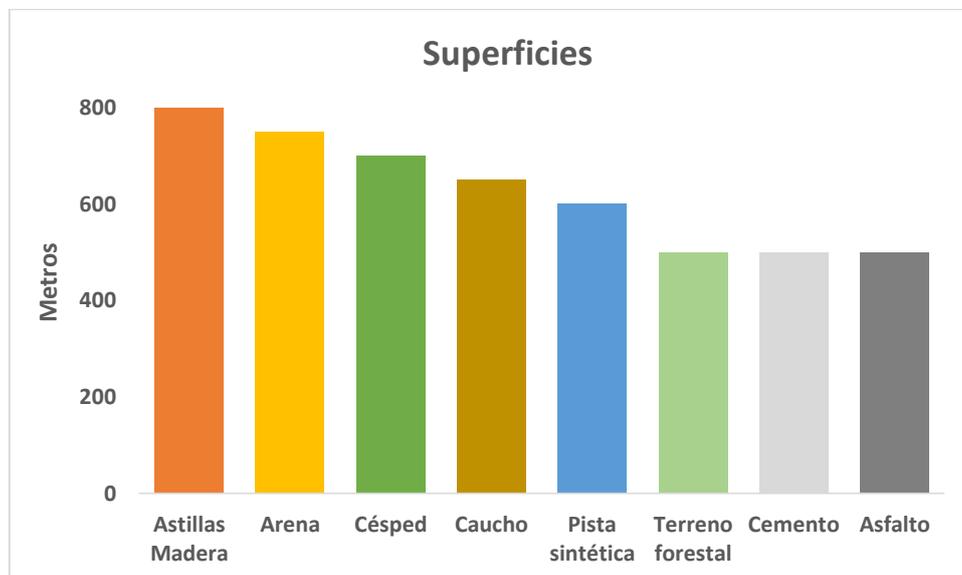
Por lo tanto, se propone el diseño de un circuito de una distancia de aproximadamente 5 km, en el cual se pretende alternar diferentes superficies con distintos grado de dureza para una correcta adaptación del sistema muscular y tendinoso, con el fin de evitar lesiones.

El circuito se iniciaría con tres superficies blandas (Astillas de madera (AM), arena (A) y césped (C)) seguido de tres superficies algo más duras (intermedias), caucho (CA), pista sintética (PS) y terreno irregular forestal (TIF), finalizando con dos superficies duras, cemento (CE) y asfalto (AS). En cuanto a la pendiente (p) comienza en el tramo de las superficies intermedias y finaliza en las superficies duras: **1ª media vuelta** → 200-400m ((CA) 0,5% p); 300-500m ((PS) 0,5% p); 100-200m ((TIF) 0,5%p); **2ª media vuelta** → 150-250m ((CE) 0,75 % p); 150-250 ((AS) 0,75% p)

La distancia está distribuida de la siguiente forma:

**1ª media vuelta:** -400m (AM) -25m (CE) -375m (A) -25m (AS) -350m (C) -25m (CE) -325m (CA) -- 25m (AS) -300m (PS) -250m (TIF) -200m (CE) -200m (AS).

**2ª media vuelta:** -400m (AM) -12,5m (CE) -375m (A) -12,5m (AS) -350m (C) -12,5m (CE) -325m (CA) -12,5m (AS) -300m (PS) -250m (TIF) -225m (CE) -225m (AS).



## 7-BIBLIOGRAFÍA

Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2011). Effects of a sand running surface on the kinematics of sprinting at maximum velocity.

Bert-Losier, K. I. M. H. E., Mourot, L., & Holmberg, H. C. (2015). Elite and amateur orienteers' running biomechanics on three surfaces at three speeds.

Blum Y, Birn-Jeffery A, Daley MA, Seyfarth A. (2011). Does a crouched leg posture enhance running stability and robustness? *J Theor Biol*, 281(1), 97–106.

Boey, H., Aeles, J., Schütte, K., & Vanwanseele, B. (2016). The effect of three surface conditions, speed and running experience on vertical acceleration of the tibia during running. *Sports biomechanics*, 16(2), 166-176.

Cavanagh, P. R. and Lafortune, M. A. (1980) Ground reaction forces in distance running. *J. Biomechanics*, 13, 397-406.

Clement, D. B., & Taunton, J. E. (1980). A guide to the prevention of running injuries. *Canadian Family Physician*, 26, 543.

Creagh, U., Reilly, T., & Lees, A. (1998). Kinematics of running on 'off-road' terrain. *Ergonomics*, 41(7), 1029-1033.

Derrick, T. R., Dereu, D., & Mclean, S. P. (2002). Impacts and kinematic adjustments during an exhaustive run. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(6), 998-1002.

Dixon, P. C., Tisseyre, M., Damavandi, M., & Pearsall, D. J. (2011). Inter-segment foot kinematics during cross-slope running. *Gait & posture*, 33(4), 640-644.

Federation, W. B. S. (1985). Risk of injury: a comparison between 230 sports fields.

Ferrando, M. G., & Goig, R. L. (2011). *Ideal democrático y bienestar personal: encuesta sobre los hábitos deportivos en España 2010*. CIS.

Fredericson, M., & Misra, A. K. (2007). Epidemiology and aetiology of marathon running injuries. *Sports Medicine*, 37(4-5), 437-439.

Fu, W., Fang, Y., Liu, D. M. S., Wang, L., Ren, S., & Liu, Y. (2015). Surface effects on in-shoe plantar pressure and tibial impact during running. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 384-390.

Gallo, R. A., Plakke, M., & Silvis, M. L. (2012). Common leg injuries of long-distance runners: anatomical and biomechanical approach. *Sports health*, 4(6), 485-495.

Gottschall, J. S., & Kram, R. (2005). Ground reaction forces during downhill and uphill running. *Journal of biomechanics*, 38(3), 445-452.

Greenhalgh, A., Sinclair, J., Leat, A., & Chockalingam, N. (2012). Influence of footwear choice, velocity and surfaces on tibial accelerations experienced by field hockey participants during running. *Footwear Science*, 4(3), 213-219.

Hreljac, A. L. A. N., Marshall, R. N., & Hume, P. A. (2000). Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9), 1635-1641.

Hreljac, A. (2004). Impact and overuse injuries in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(5), 845-849.

Johnson, E. C., Pryor, R. R., Casa, D. J., Ellis, L. A., Maresh, C. M., Pescatello, L. S., Lee, E. C., & Armstrong, L. E. (2017). Precision, Accuracy, and Performance Outcomes of Perceived Exertion vs. Heart Rate Guided Run-training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(3), 630-637.

Koplan, J. P., Powell, K. E., Sikes, R. K., Shirley, R. W., & Campbell, C. C. (1982). An epidemiologic study of the benefits and risks of running. *Jama*, 248(23), 3118-3121.

Lavie, C. J., Lee, D. C., Sui, X., Arena, R., O'keefe, J. H., Church, T. S., & Blair, S. N. (2015). Effects of running on chronic diseases and cardiovascular and all-cause mortality. In *Mayo Clinic Proceedings* (Vol. 90, No. 11, pp. 1541-1552). Elsevier.

Lejeune, T. M., Willems, P. A., & Heglund, N. C. (1998). Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *Journal of Experimental Biology*, 201(13), 2071-2080.

Llana Belloch, S., Pérez Soriano, P., & Lledó Figueres, E. (2010). La epidemiología en el fútbol: una revisión sistemática. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte/International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, 10(37).

Macara, C. A., Pate, R. R., Powell, K. E., Jackson, K. L., Kendrick, J. S., & Craven, T. E. (1989). Predicting lower-extremity injuries among habitual runners. *Archives of internal medicine*, 149(11), 2565-2568.

Minetti, A. E., Ardigo, L. P., & Saibene, F. (1994). The transition between walking and running in humans: metabolic and mechanical aspects at different gradients. *Acta Physiologica*, 150(3), 315-323.

Nigg, B. M. (1986). *Biomechanics of running shoes*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Publishers.

Nigg, B. M., & Segesser, B. (1988). The influence of playing surfaces on the load on the locomotor system and on football and tennis injuries. *Sports medicine*, 5(6), 375-385.

Padulo, J., Annino, G., Migliaccio, G. M., D'Ottavio, S., & Tihanyi, J. (2012). Kinematics of running at different slopes and speeds. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1331-1339.

Perl, D. P., Daoud, A. I., & Lieberman, D. E. (2012). Effects of footwear and strike type on running economy. *Med Sci Sports Exerc*, 44(7), 1335-43.

Richie, D. H., DeVries, H. A., & Endo, C. K. (1993). Shin muscle activity and sports surfaces. An electromyographic study. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 83(4), 181-190.

Rolf C, Andersson G, Westblad P, Saltin B. (1997). Aerobic and anaerobic work capacities and leg muscle characteristics in elite orienteers. *Scand J Med Sci Sports*, 7(1), 20–4.

Sallade, J. R., & Koch, S. (1992). Training errors in long distance running. *Journal of athletic training*, 27(1), 50.

Scott, S. H., & Winter, D. A. (1990). Internal forces of chronic running injury sites. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3), 357-369.

Schütte, K. H., Aeles, J., De Beéck, T. O., van der Zwaard, B. C., Venter, R., & Vanwanseele, B. (2016). Surface effects on dynamic stability and loading during outdoor running using wireless trunk accelerometry. *Gait & Posture*, 48, 220-225.

Schütte, K. H., Maas, E. A., Exadaktylos, V., Berckmans, D., Venter, R. E., & Vanwanseele, B. (2015). Wireless tri-axial trunk accelerometry detects deviations in dynamic center of mass motion due to running-induced fatigue. *PLoS one*, 10(10), e0141957.

Tartaruga, L. A. P., Tartaruga, M. P., Black, G. L., Coertjens, M., Ribas, L. R., & Krueel, L. F. M. (2005). Comparação do ângulo da articulação subtalar durante velocidades submáximas de corrida. *Acta Ortopédica Brasileira*, 13(2), 57-60.

Tessutti, V., Pereira, C., Trombini, F., Onodera, A., & Sacco, I. (2007). Plantar pressure distribution during running in different surfaces: Preliminary study. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, No. 1).

Tessutti, V., Trombini-Souza, F., Ribeiro, A. P., Nunes, A. L., & Sacco, I. D. C. N. (2010). In-shoe plantar pressure distribution during running on natural grass and asphalt in recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 151-155.

Tillman, M. D., Fiolkowski, P., Bauer, J. A., & Reisinger, K. D. (2002). In-shoe plantar measurements during running on different surfaces: changes in temporal and kinetic parameters. *Sports Engineering*, 5(3), 121-128.

Tschopp, M., & Brunner, F. (2017). Diseases and overuse injuries of the lower extremities in long distance runners. *Zeitschrift für Rheumatologie*.

Tessutti, V., Ribeiro, A. P., Trombini-Souza, F., & Sacco, I. C. (2012). Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass. *Journal of sports sciences*, 30(14), 1545-1550.

Tessutti, V., Trombini-Souza, F., Ribeiro, A. P., Nunes, A. L., & Sacco, I. D. C. N. (2008). In-shoe plantar pressure distribution during running on natural grass and asphalt in recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 151-155.

Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010). [PRISMA declaration a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses]. *Medicina clínica*, 135(11), 507-511.

Victor A Giráldez & José L García Soidán (2002). Estudio de las superficies de entrenamiento de los atletas con relación a la prevención de lesiones. *PubliCE Standard*.