



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
LEÓN**



**TEMA:
INFLUENCIA DE DOS CALZADOS DEPORTIVOS CON DIFERENTE
GRADO DE MINIMALISMO SOBRE LA BIOMECÁNICA DE LA CARRERA
EN UN GRUPO DE CORREDORES**

**MODALIDAD DE TITULACIÓN:
TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN FISIOTERAPIA**

**P R E S E N T A:
MÓNICA ANAHÍ GUTIÉRREZ GODÍNEZ**

**TUTOR: LIC. IRMA ILEANA AGUILAR CABELLO
ASESOR: DR. JESÚS EDGAR BARRERA RESÉNDIZ**

LEÓN, GUANAJUATO, MÉXICO 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad León, por abrirme sus puertas y brindarme excelentes herramientas para mi desarrollo profesional y personal.

A mis pacientes, por su confianza, por permitirme formar parte de su recuperación y por todo el aprendizaje que han dejado en mí a lo largo de estos años.

A mi tutora la Lic. Irma Ileana Aguilar Cabello, por su gran vocación para enseñar, por su tiempo y apoyo brindado en la realización de este proyecto.

A mi asesor, el Dr. Jesús Barrera Reséndiz, por motivarme a seguir creciendo profesionalmente, por todo su tiempo y ayuda en la realización de este proyecto.

Al Dr. Mauricio Ravelo Izquierdo, por compartir y contagiar su pasión por la fisioterapia deportiva, por sus conocimientos y por su apoyo incondicional.

A cada uno de mis profesores, por compartir su conocimiento, cada uno marcó mi vida universitaria de alguna forma y me han motivado a seguir mejorando en todos los aspectos de mi vida.

A Oscar y Fabiola, alumnos egresados de la licenciatura de ingeniería biomédica de la Universidad de Guanajuato, por su ayuda para realizar este proyecto.

DEDICATORIAS

A mis padres, Josefina y Alfredo, por su amor y apoyo incondicional, por todo el esfuerzo que han hecho en su labor de padres y por darme alas muy grandes para volar, los amo.

A mis hermanos, Gabriela, Lorena y Fabrizio, por ser mis fieles compañeros de vida y por apoyarme siempre.

A Salvador, por todo su apoyo, por impulsarme a dar lo mejor de mí en todo momento y por enseñarme a construir el amor día a día.

"Nadie puede detener el propósito de Dios en tu vida"

Anónimo

GLOSARIO

CDG: Centro de gravedad

EVA: Etileno vinilo acetato

FPI: Foot posture index

FPS: Cuadros por segundo

MI: Minimalist index

TPU: Poliuretano termoplástico

CONTENIDO

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1	10
MARCO TEÓRICO	10
1.1 La Carrera	10
1.2 Calzado deportivo	14
1.3 Lesiones en los corredores	19
1.4 Biomecánica deportiva	22
ANTECEDENTES	23
CAPÍTULO 2	26
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	26
JUSTIFICACIÓN	27
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	27
HIPÓTESIS	28
OBJETIVOS	28
Objetivo general:	28
Objetivos específicos:	28
CAPÍTULO 3	29
METODOLOGÍA	29
Diseño del estudio	29
Universo del trabajo	29
Tipo de muestreo	29
Criterios de selección	29
Inclusión.....	29
Exclusión	30
Eliminación.....	30
Características de la muestra	30

Operacionalización de variables independientes	31
Operacionalización de variables dependientes	31
Materiales.....	32
Instrumento de investigación.....	32
Desarrollo del proyecto	36
Diseño de análisis.....	38
CAPÍTULO 4	39
RESULTADOS	39
DISCUSIÓN	45
CONCLUSIÓN	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	52

RESUMEN

Introducción: La carrera es uno de los deportes más practicados en la actualidad, sin embargo, aunque la mayoría de las personas pueden correr, no todas lo hacen con una buena técnica de carrera y/o un calzado deportivo adecuado. Una mala elección de calzado puede contribuir al desarrollo de lesiones. El fisioterapeuta deportivo es el encargado de analizar, prevenir y tratar dichas lesiones.

Objetivo: Analizar cómo el calzado deportivo minimalista modifica la biomecánica de carrera.

Metodología: Se evaluó la carrera de 30 corredores sobre una banda sin fin, se les proporcionó calzado para correr de la marca Reebok modelo Lite y Karosso modelo 6318, se les colocaron marcadores epidérmicos y se analizó la biomecánica de carrera con cada calzado.

Resultados: De acuerdo con el Minimalist Index, Reebok fue el calzado con el mayor grado de minimalismo.

Conclusiones: Reebok presentó durante el contacto inicial de la carrera un mayor ángulo de flexión de rodilla ($M=18.03$, $DE= \pm 8.38$, $p= <.014$), menor ángulo de dorsiflexión de tobillo ($M= 5.33$, $DE= \pm 8.21$, $p= <.037$) y mayor inclinación de tobillo ($M= 91$, $DE= \pm 4.39$, $p= <.044$) en comparación a Karosso.

INTRODUCCIÓN

La carrera no es más que una sucesión de pasos con una fase de vuelo. El "running" se ha ido popularizando con el paso de los años, en la actualidad año 2023, es común encontrar a alguien cercano que corra, sin embargo, al ser una actividad innata la mayoría de las personas comienzan a correr sin una técnica de carrera adecuada, por consecuencia la constante repetición de un gesto incorrecto puede provocar lesiones. También es frecuente, principalmente en corredores "amateurs" la falta de conocimiento para seleccionar el calzado deportivo adecuado para correr, incrementando el riesgo de lesión por una mala elección (1).

Uno de los objetivos del fisioterapeuta deportivo, aparte de dar tratamiento a las lesiones del deportista, es implementar estrategias para prevenir dichas lesiones logrando el rendimiento óptimo. Al analizar la carrera y el calzado deportivo se puede conocer cuáles son las fases en las que cada deportista comete errores, incluso se pueden prevenir lesiones logrando ejecutar una mejor técnica deportiva con un menor gasto energético (2). Es de gran importancia como fisioterapeutas enfocados al deporte tener conocimiento de las diferentes opciones de calzado deportivo que el mercado ofrece.

La valoración fisioterapéutica también conocida como evaluación diagnóstica es un proceso dinámico de análisis de información con el cual el fisioterapeuta realiza juicios clínicos basados en los datos obtenidos durante la examinación; los resultados del examen físico le permiten al fisioterapeuta determinar las alteraciones que presenta el deportista y de esta manera llegar al diagnóstico adecuado (3). La valoración de la carrera puede ser de gran ayuda para complementar la valoración fisioterapéutica del deportista, lograr un diagnóstico más específico y elaborar un plan de tratamiento acorde a las necesidades del paciente.

Este trabajo sustenta la importancia de la participación del fisioterapeuta deportivo en la práctica deportiva del corredor, brindando herramientas de gran ayuda para el análisis de la carrera y el calzado deportivo.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 La Carrera

Se define como acciones motrices cíclicas en la que se repiten de forma periódica cada una de las partes que componen su estructura, representando una habilidad básica de locomoción y una prolongación natural del andar. Tiene orígenes muy remotos, ha estado presente prácticamente desde la existencia del ser humano, resaltando los antiguos juegos de Olimpia, hasta llegar a las influencias actuales (4).

La carrera forma parte de la mayoría de los deportes y aunque no se realice ningún deporte, se trata de una habilidad natural que todo el mundo ha puesto en práctica alguna vez en su vida. No hay dos personas que corran exactamente igual, cada persona va desarrollando una forma única de correr de acuerdo con su estructura anatómica, flexibilidad, potencia, calzado deportivo que utilice, tipo de pisada, entre otros factores.

La pisada es la manera en que rota el pie al caminar o correr. Existen tres tipos: pronadora, neutra y supinadora. En el primer tipo el pie cae hacia la zona interna del mismo, es decir hay un movimiento de eversión de la articulación subtalar, que disminuye el arco longitudinal del pie, sin embargo, esta es una amortiguación natural y necesaria del cuerpo con la que el pie se adapta a las condiciones del terreno. Cuando esta pronación está aumentada, se conoce como hiperpronación o sobrepronación y se asocia al desarrollo de lesiones como tendinopatía aquilea, fascitis, periostitis tibial y síndrome de la cintilla iliotibial (5,6).

En la pisada neutra los tobillos no giran hacia adentro ni hacia afuera, se describe como la pisada ideal para los corredores. Finalmente, la pisada supinadora (pie cavo), se presenta con un aumento del arco medial, en donde el tobillo se dirige hacia afuera. Los supinadores tienden a sufrir lesiones que comprometen la zona lateral del miembro inferior al provocar inestabilidad lateral, tendinopatías de los peroneos, así como lesiones por sobrecarga debido a que presentan menor capacidad para disipar el impacto del suelo (5,7).

La carrera consta de cuatro fases: amortiguación, apoyo, impulso, vuelo o suspensión. En la primera fase el pie contacta con el suelo hasta que el centro de gravedad (CDG) se desplaza hacia anterior cayendo de manera perpendicular sobre el pie de apoyo (1,8). Esta fase tiende a frenar el movimiento debido al desplazamiento que sufre el centro de gravedad. Si el primer contacto con el suelo se realiza con el talón, la acción de frenado es mayor en comparación con el antepié y provoca la disminución de la velocidad (9).

La fase de apoyo se da en el momento en el que el centro de gravedad cae verticalmente sobre el pie apoyado y junto con la pierna reciben el peso del cuerpo. Durante esta fase el CDG sufre un descenso, la pierna en apoyo se encuentra flexionada en sus tres articulaciones (cadera, rodilla y tobillo). Si la flexión está muy aumentada, la velocidad disminuye (1).

La tercera fase, el impulso; comienza cuando el centro de gravedad atraviesa la línea perpendicular al pie de apoyo, está acompañada de una triple extensión de las articulaciones del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo). Esta fase finaliza cuando el pie está fuera del piso y constituye una de las más importantes (1,10).

La última fase llamada de vuelo o suspensión se da cuando el atleta se encuentra con ambos pies en el aire y finaliza cuando el pie entra en contacto con el suelo. En esta fase el centro de gravedad se desplaza hacia adelante y hacia arriba, alcanzando su máxima altura. Si esta altura es muy marcada se puede dar una pérdida de la velocidad, así como un aumento del gasto energético (9).

Correr es una actividad inherente, sin embargo, no todas las personas lo hacen de la mejor forma. De acuerdo con corredores y expertos en carrera, se ha llegado a la conclusión que hay técnicas de carrera diseñadas para lograr que el corredor sea más rápido, disminuya el riesgo de lesión, así como para mejorar la economía de carrera (11).

La técnica de carrera tiene como objetivo maximizar la eficiencia de los movimientos de cada deportista consiguiendo un desplazamiento más rápido con el menor gasto energético posible (12). Se han descrito dos formas básicas de correr: la pendular y la circular. La primera recibe su nombre porque la rodilla y el talón imitan la forma de un

péndulo. En la forma de tipo circular durante la zancada la rodilla y el tobillo forman un círculo, esta última es la forma más adecuada de correr (9).

Los brazos se mueven en sentido contrario a las piernas y se mantienen en una flexión de codo de aproximadamente 90°. Durante la zancada se da un desplazamiento lateral del centro de gravedad, entre mayor sea la distancia del apoyo de los pies el gasto energético aumentará. Por ende, para facilitar el equilibrio y reducir el consumo energético los apoyos deben mantenerse cerca (1).

Respecto al apoyo con la planta del pie, existen dos formas de llegada al piso. La primera con talón y la segunda con antepié (y/o mediopié). Durante el apoyo las tensiones musculares no se aplican de la misma forma en el tobillo y dependiendo de la forma de contacto las contrarrestan músculos diferentes: el tibial anterior al llegar con talón y el tríceps sural al llegar con antepié. Existe una controversia entre cuál es la mejor forma de realizar el contacto. Varios autores (1,13,14) coinciden en que el apoyo en antepié es la forma correcta, y representa una excelente opción para potenciar la carrera, así como para disminuir el riesgo de lesiones por carrera.

Entre los principales motivos que apoyan dicha teoría se encuentra que, como ya se mencionó anteriormente el tríceps sural actúa al apoyar con antepié y en comparación con el músculo tibial anterior, es un grupo muscular más fuerte que forma parte de la cadena de extensión y realiza un buen trabajo para luchar contra la gravedad.

Otro aspecto que destacar del apoyo con antepié es que biomecánicamente los brazos de palanca y los músculos se adaptan mejor a la fase de amortiguación. Además, este tipo de apoyo guarda la fuerza de impacto con el suelo para reponerla durante la fase de impulso (1).

Realizar el choque con talón durante el ciclo de la carrera produce mayores impactos, que dependen del impulso y de su velocidad. Existen dos tipos de mecanismos de defensa a dicho impacto, la absorción activa y pasiva. La activa actúa con la fuerza muscular y alineando las articulaciones, la pasiva por su parte a través del acolchonado del talón, el hueso, el líquido sinovial y el cartílago articular (15). En estudio retrospectivo del año 2012 publicado por la revista *Medicine and Science in Sports and*

Exercise se concluyó que los que llegan con talón tienen el doble de posibilidades de sufrir lesiones en comparación a los que aterrizan con mediopié o antepié (13).

Una buena técnica de carrera por consecuencia mejorará la economía de carrera, dicha economía puede definirse como el consumo de oxígeno que el cuerpo necesita para correr a una intensidad determinada (2). Hay ciertos factores que condicionan la economía de carrera en fondo y medio-fondo (figura 1).

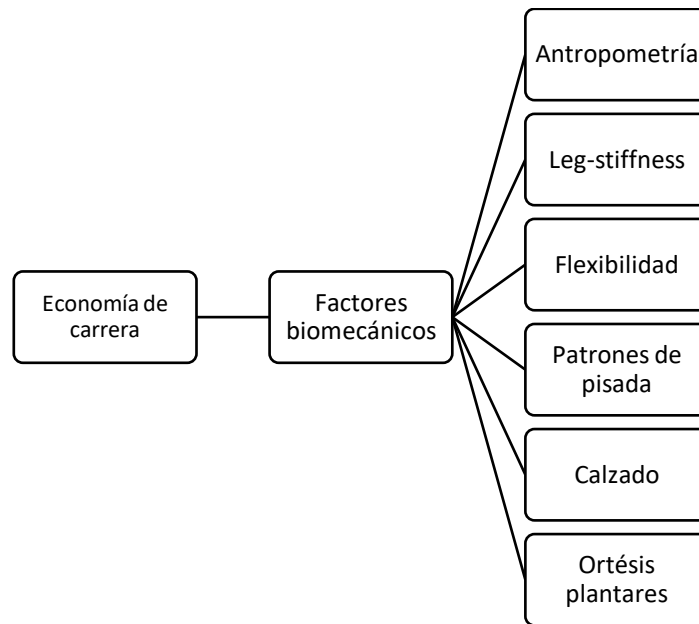


Figura 1. Factores que condicionan la economía de carrera en fondo y medio-fondo Fuente: (16).

1.2 Calzado deportivo

Con la frecuente práctica del “running” entre la sociedad, las industrias del calzado deportivo han aprovechado esta situación logrando ofrecer novedosos productos que buscan mejorar la funcionalidad, prevenir lesiones, aumentar el rendimiento deportivo, así como perfeccionar la dinámica de la interacción calzado-suelo, siempre adecuándolo a la moda (5,17,18). Estas industrias pretenden disminuir el número de lesiones basándose en dos principales objetivos que son controlar la pronación y la amortiguación (15,16). Proteger al pie de las condiciones ambientales y del terreno, fue la primera razón para utilizar calzado al momento de la carrera, más tarde fue evolucionando hasta brindar los beneficios que hoy se conocen.

El calzado para correr cuenta con ciertos componentes que son fundamentales para adaptarse a las características de cada deportista (figura 2). La horma es el patrón que determina la forma del calzado, cuenta con dos funciones que son dar forma y soporte a la planta del pie, siempre debe ser acorde a las características anatómicas de cada pie. Su diseño se realiza basándose en medidas antropométricas(19).

El material de corte se refiere al utilizado en la zona superior, que junto con la lengüeta o empeine mantienen unido el resto del calzado, además de proteger al pie, pero también debe ser lo suficientemente comfortable para no limitar los movimientos de flexo-extensión del tobillo. La plantilla también forma parte de este material cuya función principal es evitar la aparición de ampollas al controlar la fricción del pie con el calzado (19).

El patrón de lazada puede influir en la biomecánica y es un elemento que en caso de estar mal diseñado o no ser el indicado para el deportista, puede limitar el movimiento de extensión de los dedos ya que su longitud no debe alcanzar esta zona. Respecto al acordonado se describen varios tipos, por ejemplo, un acordonado pronado que puede ayudar a disminuir el desarrollo de lesiones en deportistas pronadores. El más recomendado es un diseño con siete ojales que brinda soporte más alto (15).

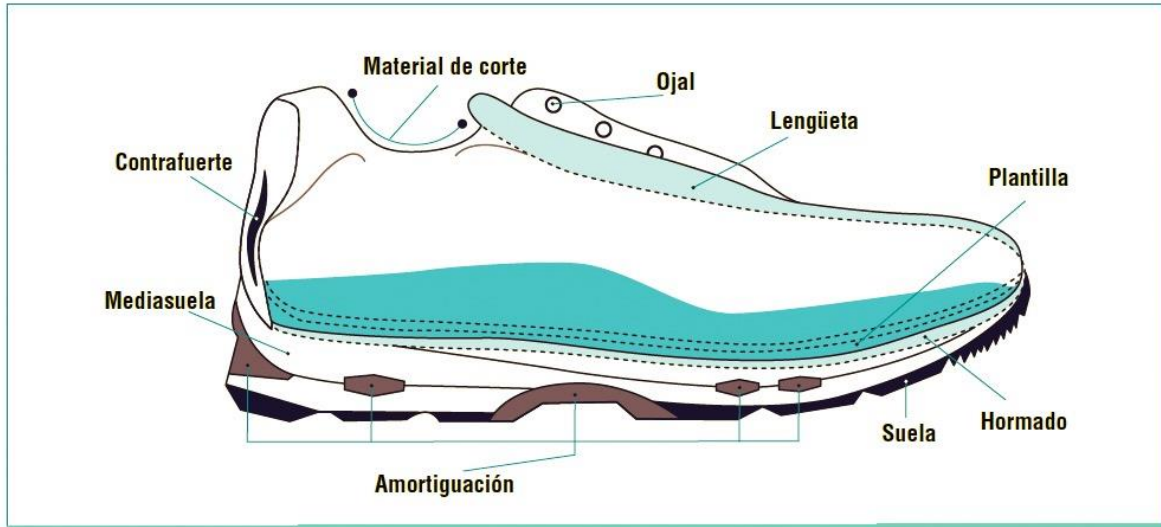


Figura 2. Componentes del calzado deportivo para correr. Fuente: (19)

La suela hace contacto directo con el suelo y su principal función es la adherencia a las diferentes condiciones del terreno, en menor medida brinda estabilidad y amortiguación, el uso de materiales rígidos en la suela mejora la adaptación a las irregularidades del terreno. Por otro lado, el contrafuerte es elaborado con material rígido para aportar mayor rigidez, uno de los más utilizados es el del talón. Por lo regular son de materiales termoplásticos y van por dentro del material de corte (19).

La mediasuela o entresuela está situada por arriba de la suela y cumple dos funciones muy importantes que son brindar estabilidad y amortiguación. Lo ideal es utilizar materiales compresibles (poliuretano, acetato de vinil etileno, Air-Sole, Sorbothane, entre otros) que ayuden a distribuir las cargas. Actualmente se incorporan diversos materiales, entre geles, cámaras de aire y fluidos, sin embargo, un exceso en el uso de esto puede llevar a una disminución de la propiocepción. Es muy común incluir cuñas en el talón de diversos materiales en la mediasuela que ayudan a limitar movimientos que pueden resultar lesivos. Una cuña neutra resulta la mejor opción y puede contribuir a reducir el impacto sobre la tibia (15).

La elección de calzado deportivo para la carrera es de suma importancia, para esta decisión se deben tomar en cuenta varios aspectos como tipo de pisada, características morfológicas del pie, sexo, peso. Respecto al sexo, para las mujeres se recomienda un calzado menos rígido y con más estabilidad, debido a que, presentan

más elasticidad, mayor movilidad articular y el pie más delgado en comparación con los hombres. Es importante considerar el peso del deportista que influye en la amortiguación, a mayor peso, mayor amortiguación se necesita (20).

Dependiendo del tipo de pisada, el calzado cuenta con adaptaciones específicas. En el caso de la pisada supinadora se necesita amortiguación centrada en la entresuela a lo largo del exterior para disminuir la rotación del pie hacia afuera y amortiguación en el talón para disminuir la fuerza de impacto, pero se requiere que el calzado sea lo suficientemente flexible para distribuir uniformemente el impacto (21).

Para los corredores con pisada neutra hay una amplia variedad de opciones, sin embargo, las más recomendadas son las neutras, ya que favorecen el movimiento natural del pie, brindan apoyo y amortiguación. Algunos deportistas prefieren iniciar con más amortiguación y con el paso del tiempo y la mejora en la técnica de carrera, modificar el calzado a uno que fomenten un mayor contacto con el suelo y correr de forma "más natural" (21,22).

Finalmente, para la pisada sobrepronadora se requiere máximo apoyo en la zona media y trasera, y en ocasiones también en el talón. Este tipo de calzado cuenta con entresuelas firmes que evitan el descenso del arco longitudinal y esto es de gran ayuda para un pie plano. Otro efecto de la entresuela es la estabilidad, que fomenta el equilibrio y ayuda a distribuir el impacto para evitar la pronación (15).

Tomando en cuenta la morfología del pie, los deportistas con pies cavos presentan una menor flexibilidad de las articulaciones del pie, por lo cual se recomienda un calzado con suficiente amortiguación y horma curva. En el caso del pie plano se suele presentar hipermovilidad que aumenta la pronación por eso en este caso se recomienda un calzado que aporte estabilidad, así como el uso de plantillas que brinden soporte al arco medial del pie (19).

El calzado deportivo debe cumplir tres principales funciones: protección, facilitación y corrección de problemas. La primera función tiene como objetivo lograr una adecuada amortiguación del impacto, además de proteger al pie de las condiciones del terreno o climas muy extremos, así como brindar soporte. En la facilitación el

calzado debe permitir libremente los movimientos de cada articulación del pie y tobillo, también se debe facilitar la interacción del pie con la superficie del terreno. La última función busca disminuir los determinados problemas anatómicos y/o funcionales que cada pie presenta, como son la supinación y la sobrepronación (19,23).

La amortiguación es una de las características más importantes en el calzado deportivo que busca disminuir la fuerza de impacto. La fuerza de impacto es el resultado del choque del pie con el suelo y se cree que esta fuerza es en parte la responsable de las lesiones por sobrecarga. Respecto al acolchonado existe una relación positiva entre la dureza y el grosor de la entresuela. De acuerdo con Wang L. et. al (24) en su estudio encontró que el calzado deportivo pierde 5% de amortiguación por cada 500 kilómetros recorridos.

El DROP es otro de los aspectos a considerar en el calzado deportivo, este se refiere a la diferencia entre la altura de talón y del antepié que dicho calzado presenta. El DROP convencional mide entre 12 y 8 milímetros, sin embargo, se ha observado que este tipo de diseño favorece que el contacto inicial con el piso sea con el talón, lo que propicia una mala técnica deportiva, para contrarrestar dicho contacto el atleta tiene que realizar una plantiflexión más marcada. Al reducir o incluso eliminar dicha medida por ende la biomecánica de carrera también se ve modificada provocando el primer contacto del piso con el mediopié u antepié (19).

De acuerdo con Minimalist Index (MI) o la Escala de Índice Minimalista actualmente el calzado deportivo se clasifica por su grado de minimalismo, esta puntuación se basa en cinco aspectos que son: el peso del calzado, la flexibilidad, los sistemas de control del movimiento, la altura de la suela del talón y el DROP. Respecto al peso, por debajo de 125 gramos se considera el valor más minimalista y por arriba de 325 gramos el más bajo. La flexibilidad se mide de manera longitudinal y torsional concluyendo que a mayor deformación mayor índice minimalista. El control de estabilidad y movimiento se evalúan de acuerdo con la cantidad de tecnologías que se observen en el calzado. Respecto a la altura de la suela del talón el valor máximo minimalista se encuentra a menos de ocho milímetros, mientras el menor corresponde a 32 milímetros o más. Para el DROP los valores más bajos de minimalismo se encuentran por arriba de 13 milímetros y el más alto a 1 milímetro o menos (25).

Otro aspecto muy importante para los corredores y las diferentes marcas de calzado es el confort y está demostrado que los corredores eligen sus tenis de acuerdo al grado de confort que experimenten (26). Una revisión sistemática concluyó que el calzado con cordones en la parte superior, materiales más duros en las regiones laterales y del antepié, así como suaves en las zonas mediales y traseras del pie aumentan la comodidad y con esto la preferencia entre los deportistas (27).

En los últimos años se ha popularizado una forma minimalista de correr conocida como "natural running" en la que se utiliza un DROP mínimo entre 0 y 8 mm, este tipo de calzado busca simular una carrera descalza, pero aportando protección, en la que los corredores experimenten un mayor grado de propiocepción. Los defensores de esta tendencia argumentan que además existe una disminución del gasto energético durante la carrera, debido a que se algunos estudios han demostrado que una disminución en el peso del calzado contribuye a una mejora en la economía de carrera, sin embargo, aún existe controversia entre dicha relación (28).

1.3 Lesiones en los corredores

Se han descrito una serie de factores anatómicos externos al calzado que están asociados al riesgo de lesiones entre los corredores, entre los anatómicos se encuentran: disimetría de miembros inferiores mayor a 1 cm, anteversión femoral, alineación de las rodillas, rango de movilidad del tobillo, altura del arco, valgo o varo del retropié, hiperpronación. Por otro lado, entre los factores no anatómicos están: edad, sexo, experiencia, lesiones previas, tipo de terreno (5).

Debido a la popularidad que ha desarrollado el correr, cada vez es más frecuente ver a personas practicando la carrera y si partimos del hecho que todos saben correr, es probable que muchas de estas personas no lo hagan de manera adecuada y económica. (10,23). Los corredores están más expuestos a sufrir lesiones por uso excesivo que otras formas de ejercicio aeróbico, siendo una labor del entrenador o del fisioterapeuta deportivo el ayudar al atleta a desarrollar una adecuada técnica de carrera (30).

En los últimos años se ha investigado la relación entre la incidencia de lesiones y los componentes del calzado deportivo, un DROP entre seis y cero milímetros se ha asociado con un menor riesgo de lesión en corredores ocasionales, mientras que un DROP arriba de 12 milímetros representa un mayor riesgo de lesión, sin embargo, también se ha observado que el uso de calzado con DROP muy bajo podría ser más peligroso para los corredores regulares (31). Otros estudios han demostrado que también la actividad muscular se puede ver modificada dependiendo del uso o no de calzado deportivo y las condiciones de este (32).

Una de las lesiones más frecuentes en la carrera es el llamado síndrome de la banda iliotibial o "rodilla del corredor" que se presenta en corredores de cortos y largas distancias, se produce por el uso excesivo del tendón. Dicho tendón se puede irritar debido al deslizamiento sobre el cóndilo femoral lateral, se presenta con dolor que se desencadena con la actividad. Su etiología es multifactorial, como el uso excesivo de la rodilla, un calzado inadecuado, la superficie del terreno y está relacionado a una mala técnica deportiva (33-35).

La periostitis es una de las causas más frecuentes de dolor de miembros inferiores en los corredores (36) se presenta con dolor en la cara interna de la tibia por inflamación del periostio tras movimientos repetitivos por estrés mecánico. Una técnica de carrera incorrecta, las condiciones del terreno, un calzado inadecuado, una pisada supinadora o pronadora, así como un entrenamiento excesivo son las principales causas para desarrollar periostitis. El corredor refiere dolor e hipersensibilidad en el tercio medio o inferior de la tibia durante la práctica deportiva, que puede ir evolucionando hasta presentarse después de la carrera (37).

Otra de las lesiones frecuentes son las tendinopatías, que suelen afectar con frecuencia a los corredores. Dependiendo de los síntomas se pueden clasificar en tenosivitis y más tarde evolucionar a una tendinosis que puede provocar el desgarro del tendón. Entre los tendones más lesionados se encuentran el de aquiles, la cintilla iliotibial, el tibial posterior, el cuádriceps. Existen factores de riesgo intrínsecos como una disimetría de las piernas, acortamientos musculares, edad, genu varo o valgo y factores extrínsecos como la intensidad del ejercicio, el tipo de superficie para correr, entre otros (38,39).

En los deportistas la bursitis trocantérica se produce por una irritación mecánica cuando los músculos glúteos y el tensor de la fascia lata generan microtraumatismos de manera repetitiva contra la bursa. Dicha bursa está ubicada entre la cintilla iliotibial, el tensor de la fascia lata y el trocánter mayor, su ubicación tan expuesta la vuelve muy susceptible a sufrir lesiones, sobre todo cuando no se tiene una técnica de carrera adecuada. Se presenta con dolor y edema en la zona del trocánter mayor (33,40).

Las distensiones musculares se presentan con frecuencia en los corredores, principalmente en los velocistas, los músculos isquiotibiales se encuentran entre los más lesionados. La pérdida de la flexibilidad se considera como un factor de riesgo importante. La lesión se produce por un desgarro de la unión miotendinosa, que genera dolor inmediato, disminución de la fuerza y en ocasiones se presentan hematomas, en ocasiones se puede palpar una contractura profunda después de 20 horas (33,41).

El tendón de aquiles es el tendón más fuerte del cuerpo, sin embargo, es muy vulnerable a sufrir sobrecargas durante la carrera, lo que puede provocar su ruptura. Con frecuencia los corredores expresan dolor en el tendón por una posible tendinopatía, que puedes estar provocada por una mala técnica, lesiones previas, calzado inadecuado, cambios en la forma de entrenar y entrenamiento en superficies

duras, sin embargo, dicha ruptura también puede producirse sin antecedentes previos (33,42).

Otra de las lesiones que con frecuencia se presenta entre los corredores es el esguince de tobillo, que consiste en la ruptura parcial o completo de los ligamentos de la articulación del tobillo y se clasifica en tres grados dependiendo de su intensidad, se presenta con dolor, edema y limitación de la función. El mecanismo de lesión más frecuente es la inversión forzada y el ligamento peroneo-astragalino anterior el más lesionado (43,44).

La fascitis plantar es la causa más habitual de dolor de origen no traumático en el tobillo-pie, se caracteriza por dolor en la zona del talón que con frecuencia se irradia hacia la aponeurosis plantar. De acuerdo con los corredores el dolor es mayor durante los primeros pasos de la mañana y disminuye con la actividad. Entre los principales factores para desarrollar fascitis se encuentran el pie plano, pie cavo, un exceso de pronación en la pisada, una disimetría de piernas, el uso de un calzado inadecuado (45,46).

Las fracturas por estrés se producen por sobrecargas repetidas sobre un hueso sano, se presentan generalmente en deportistas. Los huesos que más sufren este tipo de fracturas son el segundo y tercero metatarsiano y la tibia. Se presenta con dolor durante o después de la carrera y que va disminuyendo con el reposo. Sin embargo, en estadios más avanzados el dolor puede aparecer incluso en reposo, también se presenta ligera tumefacción (47).

Por último, es importante mencionar el síndrome patelofemoral que responde a un cuadro clínico donde se presenta dolor en la zona anterior de la rodilla provocado por un movimiento anormal de la rótula, resultado de cambios en la articulación femoropatelar, que puede presentarse sin alteraciones graves en el cartilago articular. Es una patología frecuente en mujeres de 15 a 30 años. Con frecuencia es asociada a la condromalacia rotuliana y se le atribuye a un desequilibrio muscular y/o mala alineación de miembros inferiores. Se presenta con dolor retro o peripatelar que aumenta con la flexión de rodilla, que en ocasiones limita las actividades deportivas (48,49).

1.4 Biomecánica deportiva

Combinando los métodos y conocimientos de la mecánica con distintas tecnologías, la biomecánica deportiva se ocupa del estudio de la práctica deportiva para mejorar el rendimiento de los deportistas (10), entre otras de sus principales funciones se encuentran: la prevención de lesiones, el desarrollo de métodos de valoración, elaboración de equipo deportivo, análisis de la técnica deportiva. Para el estudio de la locomoción humana, se llevan a cabo dos tipos de análisis: el cuantitativo y el cualitativo. El análisis cuantitativo explica los movimientos que realiza el cuerpo o las partes de él de manera objetiva, es decir mediante un valor numérico, los cuales son obtenidos a través de instrumentos. Por su lado el análisis cualitativo pretende explicar estos movimientos, pero sin términos numéricos (50).

Dentro de los métodos utilizados por la biomecánica se encuentran: electromiografía, cinemática, dinámica y antropometría. El análisis de la actividad electromiográfica se ha ido popularizando dentro de los laboratorios de biomecánica, gracias a la colocación de diferentes sensores en los grupos musculares se puede conocer la actividad eléctrica de un músculo. La cinemática permite una evaluación biomecánica de la descripción de los movimientos, sin considerar las causas que los provocan, por el contrario, la dinámica se orienta al estudio de la fuerza de que produce el movimiento. La antropometría ha sido de gran ayuda para determinar las dimensiones corporales, distribución de la masa o posición articular. (51).

Para analizar la marcha o la carrera se calculan los ángulos de la cinemática articular a partir de la posición de los marcadores localizados en zonas específicas del cuerpo. Para cuantificar el esfuerzo mecánico de una persona se pueden utilizar plataformas de fuerza que, en conjunto con el análisis del movimiento, permiten conocer los movimientos articulares (52).

ANTECEDENTES

Sánchez, Díaz y Castro (8) analizaron los esfuerzos a los que se someten las articulaciones del miembro inferior durante la fase de apoyo de la carrera con calzado deportivo que incluía una plantilla y sin calzado deportivo. Se utilizó un software para recrear un modelo 3D de cada articulación basado en tomografías, así mismo se obtuvieron valores de estudios previos donde se especificaban los datos mecánicos de huesos, meniscos y cartílago que posteriormente se compararon con sus resultados. Los autores concluyeron que el uso de calzado deportivo con plantilla de materiales EVA genera mayor amortiguación y disminuye los esfuerzos en un 10% al reducir la fuerza de impacto con el suelo.

Por otro lado, el estudio de Corbí et. al (53) en la Universidad de León, España que se realizó a 9 atletas masculinos de alto rendimiento, analizó tres diferentes tipos de calzado deportivo (calzado de clavos, calzado tipo running y calzado de clavos con plomo para igualar el peso del calzado tipo running) y su influencia en los parámetros biomecánicos de la carrera. De acuerdo con los autores se encontraron mejoras en el rendimiento del 2.6% utilizando el calzado con clavos, además la velocidad y la amplitud de paso aumentaron. En conclusión, la biomecánica de carrera se mejoró con el uso de calzado con clavos en comparación al calzado tipo running, lo que se le atribuyó a los clavos y a la masa del calzado.

Puigcerver y colaboradores del Instituto de Biomecánica de Valencia, en conjunto con la marca The North Face analizaron el comportamiento biomecánico de sus diferentes zapatillas running (54). Se seleccionaron 15 corredores con los tres tipos de pisada. Se utilizaron plataformas para analizar la fuerza de reacción del suelo, se evaluó el nivel de amortiguación y para complementar la valoración se utilizó fotogrametría que brinda información del movimiento articular a través de cámaras. Los resultados arrojaron parámetros como rigidez, capacidad de absorción y devolución de energía del calzado, lo que proporcionó información detallada del comportamiento de cada uno de los modelos. En conclusión, el peso, el confort, la estabilidad, la flexibilidad son aspectos cada vez más valorados por los deportistas.

Otro estudio realizado por Wegener et al.(21) midió el efecto del calzado para correr con amortiguación neutra sobre la presión plantar y la comodidad en deportistas con

pie cavo. Participaron 22 corredores de ambos sexos que corrían más de 20 kilómetros por semana. La prueba consistía en correr sobre terreno plano a una velocidad cómoda (para evitar efectos de la fatiga) utilizando tres tipos de calzado: Asics Nimbus, Brooks Glycerin y Control Dunlop Volley, las primeras dos con suela de amortiguación neutra y el último con suela control. El resultado fue que hubo disminución en la presión máxima sobre el pie con Asics y Brooks, de acuerdo con los participantes el modelo Asics Nimbus fue el más cómodo.

Investigación realizada por Hoffman y colaboradores (55), el estudio consistió en medir la caída navicular, un valor indirecto de pronación de acuerdo con los autores. Se seleccionaron a 12 corredores que utilizaron calzado minimalista (Nike Free), calzado del control de movimiento (Nike Zoom Structure Triax) y descalzos durante la carrera. Se inició la valoración con el Foot Posture Index (FPI), posteriormente se usaron imágenes estáticas de rayos x antes de correr y después de 15 minutos de trote en banda sin fin, se obtuvieron imágenes dinámicas. En los resultados no se encontró que el calzado tuviera efecto significativo sobre la magnitud de la caída navicular, sin embargo, el calzado Nike Zoom presentó una caída navicular más lenta en comparación a correr descalzo y al otro calzado.

Otro estudio realizado por Thibault Besson y colaboradores (56), midió la influencia del DROP en la cinemática y cinética de la carrera en corredoras. En el estudio participaron 15 corredoras sanas corriendo en una banda sin fin a una velocidad que ellas eligieron, con condiciones de DROP de cero, seis y 10 milímetros, se utilizaron marcadores epidérmicos y plataformas de fuerza para analizar los parámetros. El resultado fue menores grados de dorsiflexión de tobillo con un DROP de cero milímetros en comparación con seis y 10 milímetros, también se encontraron tasas de carga y picos transitorios con valores más altos en comparación a las otras dos medidas de DROP. Concluyendo que la medida del DROP influye en los valores cinéticos y cinemáticos de la carrera.

Los autores Huang, Xia, Chen y colaboradores (57) investigaron los efectos del patrón de pisada, la inclinación anterior del tronco y la velocidad sobre la carga de impacto en los corredores. En el estudio participaron 19 corredores sanos que realizaron 12 pruebas modificando su carrera a través del patrón de pisada (retropié, mediopié y antepié), velocidad (normal y aumentada en 10%) y con una inclinación de tronco

(normal y aumentada en 10°). En los resultados se encontró una menor carga de impacto cuando la carrera se realizó con un patrón de pisada en antepié y una mayor velocidad, por el contrario, la mayor carga de impacto resultó de un patrón de pisada en retropié y una inclinación anterior de tronco, Los corredores también expresaron sentir más torpeza al correr con este último patrón de carrera.

Cabello-Manrique y colaboradores (58) investigaron la influencia del DROP en la velocidad, así como las relaciones entre los parámetros espacio temporales en el ciclo de la carrera. El estudio se realizó en el Club de Atletismo Universitario de Málaga y el Club de Atletismo de Nerja con 38 corredoras menores de 18 años, se registró su rendimiento de carrera y se evaluaron los parámetros espaciotemporales, encontrando que a medida que la velocidad aumentaba estos parámetros también se ven modificados: a mayor tiempo de vuelo, menor tiempo de contacto, el DROP (entre cuatro y 12 milímetros) no tuvo ninguna asociación con los parámetros antes mencionados.

Hannigan y Pollard (59) analizaron que la mayoría de los estudios de calzado deportivo miden diferentes marcas deportivas, por este motivo decidieron hacer un estudio en el que compararon las fuerzas de reacción del suelo y la cinemática del tobillo con tres tenis del mismo fabricante. Participaron 20 corredores que corrieron en suelo con calzado de DROP mínimo, tradicional y máximo, se utilizó un sistema de captura de movimiento 3D y dos plataformas de fuerza, en los resultados se obtuvieron mayores tasas de carga con el DROP mínimo en comparación con el máximo, otro dato interesante fue la eversión de tobillo donde a mayor DROP hubo mayor angulación. Los autores refieren desacuerdo con estudios previos en comparación con su estudio, concluyendo que se necesitan más estudios de investigación.

CAPÍTULO 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se comienza a correr, en ocasiones no se cuenta con todo el equipo necesario y el corredor inicia con los tenis que tiene en casa, o, si elige comprar unos, la mayoría de las veces su elección se basa en el aspecto y no en la funcionalidad del producto. Con frecuencia estos deportistas tienden a lesionarse y en la mayoría de los casos el dolor es originado por una técnica incorrecta de carrera y/o un calzado deportivo inadecuado. Estas lesiones no solo implican alteraciones de tobillo y pie, sino que pueden generar problemas en miembro inferior y columna vertebral.

Sin embargo, el tratamiento fisioterapéutico a veces solo es un tratamiento sintomático que se enfoca en quitar el dolor y no un tratamiento causal que busca analizar los factores que provocaron el dolor. Un correcto análisis de la técnica de carrera y del calzado que el corredor utiliza, puede ayudar a encontrar la verdadera causa del dolor. La falta de conocimiento por parte del corredor y en algunos casos del fisioterapeuta, acerca del calzado deportivo ideal para correr, cuáles son sus componentes, materiales que se utilizan, vida útil, así como su influencia sobre la técnica de carrera representa un problema frecuente.

Es responsabilidad del fisioterapeuta deportivo analizar la técnica de carrera de los pacientes que corren o realizan algún deporte que incluya la carrera, analizar los factores tanto intrínsecos como extrínsecos que pueden aumentar el riesgo de lesión, así como, conocer los componentes del calzado deportivo, logrando brindar sugerencias adecuadas que incluyan opciones de diferentes marcas disponibles en el mercado acorde a la pisada, el número de kilómetros, el tipo de terreno.

JUSTIFICACIÓN

El interés por resaltar la importancia del uso del calzado deportivo indicado para correr aunado a una buena técnica de carrera, logrando la prevención de lesiones en los corredores ha motivado al desarrollo de este proyecto. Es de suma importancia que el fisioterapeuta deportivo cuente con los conocimientos necesarios para analizar el calzado deportivo y así poder emitir un juicio clínico adecuado a la hora de recomendar un tenis para correr.

El análisis biomecánico de la técnica de carrera puede brindar un panorama más específico en el planteamiento de los objetivos terapéuticos y es pieza fundamental para llevar a cabo un tratamiento exitoso y poder reincorporar al deportista a sus actividades en el menor tiempo posible.

De igual manera, el presente estudio pretende servir de estímulo al desarrollo de nuevas investigaciones en busca de mejorar, conocer y/o desarrollar nuevos proyectos enfocados a la fisioterapia y al mundo del "running".

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Con base a lo anterior se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Un calzado deportivo minimalista modifica la biomecánica de carrera de los corredores?

HIPÓTESIS

La biomecánica de carrera con un calzado deportivo minimalista se ve modificada.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Analizar cómo el calzado deportivo minimalista modifica la biomecánica de carrera.

Objetivos específicos:

- Comparar los ángulos de cadera de los corredores con los dos tipos de calzado deportivo.
- Comparar los ángulos de rodilla de los corredores con los dos tipos de calzado deportivo.
- Comparar los ángulos de tobillo de los corredores con los dos tipos de calzado deportivo.
- Comparar los ángulos de flexión máxima de rodilla de los corredores con los dos tipos de calzado deportivo.
- Comparar los ángulos de zancada (tándem) de los corredores con los dos tipos de calzado deportivo.
- Comparar los ángulos de inclinación del tobillo de los corredores con los dos tipos de calzado deportivo.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se trata de un estudio pre-experimental, de tipo prospectivo y transversal, se realizaron dos evaluaciones al mismo grupo durante el mismo día.

Universo del trabajo

Conformado por corredores con un rango de edad entre 18 y 34 años, de ambos sexos, entre ellos triatletas, runners y velocistas.

Tipo de muestreo

No probabilístico, la selección de la muestra fue por conveniencia, dando como resultado 30 corredores que cumplieron con todos los criterios de inclusión.

Criterios de selección

Inclusión

- Personas que tengan entre 18-40 años.
- Personas que tengan mínimo tres meses corriendo 20 kilómetros o más por semana.
- Personas que calcen del número 25, 26 o 27.

Exclusión

- Personas que presenten enfermedades micóticas en los pies.
- Personas que cursen con lesiones musculoesqueléticas de miembros inferiores en el momento de la valoración o en los tres meses previos.

Eliminación

- Personas a las que durante el análisis de los ángulos los marcadores epidérmicos no se puedan observar.
- Personas que presenten molestias a la hora de la valoración y les impida continuar corriendo.

Características de la muestra

A continuación, en la tabla 1 se muestran las características de la muestra.

No.	Género	Edad	Peso	Talla	Pisada	Pie	Meses corriendo	Kilómetros por semana
1	Femenino	24	63.100	1.66	Supinadora	Normal	3	20
2	Femenino	22	57.200	1.69	Supinadora	Normal	6	20
3	Masculino	25	76.500	1.70	Supinadora	Normal	3	20
4	Masculino	25	80	1.78	Pronadora	Normal	60	35
5	Masculino	25	77.250	1.82	Pronadora	Normal	60	40
6	Femenino	24	60.100	1.63	Supinadora	Normal	12	20
7	Masculino	24	63.400	1.68	Pronadora	Normal	24	30
8	Masculino	22	61	1.70	Pronadora	Normal	48	50
9	Masculino	24	66.400	1.74	Neutra	Normal	36	20
10	Femenino	32	61.500	1.65	Supinadora	Normal	6	20
11	Masculino	33	61.320	1.67	Pronadora	Normal	48	35
12	Masculino	26	68	1.69	Pronadora	Normal	72	40
13	Masculino	18	68.900	1.73	Supinadora	Normal	60	70
14	Masculino	19	71.100	1.79	Neutra	Normal	72	40
15	Masculino	21	56	1.60	Pronadora	Plano	6	20
16	Femenino	21	65	1.68	Supinadora	Normal	132	40
17	Masculino	22	75.300	1.78	Supinadora	Normal	6	20
18	Femenino	25	59.300	1.62	Supinadora	Normal	24	30
19	Masculino	22	61.450	1.66	Neutra	Normal	36	30

20	Masculino	23	74.400	1.78	Pronadora	Normal	4	30
21	Femenino	27	59.100	1.66	Pronadora	Normal	12	30
22	Femenino	34	72.600	1.75	Pronadora	Normal	60	30
23	Femenino	24	55.300	1.60	Pronadora	Normal	12	25
24	Masculino	31	80.100	1.84	Supinadora	Normal	36	40
25	Masculino	24	71.300	1.75	Pronadora	Normal	6	35
26	Femenino	24	56	1.60	Pronadora	Normal	12	30
27	Masculino	25	75.230	1.78	Supinadora	Normal	6	40
28	Masculino	29	73.450	1.77	Pronadora	Plano	12	30
29	Masculino	25	66.600	1.69	Pronadora	Normal	3	25
30	Masculino	25	69.100	1.70	Pronadora	Plano	10	50

Tabla 1. Características de los corredores.

Operacionalización de variables independientes

Se muestran a continuación en la tabla 2.

Nombre	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición	Indicador
Calzado	Cualitativa	Clase o conjunto de prendas que protegen al pie y tienen suela	Grado de minimalismo de acuerdo con el Minimalist Index	Nominal, de dicotómica	Reebok, Karosso

Tabla 2. Variables independientes.

Operacionalización de variables dependientes

Se muestran a continuación en la tabla 3.

Nombre	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición	Indicador
Ángulo de cadera	Cuantitativa	Unidad de medida para el rango de movimiento de dicha articulación	Medición de cadera obtenida a través de los marcadores epidérmicos	Continua	-30° a 120°
Ángulo de rodilla	Cuantitativa	Unidad de medida para el rango de	Medición de rodilla obtenida a través	Continua	0° a 150 °

			movimiento de dicha articulación	de los marcadores epidérmicos		
Ángulo de tobillo	Cuantitativa	Unidad de medida para el rango de movimiento de dicha articulación	Medición de tobillo obtenida a través de los marcadores epidérmicos	Continua		-30° a 50°
Ángulo de inclinación del tobillo	Cuantitativa	Unidad de medida para el rango de movimiento de inclinación del tobillo	Medición de tobillo obtenida a través de los marcadores epidérmicos	Continua		-5° a 15°
Ángulo de flexión máxima de rodilla	Cuantitativa	Unidad de medida para el rango de movimiento de flexión máxima de dicha articulación	Medición de rodilla obtenida a través de los marcadores epidérmicos	Continua		0° a 150°
Ángulo de zancada (Tándem)	Cuantitativa	Unidad de medida para el rango de movimiento formado bilateralmente por la cadera que se produce durante la fase de impulso	Medición de zancada obtenida a través de los marcadores epidérmicos	Continua		10° a 100°

Tabla 3. Variables dependientes.

Materiales

Se elaboró una ficha de identificación para cada corredor (anexo 1), además de un consentimiento informado (anexo 2) y para evaluar el grado de minimalismo de cada calzado se utilizó Minimalist Index (25) (anexo 3).

Instrumento de investigación

El calzado para correr marca Reebok modelo Lite (figura 3) es un tenis ligero, que de acuerdo con el fabricante permite realizar una carrera de manera natural. Cuenta con entresuela de EVA 3D ultralite que brinda amortiguación y soporte, un sistema de siete ojales con cierre de cordones, diseño de corte bajo que permite mayor libertad de movimiento de tobillo y transiciones más rápidas. Está indicado para corredores con pisada neutra y running de poco kilometraje.



Figura 3. Vista lateral y superior del modelo Reebok Lite.

El calzado para correr marca Karosso modelo 6318 (figura 4) cuenta con suela EVA de dos densidades y un puente de poliuretano termoplástico (TPU). Su diseño protege el metatarso, sin dejar de ser flexible, brinda amortiguación y estabilidad en la pisada. Cuenta con acordonado de cuatro ojales con cierre de cordones. Están recomendados para personas con menos de 80 kilogramos, pisada neutra y que realicen carreras entre cinco y 21 kilómetros.



Figura 4. Vista lateral y superior del modelo Karosso 6318.

Para evaluar el grado de minimalismo del calzado se aplicó el Minimalist Index (25). A continuación, se desglosan cada uno de los aspectos a valorar en dicha escala. Respecto al peso en gramos del calzado deportivo, el modelo Karosso 6318 pesó 255 gramos, mientras el modelo Reebok Lite 205 gramos. El segundo punto por valorar dentro del MI es la altura de la suela al nivel del talón. El valor para el modelo Karosso 6318 fue de 32 milímetros, por otro parte Reebok Lite obtuvo 31 milímetros.

Con respecto al DROP, para calcularlo se realizaron dos mediciones sobre la suela, la primera a la altura del maléolo lateral y la segunda al nivel de la articulación metatarsofalángica del quinto dedo, la diferencia de estos dos valores resultó de 13 milímetros para el modelo Karosso 6318 y de siete milímetros para Reebok Lite.

En la tabla 4 se muestran los seis aspectos a valorar dentro del apartado de estabilidad y tecnologías de control del movimiento del MI. Cuando el calzado contaba con la característica se le daba el valor de un punto y cuando no la tenía se colocaba cero. El modelo Karosso 6318 obtuvo cinco de seis ítems posibles, por otro lado, el modelo Reebok Lite logró dos puntos pertenecientes a termoplástico en la parte medial y suela sobresaliente.

	Karosso	Reebok
Entresuela con multidensidad	1	0
Talonera rígida	1	0
Termoplástico en la parte medial	1	1
Plantilla con elevación del arco	1	0
Soporte medial tenso	0	0
Suela sobresaliente	1	1
Total	5	2

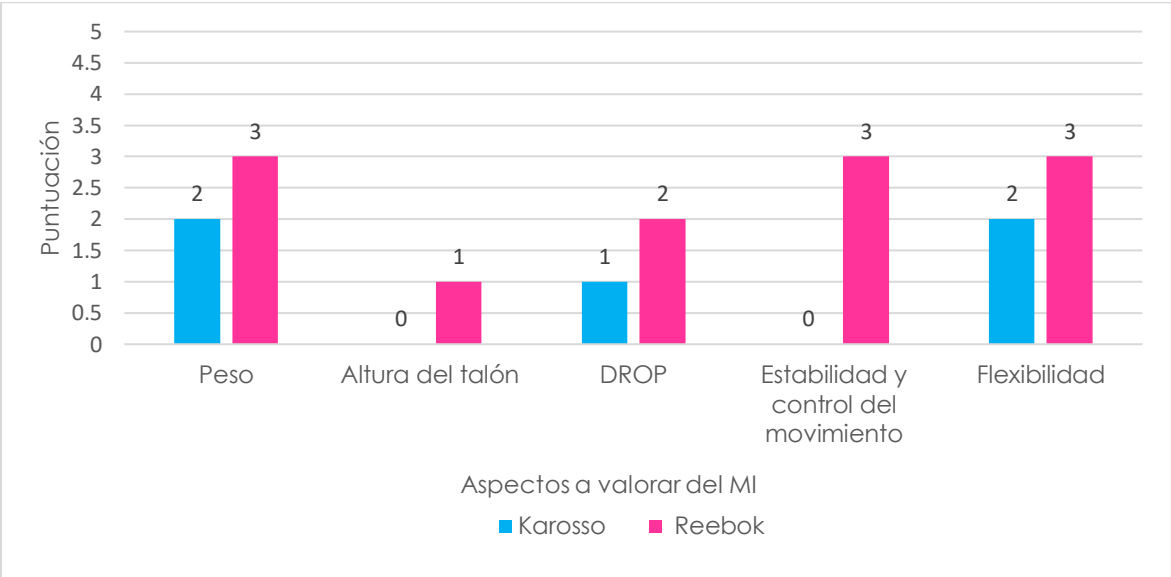
Tabla 4. Estabilidad y tecnologías de control del movimiento del calzado deportivo que utilizaron los corredores.

De acuerdo con el MI, el último punto por valorar del calzado deportivo se refiere a la capacidad de deformación longitudinal y torsional que pueda tener. Para obtener estos valores se aplicó una fuerza mantenida tratando de unir la punta del calzado con el contrafuerte y realizando un movimiento de torsión, el resultado se comparó con las imágenes del MI. El modelo Karosso 6318 resultó con dos puntos y el modelo Reebok Lite con tres, considerando que a menor puntuación menor capacidad de deformación, Reebok resultó más flexible (tabla 5).

	Karosso	Reebok
Flexibilidad longitudinal	1	1.5
Flexibilidad torsional	1	1.5
Total	2	3

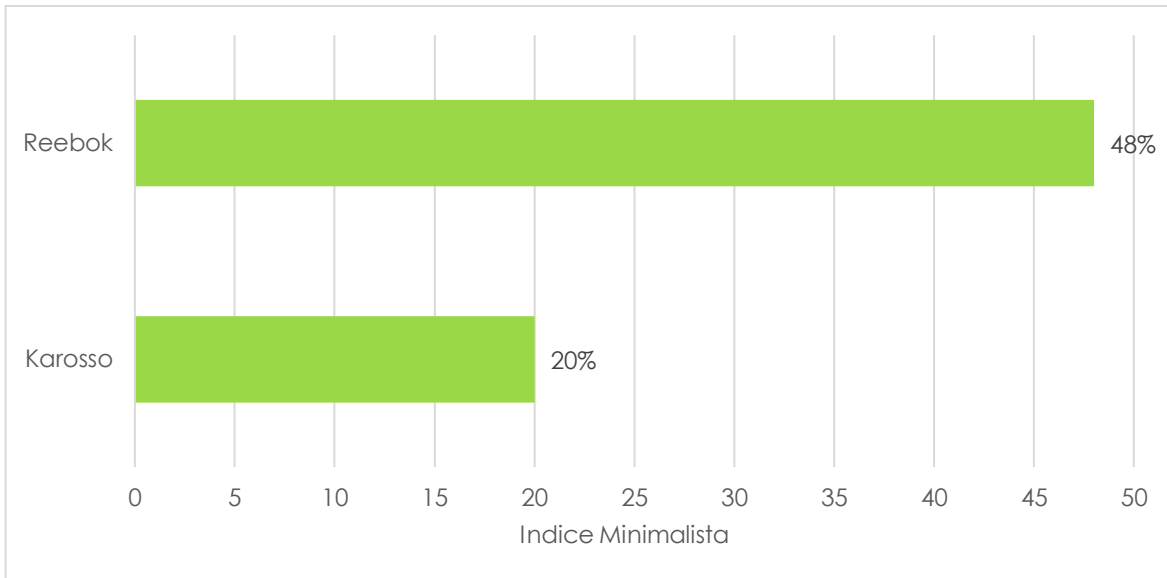
Tabla 5. Tipos de flexibilidad del calzado deportivo que utilizaron los corredores.

Con base al MI, a cada categoría valorada se le brindó una puntuación del cero al cinco, dependiendo del calzado, donde el cero representa el menor grado de minimalismo y cinco el mayor. El modelo Karosso 6318 obtuvo dos puntos en peso, cero en altura del talón, uno en DROP, cero en estabilidad y control del movimiento y dos en flexibilidad con una suma total de cinco puntos. Por otro lado, el modelo Reebok Lite obtuvo tres puntos en peso, uno en altura del talón, uno en DROP, tres en estabilidad y control del movimiento y tres en flexibilidad, su suma total fue de doce puntos (gráfica 1).



Gráfica 1. Distribución por categorías del Minimalist Index con base al calzado deportivo que utilizaron los corredores.

Para obtener el porcentaje de minimalismo, el resultado de cada calzado se multiplicó por cuatro (como lo indica el MI) el modelo Karosso 6318 obtuvo 20% de índice minimalista y por su parte el modelo Reebok Lite resultó con un 48% de índice minimalista, es decir, el diseño de Reebok Lite es más minimalista en comparación al modelo 6318 de Karosso (gráfica 2).



Gráfica 2. Índice minimalista del calzado deportivo que utilizaron los corredores.

Desarrollo del proyecto

La valoración fue llevada a cabo en una clínica particular de fisioterapia en León, Guanajuato durante el periodo de febrero a marzo del año 2021. A los corredores se les solicitó acudir con playera y short de tonos oscuros. Al ingresar se les otorgó un consentimiento informado en cual se explicaba el procedimiento. Una vez aceptado y firmado se continuó con el registro de los datos.

Se inició con datos de identificación, posteriormente se realizó una valoración clínica en la que se evaluó su peso, talla y el tipo de pie, posteriormente se aplicó el Foot Posture Index (FPI) (60,61) para conocer su tipo de pisada. A cada participante se le colocaron marcadores epidérmicos de 15 milímetros de diámetro en las siguientes zonas: ángulo costal de la octava costilla, trocánter, epicóndilo lateral del fémur, cabeza del peroné, maléolo lateral y tendón de Aquiles. Sobre el calzado se colocaron marcadores a la altura de la superficie posterior del calcáneo, articulación metatarsofalángica del quinto dedo, y para la vista posterior dos a los lados del contrafuerte (figura 5 y 6).



Figura 5. Vista lateral de los marcadores.



Figura 6. Vista posterior de los marcadores

La carrera se llevó a cabo sobre una banda sin fin Healthrider H900i, a cada corredor se le dio un periodo de adaptación a los tenis de cuatro minutos sobre la banda sin fin a una velocidad que consideraran cómoda (62). La primera valoración se realizó con el calzado Karosso modelo 6318 a la velocidad preferida de cada corredor para estabilizar su patrón de carrera a los tenis con una duración de cuatro minutos (63), se realizaron dos ensayos a la misma velocidad con un periodo de descanso de dos minutos entre cada medición. Posteriormente la segunda valoración se realizó con el calzado Reebok modelo Lite siguiendo los mismos parámetros.

La toma de videos se realizó con una cámara Sony Handycam en modo grabación lenta a 60 cuadros por segundo (fps) para de la vista lateral y para la vista posterior se utilizó la cámara de un dispositivo móvil en cámara lenta a 60 fps. Para el análisis biomecánico se consideraron los ángulos de cadera, rodilla, y tobillo en las fases de la carrera: contacto inicial, apoyo medio y salida del pie. También se midió la flexión máxima de rodilla, ángulo tándem, así como el grado de inclinación del tobillo.

Diseño de análisis

Posteriormente los videos fueron analizados con los programas Tracker Video Analysis and Modeling Tool versión 2022 y Kinovea 0.8.15 para Windows, en donde se rastrearon los marcadores epidérmicos que se colocaron a cada participante con los dos tipos de calzado, se analizaron aproximadamente 50 pasos consecutivos para cada variable con el fin de disminuir la variabilidad de la zancada. El llenado de datos se realizó con Microsoft Excel 2018, finalmente para el análisis estadístico se utilizó la prueba T de student (tabla de distribución normal, anexo 4) para muestras relacionadas con el programa IBM-SPSS Statistics 25 para Windows.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

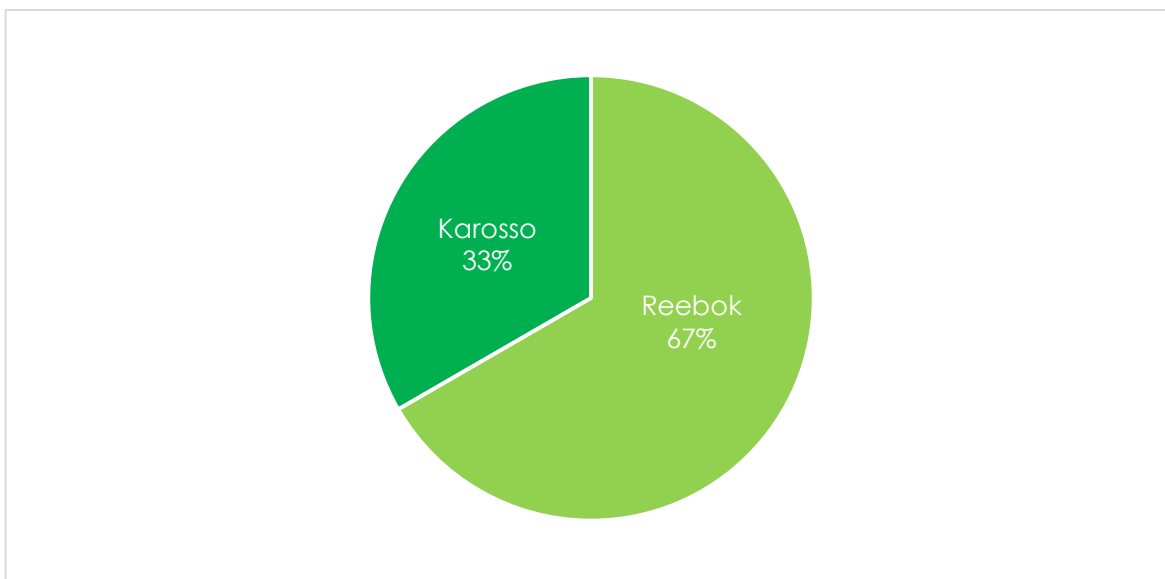
En el estudio participaron 30 corredores, a continuación, se muestran las características epidemiológicas y clínicas de estos deportistas:

La distribución de la muestra respecto al género estuvo conformada por 10 mujeres que representan el 33% y 20 hombres que corresponden al 67%, la edad la media fue de 24 años. En relación con el tipo de pie, tres corredores (10%) presentaron pie plano y el 90% restante pie normal. De acuerdo con el Foot Posture Index (60,61) se encontró que tres de los corredores presentaron pisada neutra (10%), 11 corredores resultaron supinadores (37%) y finalmente la mayoría de la muestra con un total de 16 corredores mostraron pisada pronadora (53%) (tabla 6).

Categoría	Variabes	Número	Porcentaje
Sexo	Femenino	10	33%
	Masculino	20	67%
Tipo de pie	Pie plano	3	10%
	Pie normal	27	90%
Tipo de pisada	Pisada neutra	3	10%
	Pisada pronadora	16	53%
	Pisada supinadora	11	37%

Tabla 6. Resultados preliminares de los corredores.

Al terminar de correr, a los participantes se les preguntó con qué calzado experimentaron mayor grado de confort, 10 corredores (33%) votaron por el modelo 6318 de Karosso, mientras que el resto de los corredores (20) (67%) prefirieron el modelo Reebok Lite (gráfica 3).



Gráfica 3. Distribución de corredores respecto al calzado con el que expresaron mayor confort.

En la tabla 7 se observan la media, la desviación estándar, el valor p y t de cada variable, la muestra evaluada reportó que el ángulo de rodilla durante el contacto inicial de la carrera fue mayor cuando se corrió con el calzado Reebok ($M=18.03$, $DE= \pm 8.38$) en comparación con el calzado Karosso ($M= 15.13$, $DE= \pm 5.88$, $t= -2.61$, $p= <.014$).

Respecto al tobillo, durante el contacto inicial se presentó un mayor ángulo de dorsiflexión con el calzado Karosso ($M=9.06$, $DE= \pm 4.88$) en comparación con el calzado Reebok ($M= 5.33$, $DE= \pm 8.21$, $t= 1.63$, $p= <.037$). También se encontraron diferencias en el ángulo de inclinación del tobillo, siendo mayor con Reebok ($M= 91$, $DE= \pm 4.39$) comparado con Karosso ($M= 87.17$, $DE= \pm 3.39$, $t= .116$, $p= <.044$).

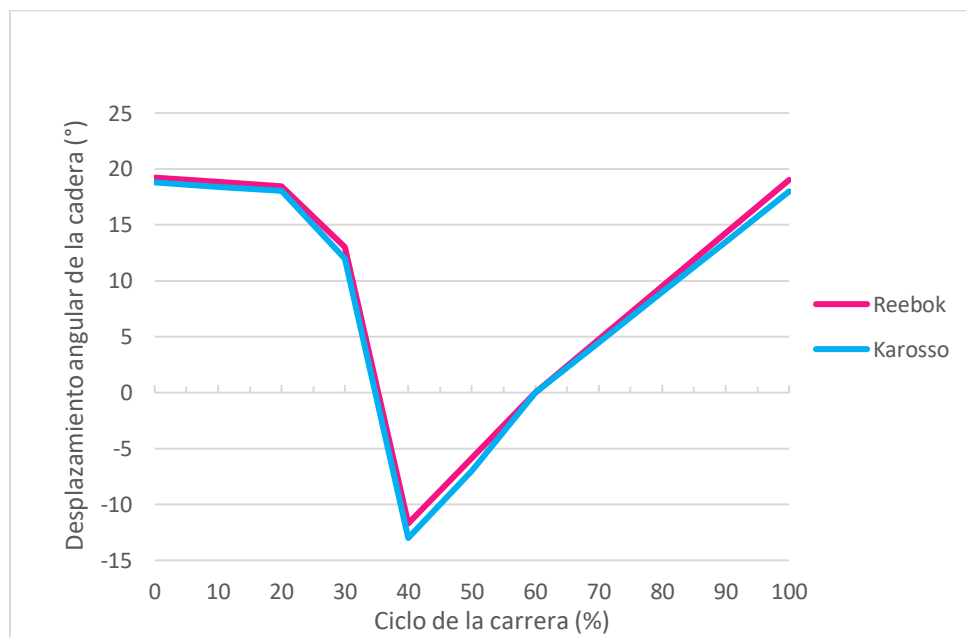
En los ángulos de cadera no se encontraron diferencias en ninguna de las fases de la carrera. El ángulo de flexión máxima de cadera y el ángulo de zancada tampoco se modificaron significativamente.

	Karosso	Reebok	p	t
Ángulo cadera durante el contacto inicial (°)	18.80 ± 2.84	19.23 ± 4.02	.444	-.776
Ángulo rodilla durante el contacto inicial (°)	15.13 ± 5.88	18.03 ± 8.38	.014*	-2.61
Ángulo tobillo durante el contacto inicial (°)	9.06 ± 4.88	5.33 ± 8.21	.037*	1.63
Ángulo cadera durante el apoyo medio (°)	18.03 ± 3.57	18.47 ± 4.03	.375	-.901

Ángulo rodilla durante el apoyo medio (°)	32.80 ± 5.53	33.40 ± 4.70	.498	-.686
Ángulo tobillo durante el apoyo medio (°)	15.27 ± 4.50	13.20 ± 6.50	.113	2.26
Ángulo cadera durante la salida del pie (°)	-13 ± 5	-11.70 ± 8.36	.266	-1.13
Ángulo rodilla durante la salida del pie (°)	28 ± 9.04	27.53 ± 7.74	.729	.349
Ángulo tobillo durante la salida del pie (°)	-11.53 ± 7.67	- 11.07 ± 8.12	.731	-.348
Ángulo flexión máxima de rodilla (°)	96.30 ± 12.86	93.83 ± 14.50	.404	.846
Ángulo de zancada (Tándem) (°)	39.47 ± 11.43	40.57 ± 13.26	.719	-.364
Ángulo de inclinación de tobillo (°)	87.17 ± 3.39*	91 ± 4.39*	.044*	.116

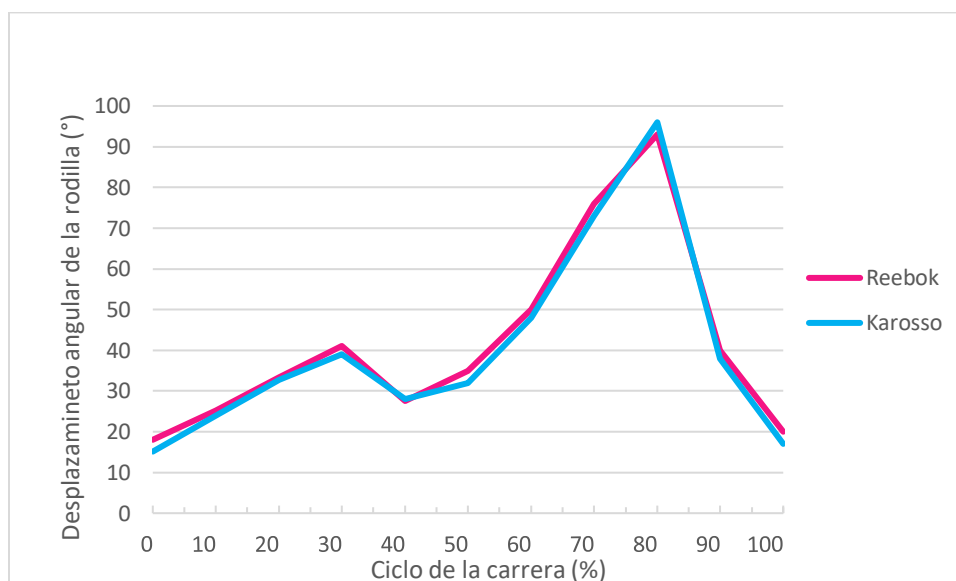
Tabla 7: Valores medios (± DE) de los resultados obtenidos con Karosso y Reebok. (*p= <.05, un valor negativo en la cadera representa extensión y en el tobillo plantiflexión).

En la gráfica 4 se observa el desplazamiento angular de la cadera durante el ciclo de la carrera con los dos calzados, Karosso obtuvo una media de 18.80° de flexión durante el contacto inicial de la carrera, un valor de 15.13° de flexión durante el apoyo medio y 13° de extensión en la salida del pie, el calzado Reebok obtuvo 19.23° de flexión durante el contacto inicial, 18.47° de flexión en el apoyo medio y 11.70° de extensión en la salida del pie.



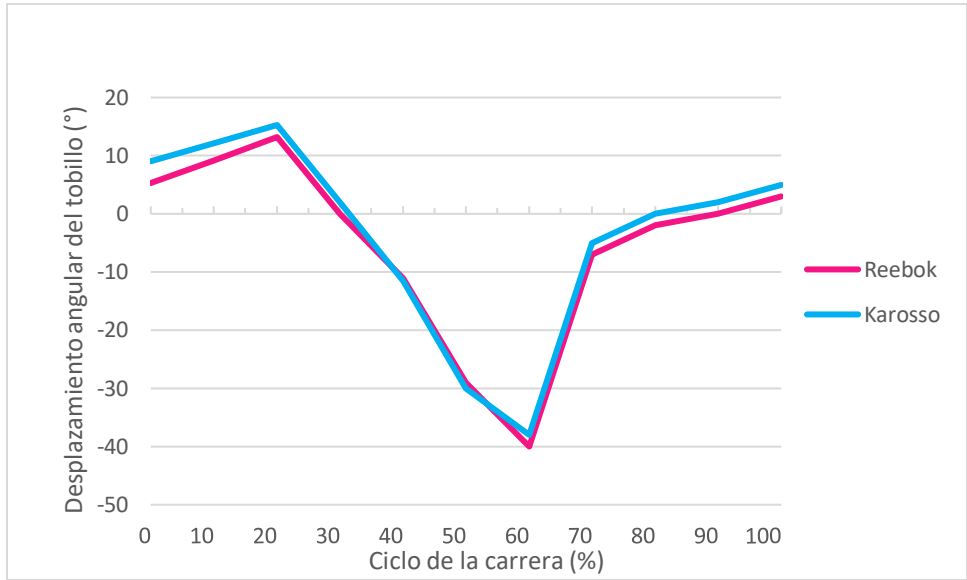
Gráfica 4. Movimientos de la cadera de los corredores durante el ciclo de la carrera con Reebok y Karosso (un valor negativo representa extensión).

La gráfica 5 muestra el desplazamiento angular de la rodilla durante el ciclo de la carrera con los dos calzados, Karosso presentó una media de 15.13° de flexión durante el contacto inicial de la carrera, 32.80° de flexión durante el apoyo medio y 28° de flexión en la salida del pie, mientras el calzado Reebok obtuvo 18.03° de flexión durante el contacto inicial, 33.40° de flexión durante el apoyo medio y 27.53° de flexión en la salida del pie. También se observa la media de la flexión máxima de rodilla con un valor de 96.30° para Karosso y 93.83° para Reebok.



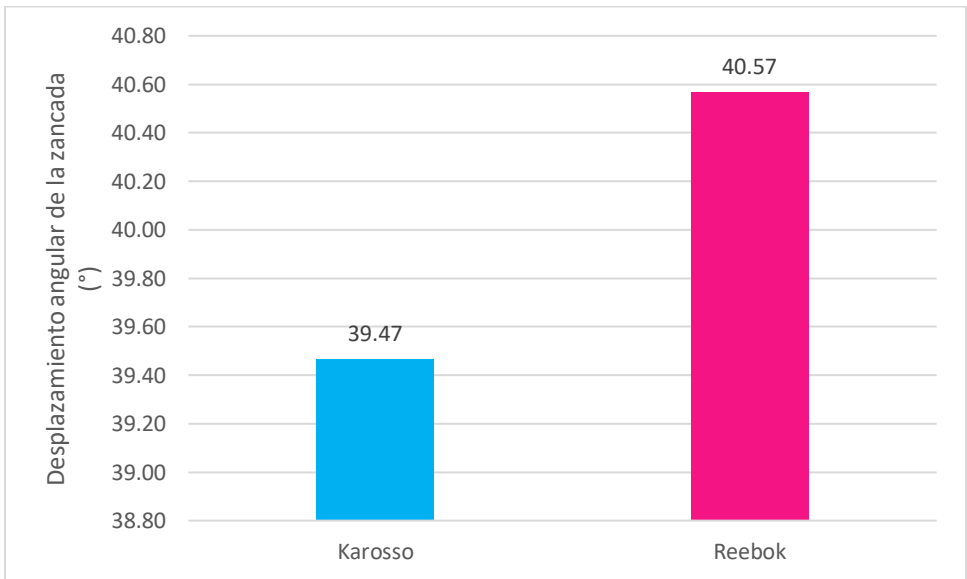
Gráfica 5. Movimientos de la rodilla de los corredores durante el ciclo de la carrera con Reebok y Karosso.

En la gráfica 6 se muestra el desplazamiento angular del tobillo durante el ciclo de la carrera con los dos calzados, la media de Karosso durante el contacto inicial de la carrera fue de 9.06° de dorsiflexión, durante el apoyo medio 15.27° de dorsiflexión y se obtuvo un valor de 11.53° de plantiflexión en la salida del pie, en comparación con el calzado Reebok quien obtuvo 5.33° de dorsiflexión durante el contacto inicial, 13.20° de dorsiflexión durante el apoyo medio y 11.07° de plantiflexión en la salida del pie.



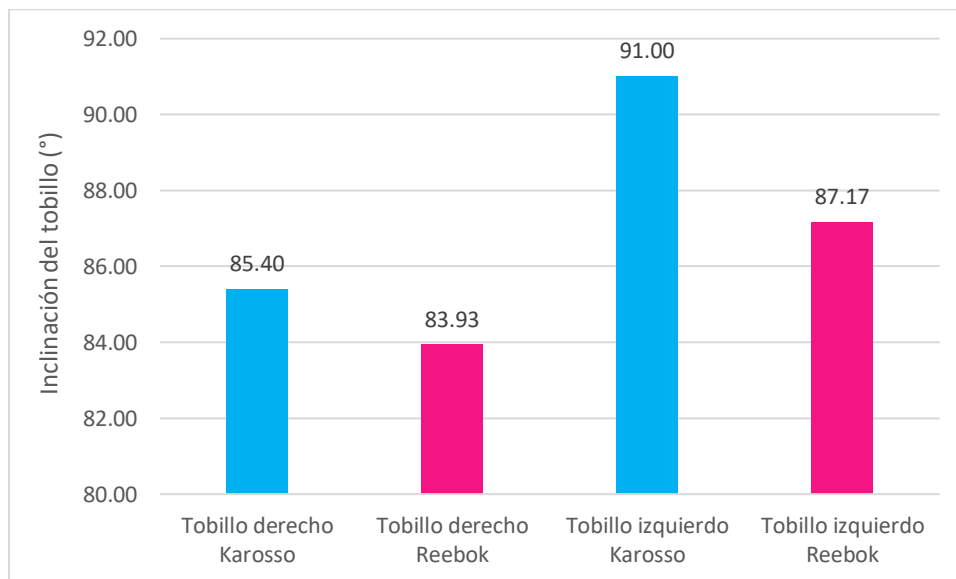
Gráfica 6. Movimientos del tobillo de los corredores durante el ciclo de la carrera con Reebok y Karosso (un valor negativo representa plantiflexión).

A continuación, (gráfica 7) se muestra la media del ángulo de la zancada con un valor de 39.47° para Karosso y 40.57° para Reebok.



Gráfica 7. Ángulo tándem de los corredores durante el ciclo de la carrera con Reebok y Karosso.

En la vista posterior se evaluó el grado de inclinación del tobillo, en la gráfica 8 se muestra la media para cada calzado y su respectivo pie. En el tobillo derecho Karosso obtuvo 85.40° de inclinación y Reebok 83.93°, mientras en el tobillo izquierdo el valor fue de 91° para Karosso y 87.17° para Reebok.



Gráfica 8. Inclinación de tobillo de los corredores durante el ciclo de la carrera con Reebok y Karosso.

DISCUSIÓN

De acuerdo con esta investigación dos tercios de los corredores califican al calzado Reebok modelo Lite con mayor grado de confort respecto a Karosso modelo 6318, ambos calzados están elaborados con suelas EVA, sin embargo, Karosso tiene dos densidades de EVA y un puente de TPU, un plástico muy versátil que puede ser blando o duro, la aplicación del TPU sobre el calzado fue para brindar mayor amortiguación, aunque por este aditamento Karosso también obtuvo un menor grado de minimalismo y fue menos confortable de acuerdo con los corredores. Los autores Sánchez, Díaz y Castro realizaron un estudio donde concluyeron que el calzado deportivo con plantillas de EVA genera mayor amortiguación y disminuye el esfuerzo en un 10% reduciendo la fuerza de impacto (8).

Después de analizar el grado de minimalismo entre los dos calzados, el calzado Reebok Lite resultó con la puntuación más alta de acuerdo con el Minimal Index (48%) en comparación con Karosso 6318 quien solo obtuvo un 20% de minimalismo, uno de los puntos a considerar en el MI es el DROP, en el estudio de Thibault Besson y colaboradores (56), se midió la influencia del DROP sobre los valores cinéticos y cinemáticos de la carrera, los resultados mostraron menores grados de dorsiflexión de tobillo a menor tamaño de DROP coincidiendo con los resultados de este estudio donde el calzado Reebok con 7 milímetros de DROP obtuvo menor grado de dorsiflexión en comparación al DROP de 13 milímetros de Karosso.

Respecto a la biomecánica de carrera, el tobillo y la rodilla se modifican durante el contacto inicial del ciclo de la carrera, los resultados arrojan un menor grado de dorsiflexión de tobillo y mayor ángulo de rodilla con Reebok, por su parte Karosso presenta lo contrario, mayor grado de dorsiflexión de tobillo y menor ángulo de rodilla. Los autores Huang, Xia, Chen y colaboradores (57) realizaron una investigación sobre los efectos del patrón de pisada en la carrera, en sus resultados encontraron una menor carga de impacto cuando la carrera se realizó con un patrón de pisada en antepié, es decir con un menor grado de dorsiflexión de tobillo. De acuerdo con estos autores, si a menor grado de dorsiflexión menor carga de impacto, el calzado Reebok es el más indicado para correr con menor carga de impacto.

En el ángulo de inclinación del tobillo también hay diferencias, Reebok presenta un mayor ángulo en comparación con Karosso, esta diferencia se le puede atribuir al diseño individual de cada calzado. El modelo Reebok Lite se promociona como un tenis para correr de manera natural, gracias a su diseño de corte bajo permite mayor libertad de movimiento de tobillo, por su parte el modelo 6318 de Karosso promete mayor protección al pie y estabilidad en la pisada. Los autores Hannigan y Pollard realizaron un estudio controversial ya que sus resultados fueron contrarios a muchos estudios previos, entre sus hallazgos refieren mayores tasas de carga con menor DROP y mayor eversión de tobillo con mayor DROP. Al compararse con este trabajo, también hay discrepancias, los autores sugieren más investigaciones en el tema (59).

CONCLUSIÓN

El presente trabajo demuestra cómo el minimalismo del calzado deportivo influye sobre la biomecánica de tobillo y rodilla durante el contacto inicial de la carrera, al disminuir el ángulo de dorsiflexión del tobillo y aumentar el ángulo de rodilla. Coincidiendo con varios autores, un calzado minimalista es el más recomendado para correr, sin embargo, es importante mencionar que, además del grado de minimalismo del calzado, se deben valorar otros aspectos del paciente, tales como: peso, talla, tipo de pisada, tipo de pie, grado de estabilidad articular, tipo de carrera, volumen de kilómetros, por lo tanto la recomendación por parte del fisioterapeuta deportivo acerca de qué calzado deportivo utilizar siempre debe ser individual y adaptada a las necesidades de cada corredor.

Si bien esta investigación arroja resultados similares a los de varios autores (54,56,57) también se presentan discrepancias con algunos otros (54,55), por lo tanto, se requieren más investigaciones en el tema que aborden las limitaciones de este estudio, entre ellas implementar el uso de nuevas y mejores tecnologías en biomecánica, comparar más marcas de calzado, tener una mayor población femenina y realizar la valoración de la carrera en diferentes superficies de terreno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Brigaud F. La carrera, postura, biomecánica y rendimiento. 1st ed. Badalona, España.: Paidotribo; 2016. 240 p.
2. González-Mohíno Mayoralas F, Jiménez Díaz J, Juárez Santos-García D, Barragán Castellanos R, Yustres Amores I, González Ravé J. Economía de carrera y rendimiento. Esfuerzos de alta y baja intensidad en el entrenamiento y calentamiento. Revisión bibliográfica. Arch Med del Deport Rev la Fed Española Med del Deport y la Confed Iberoam Med del Deport. 2018;35(184):108–16.
3. Vásquez CL, Méndez UM, Esparza EM. La evaluación fisioterapéutica en la práctica de actividades físico deportivas. Rev Conrado [Internet]. 2018;14(64):33–9. Available from: <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/784>
4. Hornillos Baz I. Atletismo. Primera. Gónzalez Fraga A, editor. España: INO Reproducciones.; 2000. 106 p.
5. Francisco Carreño B, Giovanni Carcuro U. Corredores: Bases científicas para la elección de calzado y prevención de lesiones. Rev Médica Clínica Las Condes. 2012;23(3):332–6.
6. Buldt A, Forghany S, Landorf K. Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet. J Foot Ankle Res. 2018;11(1).
7. Oficiales C general de colegios de podólogos de E. Estudios De La Pisada En El Deportista. Diagnósticos Biomecánicos. Competencias, Finalidad Y Riesgos. Informe Razonado Sebior&Sepod. 2018;14. Available from: <https://cgcop.es/newweb/wp-content/uploads/2018/07/INFORME-170615SEBIORSEPODCONSEJO.-ESTUDIOS-DE-LA-PISADA.pdf>
8. Sánchez I, Díaz J, Castro Abril H. Análisis biomecánico de la influencia del calzado deportivo en los esfuerzos presentes en extremidad inferior. Rev Investig Univ América. 2014;8(2):71–81.
9. Sant JR. Metodología Y Tecnicas De Atletismo [Internet]. Metodología Y Tecnicas De Atletismo. 2005. 33–44 p. Available from: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4qxLd2bV-a8C&oi=fnd&pg=PA13&dq=metodologia+del+atletismo&ots=FlvwXHLXcb&sig=w9pp68ao_DzEZBWiwAwQ5GhDrWE#v=onepage&q=metodologia del atletismo&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4qxLd2bV-a8C&oi=fnd&pg=PA13&dq=metodologia+del+atletismo&ots=FlvwXHLXcb&sig=w9pp68ao_DzEZBWiwAwQ5GhDrWE#v=onepage&q=metodologia%20del%20atletismo&f=false)
10. Ferro Sánchez A. La carrera de velocidad. España: Librerías deportivas Esteban Sanz, S.L.; 2001.
11. Tucker R. Running technique – Is there a ‘right’ way to run? [Internet]. The science of sports. 2007. Available from: <https://sportsscientists.com/2007/09/running-technique-is-there-a-right-way-to-run/>
12. Guevara Vallejo PV, Morales Calero S. La técnica de carrera y el desarrollo motriz en aspirantes a soldados. Rev Cuba Investig Biomédicas. 2017;3:36–47.
13. Daoud AI, Geissler GJ, Wang F, Saretsky J, Daoud YA, Lieberman DE. Foot Strike and Injury Rates in Endurance Runners. Med Sci Sport Exerc [Internet]. 2012 Jul;44(7):1325–34. Available from: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-201207000-00017>

14. Hasegawa H, Yamauchi T, Kraemer W. Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *PubMed*. 2007;21(3):888–93.
15. Villarejo MF, Gijón-Nogueron G. Factores del calzado deportivo de carrera que influyen en la práctica deportiva: Revisión sistemática. *Arch Med del Deport*. 2014;31(160):105–10.
16. Ogueta-Alday A, García ILópez J. Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. *RICYDE Rev Int Ciencias del Deport* [Internet]. 2016;12(45):278–308. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71046278006%0D>
17. Richert FC, Stein T, Ringhof S. The effect of the heel-to-toe drop of standard running shoes on lower limb biomechanics. *Footwear Sci*. 2020;11(3):161–70.
18. Honert EC, Mohr M, Lam WK, Nigg S. Shoe feature recommendations for different running levels: A delphi study. *PLoS One* [Internet]. 2020;15(7 July):1–17. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0236047>
19. Vicén J, Garrigós J del C, González C, Salinero JJ. La biomecánica y la tecnología aplicadas al calzado deportivo [Internet]. 2012. 59 p. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Salinero/publication/239526613_La_biomecánica_y_la_tecnología_aplicadas_al_calzado_deportivo/links/0c96051c170796a380000000/La-biomecánica-y-la-tecnología-aplicadas-al-calzado-deportivo.pdf
20. Hohmann E, Reaburn P, Imhoff A. Runner´s knowledge of their foot type: Do they really know? *Foot*. 2012;22(3):205–10.
21. Wegener C, Hons B, Burns J. Effect of Neutral-Cushioned Running Shoes on Plantar Pressure Loading and Comfort in Athletes With Cavus Feet A Crossover Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med*. 2008;36(11):2139–46.
22. Izquierdo Peña J, Carrero Ayuso I. La importancia del calzado en las principales lesiones de rodilla en corredores. Universidad de Valladolid; 2016.
23. Devon R, Yumna A, Nicholas T, Tucker R. Conceptualizing minimalist footwear: an objective definition. *J Sports Sci*. 2018;36(8):949–54.
24. Wang L, Li J, Hong Y, Zhou J. Changes in heel chusioning characteristics of running shoes with running mileage. *Foodwear Sci*. 2010;2(3):141–11.
25. Esculier J-F, Dubois B, Dionne CE, Leblond J, Roy J-S. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. *J Foot Ankle Res* [Internet]. 2015 Dec 19;8(1):42. Available from: <http://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13047-015-0094-5>
26. Mosqueira M, Varela-Sanz. Criterios para la prescripción de calzado deportivo running. *Rev Española Podol* [Internet]. 2018;29(1):10–1. Available from: <https://www.revesppod.com/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
27. Hoitz F, Mohr M, Asmussen M, Lam WK, Nigg S, Nigg B. The effects of systematically altered footwear features on biomechanics, injury, performance, and preference in runners of different skill level: a systematic review. *Footwear Sci* [Internet]. 2020;12(3):193–215. Available from: <https://doi.org/10.1080/19424280.2020.1773936>
28. Langer P. A closer look at minimalist running shoes. *Pod Today*. 2012;25(9):5257.
29. Conesa V. Incidencia De Las Lesiones Deportivas En El Corredor Popular. *Cult Cienc y Deport*. 2010;5(15):32.

30. Francis P, Whatman C, Sheerin K. The proportion of lower limb running injuries by gender, anatomical location and specific pathology: A systematic review. *J Sport Sci Med*. 2019;3(2):160–72.
31. Malisoux L, Chambon N, Urhausen A, Theisen D. Influence of the Heel-to-Toe Drop of Standard Cushioned Running Shoes on Injury Risk in Leisure-Time Runners. *Am J Sports Med*. 2016;44(11):2933–40.
32. Hoitz F, Vienneau J, Nigg BM. Influence of running shoes on muscle activity. *PLoS One* [Internet]. 2020;15(10 October):1–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0239852>
33. Bahr R, Maehlum S, Bolic T. Lesiones deportivas. Diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. Segunda ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2015.
34. Pasos-Novelo F. Síndrome de la Banda Iliotibial. *Orthotips*. 2017;13(2):65–72.
35. Hariri S, Savidge E, Reinold M, Zachazewski J. Treatment of recalcitrant iliotibial band friction syndrome with open iliotibial band bursectomy: Indications, technique, and clinical outcomes. *Am J Sport Med*. 2009;37(7):1417–24.
36. Gómez S. Actualización sobre el síndrome de estrés medial tibial. *Rev Científica Gen José María Córdova*. 2016;14(17):231–48.
37. Padros N, Vicente C, Ainad R. Periostitis tibial. Tratamiento físico. *Rev Española Podol*. 2012;23(2):62–6.
38. Jurado Bueno A, Medina Porqueres I. Tendón, valoración y tratamiento en fisioterapia. España: Paidotribo; 2008.
39. Tiemessen I, Kuijjer P, Hulshof C. Risk factors for developing jumper's knee in sport and occupation: A review. *BMC Res Notes*. 2009;2.
40. NCBI -StatPearls- Estantería. Bursitis trocantérea [Internet]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK5538503/#article-30627.s9>.
41. Rosas R. Lesiones deportivas clínica y tratamiento. *Rev Ambito Farm*. 2011;30(3):36–42.
42. James S, Bates B, LR O. Achilles Tendon Injuries to runners. *Sport Med Int J Appl Med Sci Sport Exerc*. 1994;18(3):173–201.
43. Aguda F, Nivel P. Guía de Práctica Clínica. 2013;1–20.
44. Bavdek R, Zdolsek A, Stronjnik V, Dolenc A. Peroneal muscle activity during different types of walking. *Foot Ankle Res*. 2018;11(1):1–9.
45. Díaz-López A, Gúzman-Carrasco P. Efectividad de distintas terapias físicas en el tratamiento conservador de la fascitis plantar. Revisión sistemática. *Rev Esp Salud Publica*. 2014;88(1):157–78.
46. Jiménez R. Tratamiento de la fascitis plantar. *Rev Española Podol*. 2010;21(3):110–3.
47. Escobar-de-las-Heras N, Sevilla-Lerena M, Ochoa-Prieto J. Fractura por fatiga: sospecha clínica y perseverancia diagnóstica. *SEMERGEN*. 2010;36(10):590–2.
48. Green S. Síndrome femoropatelar: clínica y tratamiento. *EMC Kinesioterapia Med Física*. 2015;26(3):1–9.

49. Ramírez K. Condromalacia Rotuliana. *Rev Medica Costa Rica y Centroamérica*. 2014;611 (71):551–3.
50. Ramón Suarez G. *Biomecánica deportiva y control del entrenamiento*. Colombia: Funámbulos, Editores; 2009. 134 p.
51. Heredia J, Orantes E. HUBEMALAB [Internet]. Valoración biomecánica; análisis cinemático y cinético. 2017. Available from: <https://hubemalab.com/>
52. Dufourt M, Pillu M, Lavaste F, Pillet H. *Biomecánica funcional, Miembros, Cabeza, Tronco*. 2da ed. Barcelona, España: Elsevier B.V.; 2018. 26, 27 p.
53. Corbí-Santamaría P, Jiménez-Velayos A, Corbí-Santamaría M, García-López J. Análisis biomecánico del efecto de las zapatillas de clavos en el rendimiento del esprint en hombres velocistas. *RICYDE Rev Int Ciencias del Deport* [Internet]. 2018;14(53):243–55. Available from: <https://doi.org/10.5232/ricyde2018.05305>
54. Puigcerver Palau S, González García J, Piqueras Fiszman P, Medina Ripoll E, Ballester Fernández A, Fayos Sancho J, et al. Biomecánica aplicada al nuevo calzado de “running” de The north face. *Rev biomecánica*. 2013;(59):23–6.
55. Hoffman SE, Peltz CD, Haladik JA, Divine G, Nurse MA, Bey MJ. Dynamic in-vivo assessment of navicular drop while running in barefoot, minimalist, and motion control footwear conditions. *Gait Posture* [Internet]. 2015;41 (3):825–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.02.017>
56. Besson T, Morio C, Millet GY, Rossi J. Influence of shoe drop on running kinematics and kinetics in female runners. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2019;19(10):1320–7. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1603327>
57. Huang Y, Xia H, Chen G, Cheng S, Cheung RTH, Shull PB. Foot strike pattern, step rate, and trunk posture combined gait modifications to reduce impact loading during running. *J Biomech* [Internet]. 2019;86:102–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.01.058>
58. Cabello-marique D, Lopezosa-reca E, Ortega-avila AB. Influence of speed and heel-to-toe drop in running shoes for female recreational runners. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98.
59. Hannigan JJ, Pollard CD. Differences in running biomechanics between a maximal, traditional, and minimal running shoe. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2020;23(1):15–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.008>
60. Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res* [Internet]. 2008 Dec 31;1(1):6. Available from: <https://jfootankleres.biomedcentral.com/articles/10.1186/1757-1146-1-6>
61. Keenan A-M, Redmond A. The Foot Posture Index: Rasch Analysis of a Novel, Foot-Specific Outcome Measure. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007;88(1):88–93.
62. Divert C, Mornieux G, Baur H, Mayer F, Belli A. Mechanical comparison of barefoot and shod running. *Int J Sports Med*. 2005;26(7):593–8.
63. Morio C, Sevrez V, Chavet P, Berton E, Nicol C. Neuro-mechanical adjustments to shod versus barefoot treadmill runs in the acute and delayed stretch-shortening cycle recovery phases. *J Sports Sci*. 2016;34(8):738–45.

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA DE IDENTIFICACIÓN		
Número de corredor:		
Edad:	Peso:	
Talla:	Genero:	
Tipo de pisada:	Tipo de pie:	
Meses corriendo:	Kilómetros por semana:	
FOOT POSTURE INDEX	Izquierdo	Derecho
1.Palpación de la cabeza del astrágalo		
2.Curvatura supra e inframaleolar lateral		
3.Posición del calcáneo en el plano frontal		
4.Prominencia de la región talo navicular		
5.Congruencia del arco longitudinal interno		
6.Abducción/aducción del antepié respecto al retropié		
RESULTADO		

FOOT POSTURE INDEX

ITEM	-2	-1	0	+1	+2
1	Cabeza del astrágalo palpable en el lado lateral/pero no en el lado medial	Cabeza del astrágalo palpable en el lateral/ligeramente palpable en el lado medial	Cabeza del astrágalo igualmente palpable en el lado lateral y medial	Cabeza del astrágalo ligeramente palpable en el lado lateral/palpable en el lado medial	Cabeza del astrágalo no palpable en el lado lateral/pero palpable en el lado medial
2	Curva debajo del maléolo ya sea recta o convexa	Curva por debajo del maléolo cóncava, pero más plana/más que la curva por encima del maléolo	Las curvas infra y supra maleolar son aproximadamente iguales	Curva por debajo del maléolo más cóncava que la curva por encima del maléolo	Curva por debajo del maléolo marcadamente más cóncava que la curva por encima del maléolo
3	Más de un estimado de 5 o invertido (varo)	Entre vertical y un estimado de 5 o invertido (varo)	Vertical	Entre vertical y un estimado de 5 o evertido (valgus)	Más de un estimado de 5 o evertido (valgus)
4	Área de TNJ marcadamente cóncava	Área de TNJ ligeramente, pero definitivamente cóncava	Área del piso TNJ	Área de TNJ ligeramente abultada	Área de TNJ abultada notablemente
5	Arco alto y en ángulo agudo hacia el extremo	Arco moderadamente alto y ligeramente	Altura del arco normal y curvado concéntricamente	Arco descendido con algo de aplanamiento	Arco muy bajo con aplanamiento severo en la

	posterior del arco medial	agudo posteriormente		en posición central	parte central - arco en contacto con el suelo
6	No se ven los dedos laterales. Dedos mediales claramente visibles	Dedos mediales claramente más visibles que los laterales	Dedos mediales y laterales igualmente visibles	Dedos laterales claramente más visibles que mediales	No se ven los dedos medios. Dedos laterales claramente visibles.

PUNTUACIÓN FOOT POSTURE INDEX

Pronación	Valor positivo
Supinación	Valor negativo
Neutral	Cero

ANEXO 2



Escuela
Nacional de
Estudios
Superiores
Unidad León

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Por medio de la presente se prevé informar a los participantes de esta investigación.

El proyecto es realizado por la alumna Mónica Anahí Gutiérrez Godínez pasante de la licenciatura en Fisioterapia en la ENES, León en conjunto con estudiantes de la carrera de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Guanajuato.

Se realizará un análisis biomecánico para medir las diferencias en la técnica de carrera al utilizar dos tipos de calzado deportivo (proporcionados por la fisioterapeuta). El deportista debe de cumplir con las siguientes características:

- Edad entre 18 – 40 años.
- Utilicen calzado del número 25, 26 o 27.
- Leven como mínimo 3 meses corriendo, con una frecuencia mínima de 4 veces por semana.
- No cursen con lesiones en el momento de la valoración.

La participación en el estudio es voluntaria. La información recopilada será confidencial y utilizada para fines exclusivos de esta investigación.

He leído el consentimiento informado y se me ha brindado la posibilidad de realizar preguntas acerca del proyecto. Acepto participar de forma voluntaria y comprendo que puedo abandonar el estudio si así lo deseo.

Autorizo que se tomen fotografías y videos de mi persona para utilizarlos con fines educativos.

Nombre y firma participante

PLF. Mónica Anahí Gutiérrez Godínez

ANEXO 3

MINIMALIST INDEX

A) **Weight:** According to the scale, what is the weight of the shoe?

Weight = grams

- 5 = less than 125g
- 4 = from 125g to less than 175g
- 3 = from 175g to less than 225g
- 2 = from 225g to less than 275g
- 1 = from 275g to less than 325g
- 0 = 325g and more

Weight subscore =

B) **Stack height:** According to the caliper, what is the height of the shoe as measured in the middle of the heel?

Stack height = mm

- 5 = less than 8 mm
- 4 = from 8 mm to less than 14 mm
- 3 = from 14 mm to less than 20 mm
- 2 = from 20 mm to less than 26 mm
- 1 = from 26 mm to less than 32 mm
- 0 = 32 mm and more

Stack height subscore =

C) **Heel to toe drop:** According to the caliper, what is the height of the shoe under the metatarsal heads? Then, subtract this value from the stack height to obtain the heel to toe drop.

Stack height mm
- Height at forefoot mm
= Heel to toe drop mm

- 5 = less than 1 mm
- 4 = from 1mm to less than 4 mm
- 3 = from 4 mm to less than 7 mm
- 2 = from 7 mm to less than 10 mm
- 1 = from 10 mm to less than 13 mm
- 0 = 13 mm and more

Heel to toe drop subscore =

D) **Stability and motion control technologies:** Which of these technologies can you observe on the shoe?

Multi-density midsole
Thermoplastic medial post
Rigid heel counter
Elevated medial insole under arch
Supportive tensioned medial upper
Medial flare

- 5 = None
- 4 = 1 device
- 3 = 2 devices
- 2 = 3 devices
- 1 = 4 devices
- 0 = 5 or 6 devices

Stability and motion
control technologies
subscore =

E) **Flexibility**

Longitudinal flexibility: Using a pinch grip with thumb, index and middle fingers from both hands, apply a superiorly-directed force to the anterior and posterior parts of the shoe. How would you rate longitudinal flexibility?

- 2.5 = Minimal resistance to longitudinal bending (the shoe can be rolled on itself more than 360 degrees)
- 2.0 = Slight resistance to longitudinal bending (anterior tip of shoe sole reaches posterior tip of shoe sole in a maximal bending of 360 degrees)
- 1.5 = Moderate resistance to longitudinal bending (anterior tip of shoe sole doesn't reach posterior tip of shoe sole, but anterior and posterior parts of the shoe can form an angle of at least 90 degrees)
- 1.0 = High resistance to longitudinal bending (anterior and posterior parts of the shoe can form an angle between 45 and 90 degrees)
- 0.5 = Very high resistance to longitudinal bending (longitudinal deformation is possible, but anterior and posterior parts of the shoe form a maximum angle of 45 degrees)
- 0 = Extreme resistance to longitudinal bending (longitudinal forces don't significantly change the orientation of the anterior part of the shoe relative to the posterior part)

Torsional flexibility: Using a pinch grip with thumb, index and middle fingers from both hands, apply a medially-directed torsional force (pronation) to the anterior part of the shoe. How would you rate torsional flexibility?

- 2.5 = Minimal resistance to torsion (anterior part of the shoe is turned 360 degrees; anterior outsole faces inferiorly after a complete twist while posterior outsole faces inferiorly)
- 2.0 = Slight resistance to torsion (anterior part of the shoe is turned at least 180 degrees but less than 360 degrees; anterior outsole faces at least superiorly while posterior outsole faces inferiorly)
- 1.5 = Moderate resistance to torsion (anterior part of the shoe is turned more than 90 degrees but less than 180 degrees; anterior outsole faces at least laterally while posterior outsole faces inferiorly)
- 1.0 = High resistance to torsion (anterior part of the shoe is turned more than 45 degrees but less than 90 degrees; anterior outsole can't face laterally while posterior outsole faces inferiorly)
- 0.5 = Very high resistance to torsion (torsional deformation is possible, but anterior part of the shoe reaches less than 45 degrees)
- 0 = Extreme resistance to torsion (torsional forces don't significantly change the orientation of the anterior part of the shoe relative to the posterior part)

Flexibility subscore (sum of torsional and longitudinal) = _____

Sum of subscores = _____ x 4 = _____% (Total MI score)

ANEXO 4

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Ángulo cadera durante el contacto inicial	.967	30	.470
Ángulo cadera durante apoyo medio	.943	30	.108
Ángulo cadera durante la salida del pie	.976	30	.665
Ángulo rodilla durante el contacto inicial	.954	30	.214
Ángulo rodilla durante apoyo medio	.975	30	.669
Ángulo rodilla durante la salida del pie	.978	30	.760
Ángulo tobillo durante el contacto inicial	.929	30	.047
Ángulo tobillo durante el apoyo medio	.957	30	.260
Ángulo tobillo durante la salida del pie	.952	30	.182
Ángulo de flexión máxima de rodilla	.975	30	.669
Ángulo de zancada	.944	30	.102
Ángulo de inclinación de calcaneo	.962	30	.405

Resultados de las pruebas de normalidad Shapiro Wilk