



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Enfermería
Licenciatura en Fisioterapia

**“Análisis cinemático y morfológico del salto vertical en futbolistas
adolescentes”**

Que como parte de los requisitos para obtener el Título de
Licenciada en Fisioterapia

Presenta

Brenda Daniela Cepeda Franco

Dirigido por:

Dra. Arely Guadalupe Morales Hernández

Co-Director:

Dr. Julio César Méndez Ávila

Querétaro, Qro. a 30 de septiembre 2025

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Aquí es donde agregarás el oficio entregado por la presidenta de Titulación.

Oficio de votos aprobatorios

Santiago de Querétaro, Patrimonio de la Humanidad

30 de septiembre 2025

H. CONSEJO ACADÉMICO

De la Facultad de Enfermería de la U. A. Q.

P r e s e n t e:

Por este conducto, nos permitimos aprobar el trabajo "Análisis cinemático y morfológico del salto vertical en futbolistas adolescentes." elaborado por la (el) C. Brenda Daniela Cepeda Franco, Pasante de la licenciatura de Fisioterapia, que reúne los requisitos de un trabajo de Tesis individual como modalidad de Titulación.

Sin más por el momento, se extiende el presente dictamen para los fines que el comité considere pertinente.

Atentamente

"Educo en la Verdad y en el Honor"

Nombre y firma del director de tesis	Nombre y firma del codirector	Nombre y firma del vocal
Nombre y firma del suplente		Nombre y firma del suplente

Índice

Índice	i
Índice de Figuras	ii
Índice de Tablas	iii
Resumen	iv
Summary	v
Dedicatorias.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Abreviaturas y siglas	viii
I Introducción	1
II Antecedentes.....	3
III Fundamentación teórica	6
III.1 Biomecánica, conceptos y aspectos históricos	6
III.2 Clasificación de la biomecánica.	7
III.3 Métodos de medición.	8
III.4 Aplicación de la biomecánica al deporte.	9
III.5 Aplicación de la biomécanica al salto vertical.	10
III.6 Salto vertical.....	11
III.7 Variables implicadas en el salto vertical.....	11
III.8 Evaluación del salto vertical	12
III.9 El salto vertical y el rendimiento deportivo.	14
III.10 Morfología y su relación con el Deporte.....	15
IV Hipótesis	16
V Objetivos	17
V.1 Objetivo general.....	17
V.2 Objetivos específicos	17
VI Material y métodos.....	18
VI.1 Tipo de investigación	18

VI.2 Población o unidad de análisis	18
VI.3 Muestra y tipo de muestra	18
VI.3.1 Criterios de selección	19
VI.3.2 Variables estudiadas	20
VI.4 Técnicas e instrumentos	22
VI.5 Procedimientos	24
VI.5.1 Análisis estadístico	25
VI.5.2 Consideraciones éticas	25
VII Resultados	28
VIII Discusión.....	42
IX Conclusiones.....	44
X Propuestas	45
XI Bibliografía	47
XII Anexos	53
XII.1 Hoja de recolección de datos.....	53
XII.2 Carta de consentimiento informado	54

Índice de Figuras

Figura 1. Salto Squat Jump (SJ)	22
Figura 2. Salto Counter Movement Jump (CMJ).....	22
Figura 3. Salto Drop Jump (DJ).....	23
Figura 4. Saltos Repeat Jump (RJ)	23
Figura 5. Diagrama de caja de variables morfológicas, rango de movimiento articular (ROM) y altura de salto vertical (CMJ)	33
Figura 6. Mapa de calor de correlación entre variables morfológicas, cinemáticas y de altura de salto vertical (CMJ).....	34
Figura 7. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y ROM de Cadera ...	35
Figura 8. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y ROM de Rodilla	36

Figura 9. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y ROM de Tobillo	36
Figura 10. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y despegue de Cadera	37
Figura 11. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y despegue de Rodilla	38
Figura 12. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y despegue de Tobillo	38
Figura 13. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y fondo de Cadera.	39
Figura 14. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y fondo de Rodilla .	39
Figura 15. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y fondo de Tobillo..	40

Índice de Tablas

Tabla 1. Definición de variables.....	20
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la muestra	28
Tabla 3. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de las variables	29
Tabla 4. Correlaciones entre variables morfológicas, cinemáticas y altura de CMJ.....	30
Tabla 5. Regresiones entre Índice Tronco/Piernas y ROM de articulación de Cadera, Rodilla y Tobillo	35

Resumen

Introducción: El salto vertical es un gesto técnico clave en el fútbol formativo, ya que expresa la potencia explosiva del tren inferior. En categorías juveniles, comprender los factores que influyen en este gesto puede contribuir al desarrollo de programas de entrenamiento más eficaces. En este contexto, las variables morfológicas (longitud de tronco, piernas y estatura) podrían desempeñar un papel relevante en el desempeño biomecánico del salto. **Objetivo:** Observar la influencia de las características morfológicas en el desempeño del salto vertical en jóvenes futbolistas (12 a 14 años). **Material y métodos:** La presente investigación es de tipo cuantitativa con un alcance observacional y descriptivo y con un diseño no experimental, con un muestreo de tipo por conveniencia con un total de 16 jóvenes futbolistas. La medición de datos se realizó mediante el Test de Bosco y la observación biomecánica mediante el análisis de video de alta velocidad. **Resultados:** Se encontró una correlación significativa entre la longitud del tronco y la altura del salto CMJ ($r = 0.55$, $p = 0.028$), así como con el ROM de la cadera ($r = 0.58$, $p = 0.018$). El índice tronco/piernas mostró una tendencia positiva con el ROM de rodilla ($p = 0.068$), aunque sin alcanzar significancia estadística. No se hallaron otras correlaciones significativas entre las variables analizadas. **Conclusiones:** La longitud del tronco parece tener un papel relevante en el rendimiento del salto vertical y en la movilidad articular de la cadera en jóvenes futbolistas. Estos hallazgos sugieren que ciertas proporciones corporales podrían favorecer el desempeño en gestos explosivos, lo cual podría tener implicancias en procesos de evaluación y entrenamiento individualizado.

Palabras clave: Futbolistas, adolescentes, salto vertical, biomecánica, morfología.

Summary

Introduction: Vertical jumping is a key technical gesture in youth football, as it reflects the explosive power of the lower limbs. In youth categories, understanding the factors influencing this movement can contribute to the development of more effective training programs. In this context, morphological variables (trunk length, leg length, and height) may play a relevant role in the biomechanical performance of the jump. **Objective:** Observe the influence of morphological characteristics on the performance of the vertical jump in young soccer players (12 to 14 years). **Materials and methods:** This research is quantitative with an observational and descriptive scope and with a non-experimental design, with a convenience sampling with a total of 16 young soccer players. The data measurements were made using the Bosco test and the biomechanical observation using high speed video-analysis. **Results:** A significant correlation was found between trunk length and vertical jump height ($r = 0.55$, $p = 0.028$), as well as with hip ROM ($r = 0.58$, $p = 0.018$). The trunk/leg index showed a positive trend with knee ROM ($p = 0.068$), although without reaching statistical significance. No other significant correlations were found among the analyzed variables. **Conclusions:** Trunk length appears to play a relevant role in vertical jump performance and hip joint mobility in young football players. These findings suggest that certain body proportions may favor performance in explosive movements, which could have implications for individualized assessment and training processes.

Key words: Football players, adolescents, vertical jump, biomechanics, morphology.

Dedicatorias

Emocionada y feliz de concluir este proyecto y también esta etapa de mi vida, dedico este trabajo a mi familia que es mi pilar más importante y el motivo por el que busco seguir adelante.

A mi papá Jesús, que nunca ha dejado de darme el apoyo y el amor incondicional que he necesitado desde el primer momento.

A mi mamá Martha, que es la razón de seguir confiando en mi misma y siempre me ha incentivado a seguir con mis proyectos y a atreverme a hacer cosas nuevas.

A mis hermanas Sofía y Carolina que son una gran compañía en mi vida y son mi mayor motivación a ser una mejor persona y un gran ejemplo a seguir.

Agradecimientos

A mis papás por todo el esfuerzo y empeño que pusieron para hacer esto posible.

A Alan que siempre está dispuesto a ayudarme y gran parte de este trabajo fue gracias a su asesoría y amor.

Al profesor Julio por la confianza y por compartir su tiempo y sus conocimientos para realizar este proyecto de la mejor manera.

A la maestra Sandra que desde el día que la conocí ha sido una gran profesora y guía, con la mejor disposición de ayudar a todos sus alumnos.

A la profesora Arely que me dejó grandes enseñanzas durante este proceso y siempre tuvo una sonrisa para todos sus alumnos.

A la maestra Verónica que me brindó todo su apoyo y siempre estuvo en la mejor disposición de ayudar.

A las amistades que me acompañaron e hicieron de esta etapa algo maravilloso, cada momento compartido lo llevo en el corazón.

Abreviaturas y siglas

CMJ: Counter Movement Jump (Salto con contramovimiento).

DJ: Drop Jump (Salto con caída).

EIAS: Espina iliaca anterosuperior.

IFAC: Instituto de Futbol de Alta Competencia.

ITP: Índice Tronco-Piernas.

PMOS: Pubertal Maduration Observational Scale (Escala Observacional de Maduración Puberal).

RJ: Repeated Jump (Saltos repetidos).

ROM: Range of Movement (Rango de movimiento).

SJ: Squat Jump (Salto con sentadilla).

I Introducción

El salto vertical constituye una habilidad fundamental en diversas disciplinas deportivas, como el fútbol, básquetbol y voleibol, en las cuales puede emplearse con fines defensivos u ofensivos para ejecutar acciones específicas que demandan la situación del juego, generalmente con el objetivo de alcanzar la máxima altura posible (Psycharakis, 2012). La realización de esta tarea implica una compleja coordinación del sistema nervioso, involucrando la interacción muscular y el control del momento articular para satisfacer las demandas mecánicas del movimiento (Rodacki et al., 2002).

El fútbol es un deporte que exige tanto capacidades aeróbicas como anaeróbicas (Ornelas et al., 2020); sin embargo, actividades de alta intensidad como los sprints y saltos son decisivas para obtener ventaja competitiva (Stolen et al., 2005). En este contexto, la evaluación y análisis del salto vertical se vuelve esencial para optimizar el rendimiento deportivo y prevenir lesiones, al permitir una mejor dosificación de las cargas de entrenamiento y una comprensión más precisa de los factores biomecánicos involucrados (Claudino et al., 2017; Pérez-López et al., 2015).

Desde una perspectiva biomecánica, el estudio del salto vertical se centra en la cinemática, que analiza el movimiento del cuerpo sin considerar las fuerzas que lo generan (Özkaya et al., 2017). Esta disciplina contribuye significativamente a la mejora técnica y la prevención de lesiones, al identificar patrones de movimiento efectivos y posibles desviaciones perjudiciales (Zatsiorski, 1988; Cossio-Bolaños y De Arruda, 2009). Asimismo, la biomecánica proporciona herramientas para profesionales del deporte, incluyendo fisioterapeutas y entrenadores, al facilitar la evaluación precisa del rendimiento atlético.

Diversos estudios han explorado la relación entre el desempeño del salto vertical y características antropométricas de los deportistas (Pérez-López, et al., 2015; Chena et al., 2015). Sin embargo, la literatura muestra un vacío respecto a investigaciones que integren un análisis cinemático detallado junto con mediciones morfológicas en futbolistas jóvenes. Estudios previos en otros deportes y poblaciones han evidenciado que variables como el rango de dorsiflexión del tobillo (Szmuchrowski, 2013), la oscilación de los brazos durante el salto

(Gonzales, 2008), y la velocidad angular de las articulaciones de cadera y rodilla (Shinchi, 2024) influyen en el rendimiento del salto vertical.

Investigaciones recientes en futbolistas profesionales han analizado aspectos biomecánicos relacionados con la fuerza y potencia muscular en el salto, pero pocos estudios se han enfocado en adolescentes y en la posible influencia de características morfológicas específicas, como la longitud de miembros o la flexibilidad articular (Hawley, 2022; Babu, 2024). Este trabajo pretende cubrir esta laguna, al analizar la relación entre variables morfológicas y el desempeño cinemático del salto vertical en futbolistas jóvenes.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de contar con información precisa y contextualizada que permita optimizar los programas de entrenamiento y prevención de lesiones en futbolistas en formación, así como contribuir al conocimiento científico en el ámbito de la biomecánica deportiva aplicada a la fisioterapia.

El objetivo general de este estudio es analizar la influencia de características morfológicas en la cinemática del salto vertical en futbolistas masculinos adolescentes, mediante la medición de ángulos articulares y variables antropométricas relevantes.

II Antecedentes

El estudio del salto vertical ha sido abordado ampliamente en el campo de la biomecánica debido a su relevancia como indicador del rendimiento en múltiples disciplinas deportivas. Su ejecución implica un complejo patrón de coordinación motora y la activación sinérgica de diversos grupos musculares, donde confluyen aspectos morfológicos, articulares y neuromusculares. Desde un enfoque cinemático y dinámico, se ha comprobado que variables como el ángulo articular, la velocidad de extensión y el momento de fuerza generado en cadera, rodilla y tobillo, tienen una influencia directa sobre la altura alcanzada (Aragón-Vargas & Gross, 1997; McErlain-Naylor, King & Pain, 2014). Asimismo, estudios recientes han mostrado que el rendimiento en el salto vertical también puede ser condicionado por factores antropométricos como la longitud de segmentos corporales (tronco, muslo, pierna), la distribución del peso corporal y las proporciones del cuerpo (Policastro, et al., 2020; Čaušević et al., 2023).

En ese sentido, el índice tronco-piernas (TP) —relación entre la longitud del tronco respecto a las extremidades inferiores— se ha posicionado como un posible modulador del rendimiento en actividades motrices como correr, saltar o cambiar de dirección. Aunque no es una variable tradicionalmente usada en evaluaciones deportivas, investigaciones recientes han comenzado a explorar su relación con el rendimiento físico, encontrando que proporciones corporales específicas pueden influir en el patrón técnico y biomecánico de movimientos explosivos (Sun, et al., 2025). Este hallazgo resulta relevante especialmente en poblaciones adolescentes, donde las diferencias morfológicas individuales, así como los distintos estadios de maduración biológica, representan factores determinantes tanto en la selección deportiva como en la planificación del entrenamiento (Čaušević, et al., 2023).

Paralelamente, la movilidad articular (ROM) de tobillo, rodilla y cadera se ha identificado como un factor clave tanto para la optimización del salto como para la prevención de lesiones. Por ejemplo, en deportistas jóvenes, se ha observado que un mayor ROM pasivo y activo del tobillo está asociado a mejores resultados en pruebas de salto como el Squat Jump (SJ) o el Counter Movement Jump (CMJ), especialmente cuando la rodilla se encuentra más extendida (Panoutsakopoulos, V., Bassa, E. 2023). Otros estudios de Panoutsakopoulos et al. (2021) señalan que el ROM del tobillo varía significativamente según el ángulo de flexión de la

rodilla, afectando así la mecánica del salto y el momento de aplicación de fuerza. Además, la correcta movilidad de la articulación del tobillo favorece una mayor transferencia de energía durante la fase de despegue y disminuye el riesgo de compensaciones que puedan derivar en lesiones.

En lo que respecta a la estructura muscular, se ha comprobado que no solo la fuerza de miembros inferiores influye en el salto, sino también la participación del tronco. Investigaciones con atletas de disciplinas como el salto de longitud han encontrado asociaciones significativas entre el área de sección transversal de músculos del tronco (como los extensores lumbares y abdominales) y el desempeño en pruebas de salto (Takahashi, K., Wakahara, T., 2022). Esto sugiere que una morfología adecuada del tronco, combinada con una activación eficiente de la musculatura estabilizadora, puede mejorar la transmisión de fuerzas desde el centro del cuerpo hacia las extremidades, optimizando el gesto motor del salto.

Finalmente, desde el punto de vista del desarrollo de herramientas de evaluación, la integración de tecnologías accesibles como el software Kinovea ha permitido validar mediciones fiables y económicas de las variables cinemáticas del salto vertical (Pueo, et al., 2020; Caseiro-Filho, et al., 2023). Esta evolución en los métodos ha facilitado la aplicación de estudios biomecánicos en contextos deportivos reales, brindando información valiosa para entrenadores y profesionales del deporte sobre aspectos técnicos y estructurales que pueden incidir en el rendimiento y la prevención de lesiones.

El grupo de edad seleccionado corresponde a la etapa de la adolescencia, un periodo crítico de desarrollo. De acuerdo con un estudio realizado por Quatman (2006) se demostró que a partir del periodo de la pubertad en los niños la altura de salto aumentó significativamente debido a una maduración neuromuscular.

En conjunto, los antecedentes revisados destacan la importancia de analizar de manera integrada tanto los factores morfológicos como los parámetros de movilidad articular en relación con el desempeño en el salto vertical, especialmente en poblaciones adolescentes donde el proceso de desarrollo biológico puede generar una amplia variabilidad interindividual. El presente estudio, al explorar la relación entre el índice TP, el ROM de rodilla y tobillo, y el

desempeño en salto vertical, busca aportar evidencia que contribuya a una evaluación más precisa de las capacidades físicas y biomecánicas de los jóvenes deportistas.

III Fundamentación teórica

III.1 Biomecánica, conceptos y aspectos históricos

La biomecánica es una ciencia que se dedica al estudio y análisis de los patrones del movimiento humano (Bartlett, 2007). Estas observaciones se pueden realizar con la ayuda de leyes y patrones mecánicos específicos en conjunto con conocimientos anatómicos y fisiológicos concretos del sistema biológico humano.

Se podría decir que la biomecánica es una disciplina que tiene un objeto de estudio bien definido, sin embargo, también es importante considerar que para que se puedan llevar a cabo las investigaciones relacionadas con esta área, es necesario que se desarrollen métodos y herramientas propias que faciliten la producción de datos y nuevos descubrimientos.

Debido a lo anterior, la biomecánica tiene gran relevancia en las ciencias naturales, ya que es fácilmente relacionada con otras áreas del conocimiento y mediante la conjunción de estas podemos analizar todos los procesos relacionados con el movimiento y las causas que lo originan (Amadio et al., 1999).

Debido a la antigüedad con la que han surgido conocimientos sobre el cuerpo humano, podemos decir que este siempre ha sido un tema de gran interés para los científicos, y durante la historia ha sido un objeto de estudio en el que se ha ido profundizando cada vez más, todo esto con el fin de entender cada aspecto de su funcionamiento.

El surgimiento de la biomecánica se remonta a los años 384-322 A.C, época en la que Aristóteles en sus tratados de astronomía, describía el movimiento de los astros. Posteriormente en los años 1473-1543 observamos que Copérnico propone el Heliocentrismo y más tarde, en 1546-1602 Brahe realizó estudios a planetas mediante la observación cuántica y Kepler continuó sus estudios hasta concretar las tres leyes de Kepler, las cuales fueron un precedente para que Newton de 1642-1727 estableciera el cálculo infinitesimal, la gravitación universal y sobre todo los Principios de la Mecánica (Cossio-Bolaños, M., Arruda, M., 2009).

Estos descubrimientos ayudaron a que la biomecánica estableciera sus bases y que en el siglo XIX y XX se iniciara a realizar investigaciones más específicas del área, comenzando con la utilización de una cámara fotográfica para registrar cuerpos en movimiento

(Brenzikofer, 1997) y a mediados de 1800, Braune y Fisher en 1987 indicaron que se realizaron estudios tridimensionales de reconstrucción de la marcha. Entre los años de 1896 a 1966, Bernstein (1967) estudió el movimiento del cuerpo humano utilizando diferentes técnicas basadas en registros fotográficos. Con el surgimiento de todas estas investigaciones se cimentó el estudio de la biomecánica y se da pie a continuar desarrollando nuevos métodos para la producción de nuevos conocimientos.

Al comprender el objeto de estudio de esta disciplina, se comenzó a relacionar con otras ramas y los científicos del deporte se dieron cuenta de las aplicaciones con su campo, por lo que nace la biomecánica deportiva, la cual es definida por el Instituto de Biomecánica de Valencia en 1992 como el conjunto de conocimientos generados gracias al trabajo de otras ciencias biomédicas, en conjunto con conocimientos de mecánica, para estudiar el comportamiento en particular del sistema del cuerpo humano y resolver los problemas que le provocan las distintas condiciones a las que puede verse sometido (Cossio-Bolaños, M., Arruda, M., 2009).

III.2 Clasificación de la biomecánica.

La clasificación más utilizada en la literatura es la realizada por García-Fojeda, Biosca y Valios (1997), quienes la clasifican como biomecánica interna y biomecánica externa, y mencionan que ambas tienen su participación directa sobre los gestos deportivos, así como sus resultados.

La biomecánica interna engloba todos los factores fisiológicos y bioquímicos que se modifican en los tejidos de acuerdo a las necesidades o en consecuencia a las demandas mecánicas a las que son sometidos (García-Fojeda, et al., 1997) ejemplos de esto son las concentraciones de lactato en sangre, de amonio o la frecuencia cardiaca (Cossio-Bolaños, M., Arruda, M., 2009). Por su parte, la biomecánica externa observa únicamente el movimiento de los segmentos corporales y sus cambios de posición en el espacio y a lo largo del tiempo (García-Fojeda, et al., 1997).

Otros autores incluyen dentro de la biomecánica externa una sub-división que es la cinemática y la dinámica. La cinemática pone especial atención en el movimiento de los

cuerpos, describiendo detalladamente su desplazamiento en el espacio a través de ángulos y coordenadas, todo esto sin tomar en cuenta las causas que lo originan. Por otro lado, la dinámica estudia los movimientos que se producen y la relación con las fuerzas que lo provocan, o en su defecto también la falta de movimiento; dentro de la dinámica podemos encontrar la cinética, que estudia las fuerzas que causan movimiento, y la estática, que estudia las fuerzas que permiten que un cuerpo se mantenga en equilibrio (Aguado-Jodar, Izquierdo-Redin, 1995).

III.3 Métodos de medición.

Como ya se mencionó anteriormente, podemos destacar que es importante que la biomecánica cuente con sus métodos de medición ya que nos ayudan a evaluar nuestros deportistas y ayudar a su desempeño, así como a contribuir a tener mejores análisis del movimiento.

Los métodos de medición también se clasifican de manera similar a la clasificación de la biomecánica; se encuentran los métodos de medición indirecta, que se realizan a través de aparatos como un soporte magnético o fotográfico (Aguado-Jodar, Izquierdo-Redin, 1995). Esta técnica arroja datos que son casi en su totalidad referidos a la cinemática. Es un método muy utilizado durante las competencias por su practicidad, sin embargo, muchas veces es difícil que brinden una buena fiabilidad. Generalmente se realizan por medio de fotogrametría. En los últimos años se han realizado estudios que respaldan la utilización de Kinovea como una herramienta válida, fiable y accesible, así como una alternativa práctica y de bajo costo para la realización de estudios cinemáticos, por ejemplo Caseiro-Filho, et al (2023) que concluyen que la medición del salto se puede realizar mediante el software Kinovea y un smartphone al compararlo con una plataforma de fuerza. Así mismo, un estudio realizado por Pueo, et al. (2020) mostró una alta correlación al compararlo con un sistema de captura de movimiento de laboratorio.

Por otro lado, se encuentran los métodos directos, los cuales tienen un alto grado de fiabilidad, pero por esta misma razón, se consideran sofisticados y costosos. Otra desventaja que pueden tener es que en muchas ocasiones los sujetos estudiados deben contar con los instrumentos sobre ellos y esto puede causar que distorsionen el movimiento a estudiar y en

términos de practicidad no son muy útiles ya que muchos de estos análisis son realizados en laboratorios y no se pueden utilizar en competencias. Las mediciones llevadas a cabo de manera más usual son la Electromiografía, las plataformas de fuerza y las células fotosensibles (Amadio, et al. 1999).

III.4 Aplicación de la biomecánica al deporte.

El deporte es un fenómeno social muy importante del siglo XX, conseguir buenos resultados es más complicado conforme pasa el tiempo ya que las marcas olímpicas se van superando y muchos deportes están cerca de llegar a los límites permitidos por el cuerpo humano (García-Fojeda, et al., 1997). De acuerdo con lo anterior, los resultados de los deportistas, están muy condicionados a la mejora del estado del cuerpo humano, y esto se llevará a cabo a través de los estímulos que trabajan los profesionales en el entrenamiento, los cuales van aumentando en intensidad conforme el jugador se va adaptando a la carga. En algunas ocasiones esto puede causar un gran estrés en los tejidos de los jugadores, provocando distintas lesiones.

Debido a que la competencia entre atletas cada vez se vuelve más complicada, es tarea de los profesionales del deporte crear métodos y alternativas para mejorar el rendimiento deportivo, es aquí donde la biomecánica toma un papel fundamental en la ciencia, ya que además de ser una herramienta que nos ayuda a medir el comportamiento y los cambios del cuerpo humano como respuesta a las cargas de entrenamiento, también es muy útil para observar la técnica deportiva y hacer las correcciones o adaptaciones pertinentes, que pueden ser una clave en el entendimiento de que es lo que hace que los atletas profesionales destaquen sobre otros.

Otro punto importante para tomar en cuenta y que puede ser solucionado con el método que nos brinda esta ciencia, es la prevención de lesiones, lo cual es esencial para proteger la salud de los deportistas y evitar costos adicionales en su tratamiento y rehabilitación. Estudios han demostrado que la gravedad de la lesión y el tipo de atención recibida son determinantes clave en los costos asociados a la atención y rehabilitación de personas lesionadas (Lugo-Agudelo et al., 2017). De acuerdo con el estudio realizado por Mancini, et al (2022) se observó menor ángulo de flexión de rodilla y de cadera al realizar

aterrizajes en un salto para cabecear comparado con un salto vertical estándar, esto nos funciona como un predictor de riesgo de lesiones de ligamento cruzado anterior, así como la revisión realizada por Larwa, et al (2021) que muestra otros factores que aumentan el riesgo como poca estabilidad de core, debilidad en la musculatura abductora de cadera, aumento del valgo de rodilla y aterrizar con el talón.

Dado que la biomecánica nos puede aportar datos precisos sobre los diferentes mecanismos de lesión, sus aportaciones son indispensables para entender las causas y predecir las mejoras que se pueden hacer en el individuo, en su entorno o con los elementos que se apoya para realizar sus actividades deportivas (Aguado, X., 1993).

III.5 Aplicación de la biomecánica al salto vertical.

Las maniobras de salto y aterrizaje son tareas fundamentales en actividades de alto riesgo en los deportes de equipo, por lo tanto, es importante analizar los movimientos inadecuados que se llevan a cabo en el tren inferior con el fin de reducir posibles lesiones en dichas áreas (Sahabuddin, et al., 2021).

Es importante recalcar que, distintas estrategias motoras de salto y aterrizaje, determinarán la implicación de distintas estructuras anatómicas en mayor o menor medida, por ejemplo, aquellos atletas que presentan mayor angulación en la cadera y la rodilla en el momento del aterrizaje, presentan más actividad en glúteos e isquiotibiales (Cleather, et al., 2019), a mayores altura de aterrizaje, existe un aumento significativo en la fuerza de reacción sobre el piso (Peng, et al., 2019) lo cual nos presenta la necesidad de analizar las estrategias motrices de salto y aterrizaje con el fin de prevenir que dichas fuerzas puedan generar lesiones en los atletas que se ven expuestos con frecuencia a estímulos balísticos como el salto vertical.

Además de evaluar la cinemática del movimiento con fines preventivos, también es de vital importancia reconocer qué parámetros cinéticos y cinemáticos deben ser modificados con la finalidad de mejorar el rendimiento en el salto vertical (Policastro, et al., 2020).

III.6 Salto vertical

El salto vertical es una acción que se realiza principalmente con el objetivo de llegar lo más alto posible, sin embargo, puede tener otros objetivos específicos tanto defensivos como ofensivos, un ejemplo de esto es golpear un objeto como un cabeceo en fútbol, o impedir el paso de este como un bloqueo en voleibol. El salto vertical es una acción motriz de vital importancia en distintos deportes (Sarvestan, et al., 2018) Ya que es un recurso muy importante en varios deportes, el salto vertical generalmente es relacionado con el desempeño del jugador (Psycharakis, 2012).

La ejecución de este movimiento es posible cuando se realizan acciones coordinadas de los componentes corporales que participan, los cuales están determinados principalmente por las interacciones entre los músculos implicados que se modulan por el sistema nervioso central, y los momentos netos generados en las articulaciones que se definen dependiendo de las demandas mecánicas (Rodacki, et al., 2002).

III.7 Variables implicadas en el salto vertical

De acuerdo con el modelo propuesto por Aragón-Vargas y Gross, existen diferentes variables que pueden influir en el desempeño del salto vertical y estas se pueden clasificar en diferentes niveles de análisis (1997).

En el primer nivel las variables son: la posición vertical del despegue y la velocidad vertical del despegue. En el segundo nivel se encuentran los ángulos articulares en el despegue y la cinemática y la dinámica del cuerpo entero, estas contribuyen directamente en las primeras dos variables respectivamente. El tercer nivel se incluye la cinemática segmental y la dinámica segmental, estas variables en conjunto pueden generar cambios en la posición del centro de masa y diferentes velocidades en el despegue. Por último, hay un cuarto nivel adicional en el cual las variables son las características musculoesqueléticas y las características antropométricas que tienen relevancia ya que la cinemática y la dinámica son el resultado de como el sistema nervioso utiliza estas características para mejorar el desempeño en el salto (Aragón-Vargas & Gross, 1997). Actualmente, estas últimas variables han sido de interés para los científicos ya que se han encontrado diversos estudios que buscan

establecer una relación con el desempeño del salto vertical y dichas características, o relacionarlas con alguna de las otras variables descritas por estos autores. En este estudio, esto toma mucha importancia ya que de igual manera se buscará correlacionar algunas características morfológicas con el salto.

El modelo propuesto por Hill (1938) propone que la contracción muscular se compone de 3 elementos, un elemento contráctil en serie con un elemento elástico, ambos en paralelo con otro elemento elástico. El elemento contráctil es el responsable de los cambios de longitud en el musculo y de la generación de la fuerza (Martins, 2006).

III.8 Evaluación del salto vertical

La evaluación en el deporte se ha convertido en una herramienta necesaria para entrenadores y preparadores físicos ya que nos arroja datos indicativos de mejoras en el rendimiento de los atletas. El salto vertical, se ha convertido en un parámetro de evaluación importante ya que es utilizado en muchos deportes y diversos estudios lo han relacionado como un predictor del desempeño del jugador, así como también se ha relacionado con otras acciones como los sprints a máxima velocidad (Kale, M., et al. 2009).

Para evaluar el salto vertical, existen diversos test que pueden ser realizados de manera práctica en el campo:

Test de Bosco: consiste en una batería de varios saltos diferentes que tienen el objetivo de evaluar las características morfohistológicas, funcionales y neuromusculares de la musculatura extensora (Bosco, C., et al. 1983). Los saltos a realizar en el Test de Bosco son los siguientes:

- Squat Jump (SJ).
- Counter Movement Jump (CMJ)
- Drop Jump (DJ)
- Repeated Jump (RJ).

Test de Sargent: se realiza colocando en la pared una tabla de 2 metros de largo graduada en centímetros con una distancia de 15 centímetros y de manera vertical a partir de los 1.5 metros sobre el suelo. Para realizar la prueba el sujeto se tiene que colocar de forma lateral a 30 centímetros de la plataforma y hacer una marca con un gis levantando el brazo e intentando llegar a la máxima altura sin que los talones se despeguen del suelo, después se realiza un salto flexionando ligeramente las rodillas y con el brazo extendido para hacer una segunda marca, el resultado se obtendrá por la fórmula:

$$h = hb - ha$$

Donde h es la altura de salto, hb es la altura máxima del salto y ha es la altura inicial.

Test de Abalakov: la obtención del resultado de este test se logra mediante el cálculo de la elevación del centro de gravedad durante el salto. Para hacerlo, se coloca al sujeto una correa métrica en la cintura que está ligada a un marcador, el movimiento que debe hacer es un salto vertical máximo partiendo de una extensión de rodillas, posteriormente realiza una flexión y extensión rápida con los brazos libres. El resultado se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$h = hc - ha$$

Donde h es la altura de salto, hc es la altura máxima del salto y ha es la posición inicial del salto.

Test de Dal Monte: al igual que el pasado, en este test también se mide la elevación del centro de gravedad. En este se coloca al sujeto un cinturón fijado a la cintura y para comenzar con el test el sujeto se posiciona de pie frente a una columna que emite una luz infrarroja hacia el cinturón, también se realiza con las manos libres y los resultados también se obtienen con una fórmula:

$$h = hb - ha$$

Donde h es la altura de salto, hb es el punto más alto que el infrarrojo detectó al momento del salto y ha es la posición inicial del sujeto (Villa, J., García-López, J., 2003).

Los últimos tres test han demostrado tener ciertos inconvenientes (Markovic et al., 2004) y gracias al avance de las tecnologías actualmente se cuenta con evaluaciones que arrojan resultados más confiables y exactos por lo que es recomendable utilizar los nuevos métodos de medición (Balsalobre-Fernández & Varela-Olalla, 2024).

III.9 El salto vertical y el rendimiento deportivo.

El rendimiento deportivo en una gran cantidad de acciones deportivas depende de la potencia, la cual refiere a la cantidad de fuerza aplicada en una fracción de tiempo, por lo que se pueden observar mejoras a medida que se reduce el tiempo en el que se aplica la fuerza, o se aplica más fuerza en menos tiempo (González-Badillo, J., 2000).

Debido a esto, los profesionales del deporte requieren de evaluaciones que les permitan medir el rendimiento deportivo en las diferentes etapas competitivas y para evaluar a lo largo del tiempo si sus intervenciones y métodos están siendo efectivos. Uno de los métodos que ha tomado gran relevancia para los entrenadores es la evaluación del salto vertical. A partir de la batería de Test de Bosco, se ha tomado la altura de salto como un predictor de potencia muscular y los saltos como el Counter Movement Jump (CMJ) y el Squat Jump (SJ) ya son métodos estandarizados para medir el rendimiento deportivo (Bosco, C., et al. 1983). Por ello el rendimiento del salto vertical y más concretamente, la altura de algunos saltos se ha incluido como parte importante para analizar la condición física de los atletas.

Uno de los estudios, el cual se asemeja más a la investigación realizada, utiliza diversas variables antropométricas, tomando en cuenta 4 segmentos para medir grados de angulación durante el salto, estos fueron el tronco (que incluía cabeza y miembros superiores), el muslo (desde la cadera hasta la rodilla), la antepierna (de rodilla a tobillo), y el pie, también se tomó en cuenta la posición de inicio del salto, solicitando a los participantes diferentes inicios con diferentes ángulos de flexión de miembros inferiores, así como el cronometraje de realización de salto para el análisis del movimiento desde el momento de la extensión articular hasta la verticalización de cada una de las articulaciones en función al tiempo y alcance de mayor velocidad del salto.

III.10 Morfología y su relación con el Deporte

La morfología se encarga de estudiar la estructura y la forma en la que están organizados los sistemas orgánicos y se apoya de otras ramas de la ciencia como la anatomía, embriología o histología, para conocer las diferentes estructuras (Rosell, 2001). De acuerdo con lo anterior, podemos decir que la morfología es una rama importante de la ciencia, que al relacionarse con otras áreas, produce conocimientos fundamentales para entender la estructura y el funcionamiento de los organismos vivos, cuando un sistema no cuenta con dichas características podemos ubicar de manera más fácil alteraciones y detectar un proceso de enfermedad, así como promover y potenciar la salud de los seres vivos.

Se tiene registro de diversas investigaciones que buscan diferenciar morfológicamente a los jugadores, recientemente un estudio realizado por Sun, et al (2025) en China, con una muestra de 238 jugadores de futbol menores de 17 años buscó características morfológicas y físicas en los jugadores clasificándolos por posición de juego y edad, encontrando diferencias significativas entre un grupos, esto con el objetivo de ayudar a entrenadores a reclutar a los diferentes jugadores de acuerdo a su edad y sus características y optimizar los programas de entrenamiento de futbol. Otro ejemplo es la investigación realizada por Čaušević, et al. (2023) que analiza la influencia de la maduración biológica en las características morfológicas de futbolistas de la misma edad, los cuales fueron divididos en grupos de maduración temprana, a tiempo o maduración tardía. Este estudio destaca que más allá de la edad, el desarrollo biológico también es otro factor a tomar en cuenta para determinar con que ventajas cuentan los jugadores y llevar a cabo un proceso de selección individualizado, tomando en cuenta la posición en el campo y la realización de entrenamientos personalizados.

Derivado de las investigaciones que se han realizado a lo largo del tiempo en relación al deporte y la morfología, se encontró la necesidad de estandarizar los métodos de investigación y las estrategias para realizar futuras mediciones utilizando el apoyo de las nuevas tecnologías que van surgiendo (Rodríguez, F. 2016).

IV Hipótesis

H1. Las características morfológicas de los sujetos tienen influencia directa sobre las estrategias biomecánicas durante el salto vertical.

Ha. Los sujetos con miembros inferiores más largos tendrán mayor trabajo relativo en la articulación de la cadera.

Ha. Los sujetos con miembros inferiores más cortos tendrán mayor trabajo relativo en la articulación de la rodilla.

Ha. Los sujetos con dominancia de cadera tendrán mejor rendimiento en las pruebas de los elementos elásticos del salto vertical.

Ha. Los sujetos con dominancia de rodilla tendrán mejor rendimiento en las pruebas de los elementos contráctiles del salto vertical.

H0. Las características morfológicas de los sujetos no tienen influencia directa sobre las estrategias biomecánicas durante el salto vertical.

V Objetivos

V.1 Objetivo general

Observar la influencia de las características morfológicas en el desempeño del salto vertical en jóvenes futbolistas.

V.2 Objetivos específicos

Medir la longitud de tronco y longitud de miembros inferiores con cinta métrica a los sujetos de estudio.

Obtener los ángulos de flexión articular de cadera, rodilla y tobillo al momento del salto de cada uno de los participantes.

Medir la altura del salto vertical utilizando la plataforma de contacto.

Analizar el salto vertical mediante la medición de los ángulos articulares de los miembros inferiores con la aplicación Kinovea.

Analizar la morfología mediante la medición de las características corporales de los participantes.

Establecer un perfil morfológico para el rendimiento del salto vertical.

VI Material y métodos

VI.1 Tipo de investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo y correlacional, el diseño de investigación es de tipo transversal, se realizó en un solo momento, las mediciones se llevaron a cabo durante un par de semanas, primeramente, las mediciones morfológicas, posteriormente el salto con la plataforma de contacto y a su vez realizar el análisis cinemático con el software Kinovea, con los 27 jugadores que conforman la categoría 2007, 2008 y 2009 del IFAC.

VI.2 Población o unidad de análisis

La población está conformada por 27 futbolistas residentes en la ciudad de Querétaro pertenecientes al Instituto de Futbol de Alta Competencia en edades comprendidas de 12 a 14 años.

Los sujetos fueron clasificados de acuerdo a la escala Pubertal Maturation Observational Scale (PMOS) y la edad de inicio promedio en mujeres fue de 12.6 y en hombres de 13.8 años.

VI.3 Muestra y tipo de muestra

Puesto que la presente investigación tiene el objetivo de recopilar datos de una población en específico, se realizó un muestreo de tipo no probabilístico por conveniencia y se obtuvieron un total de 27 futbolistas pertenecientes a las categorías 2007, 2008 y 2009 del Instituto de Futbol de Alta Competencia de Querétaro, de los cuales 11 fueron eliminados de acuerdo a los criterios de selección, lo cual resulto en 16 participantes.

VI.3.1 Criterios de selección

Inclusión:

- Edad entre 12-14 años.
- Practica de futbol al menos por 3 años.
- Asistir al esquema de horario completo de entrenamientos del Instituto de Futbol de Alta Competencia (IFAC).

Exclusión:

- Contar con alguna lesión de miembro inferior al momento de iniciar la recolección de datos.
- Antecedente de lesión en los 6 meses anteriores a la toma de datos.
- No contar con consentimiento informado firmado por el padre o tutor o asentimiento verbal por parte del jugador.

Eliminación:

- Adquirir alguna lesión durante el periodo de realización de las pruebas.
- No asistir cuando se lleven a cabo las pruebas para la medición de variables.

VI.3.2 Variables estudiadas

Tabla 1. *Definicion de variables*

Nombre	Definición Conceptual	Definición operacional	Indicador
Edad	Tiempo que ha vivido una persona u otro ser vivo contado desde su nacimiento.	Información obtenida mediante la fecha de nacimiento de cada persona, seleccionando el rango de 12 y 14 años.	Edad en años.
Altura de salto vertical	Es el punto más alto alcanzado por el sujeto al realizar un salto desplazándose verticalmente.	Información obtenida realizando las técnicas de salto CMJ y SJ mediante plataforma de contacto.	Centímetros.
Longitud de tronco	Distancia medida en centímetros, tomando como referencia C7 y el punto medio entre ambas crestas iliacas con el tronco en posición erguida.	Obtenida mediante la medición con cinta métrica.	Centímetros.
Longitud de miembros inferiores	Distancia existente entre las espinas iliacas anterosuperiores (EIAS) y el maléolo lateral del tobillo o el suelo.	Obtenida mediante la medición con cinta métrica.	Centímetros.
Dorsiflexión	Movimiento por el cual la parte dorsal del pie se aproxima a la parte anterior de la pierna.	Medición realizada con la utilización de un goniómetro.	Grados.

Ángulo de flexión de cadera	de la	Es el movimiento que lleva la cara anterior del muslo hacia el tronco.	Obtenida colocando un marcador en el trocánter mayor del fémur para posteriormente ser analizado mediante la aplicación Kinovea.	Grados.
Ángulo de flexión de rodilla	de la	Es el movimiento que aproxima la cara posterior de la pierna al muslo.	Obtenida colocando un marcador en el cóndilo lateral del fémur para posteriormente ser analizado mediante la aplicación Kinovea.	Grados.
Ángulo de flexión del tobillo		Movimiento por el cual la parte dorsal del pie se aproxima a la parte anterior de la pierna	Obtenida colocando un marcador en el maléolo lateral del tobillo para posteriormente ser analizado mediante la aplicación Kinovea.	Grados.

VI.4 Técnicas e instrumentos

Test de Bosco

Consiste en una batería de varios saltos diferentes que tienen el objetivo de evaluar las características morfohistológicas, funcionales y neuromusculares de la musculatura extensora (Bosco, C., et al. 1983). Los saltos a realizar en el Test de Bosco son los siguientes:

- Squat Jump (SJ), se realiza con las dos extremidades, comienza partiendo de una flexión de rodillas a 90° sostenida, desde la que se realiza un salto vertical máximo, esta técnica evalúa la fuerza explosiva sin utilizar energía elástica ni aprovechar el reflejo miotático.

Figura 1. Salto Squat Jump (SJ)



Nota: Representación gráfica de la prueba. Fuente: Villa, García-López (2003).

- Counter Movement Jump (CMJ), para este salto la posición inicial será en bipedestación con las rodillas y cadera totalmente extendidas, acto seguido se hará un movimiento de flexión y extensión de las rodillas aproximadamente hasta 90° para saltar a máxima altura de manera consecutiva, con este evaluamos la fuerza explosiva con reutilización de energía elástica sin aprovechar el reflejo miotático.

Figura 2. Salto Counter Movement Jump (CMJ)



Nota: Representación gráfica de la prueba. Fuente: Villa, García-López (2003).

- Drop Jump (DJ), en este salto el sujeto deberá colocarse sobre un cajón de cierta altura, se dejará caer y al tocar el suelo deberá hacer una flexión de 90° con las rodillas para

posteriormente saltar a máxima altura sin ninguna pausa, este evalúa la fuerza explosiva aprovechando el reflejo miotático.

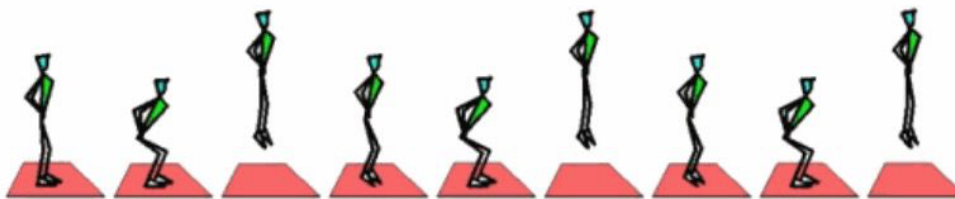
Figura 3. Salto Drop Jump (DJ)



Nota: Representación gráfica de la prueba. Fuente: Villa, García-López (2003).

- Repeat Jump (RJ), para estos saltos se realizará la misma técnica que en el CMJ de manera consecutiva por un determinado tiempo (5-10-15-30-45-60 segundos).

Figura 4. Saltos Repeat Jump (RJ)



Nota: Representación gráfica de la prueba. Fuente: Villa, García-López (2003).

El salto vertical se evaluó con los participantes situados sobre la plataforma de contacto que se conecta a un equipo de cómputo al que se arrojan los resultados y los datos cinemáticos se analizaron mediante el software Kinovea (versión 0.9.5 año 2021), el cual permite medir los ángulos en diferentes momentos del salto de acuerdo con los marcadores colocados en los futbolistas.

Para la recolección de datos de las variables anatómicas se llevó a cabo la medición de la longitud de ambos miembros inferiores, la longitud del tronco y la dorsiflexión de las articulaciones de ambos tobillos.

Medición de longitud de ambos miembros inferiores: Con el paciente colocado en decúbito supino se toma como punto de referencia la espina iliaca anterosuperior y el maléolo lateral del tobillo, a continuación, se medirá la distancia entre estos dos puntos.

Medición de longitud de tronco: Distancia medida en centímetros, tomando como referencia C7 y el punto medio entre ambas crestas iliacas con el tronco en posición erguida.

Medición de dorsiflexión: El paciente se coloca en decúbito supino con la rodilla en extensión y el tobillo en 90°. El goniómetro en 90°, el eje se coloca en sobre el maléolo externo, el brazo fijo será alineado con la línea media longitudinal de la pierna tomando como referencia la cabeza del peroné y el brazo móvil se alinea con la línea media longitudinal del quinto metatarsiano. Para el movimiento se realiza la flexión del tobillo con la rodilla en extensión, el brazo móvil del goniómetro acompaña el movimiento.

VI.5 Procedimientos

1. Acudir a la institución para hacer entrega de los oficios correspondientes para obtener la autorización.
2. Realización de plática informativa e invitación a participar en el proyecto con papás y/o tutores y con los jóvenes pertenecientes a las categorías seleccionadas.
3. Entrega de consentimientos informados y explicación de riesgos y beneficios.
4. Realización de pruebas en horario matutino de entrenamiento dividido en dos días, el primero realizando las pruebas de salto y el segundo las mediciones antropométricas.
5. Sesión de calentamiento de manera previa a la realización de pruebas.
6. Recopilación de datos por parte de la investigadora.
7. Realización de base de datos digital para posteriormente llevar a cabo el análisis.

VI.5.1 Análisis estadístico

Para el tratamiento y análisis de los datos obtenidos, se utilizó el software R (R Core Team, 2025) a través de la interfaz RStudio (Posit Software, PBC, 2025), versión Pile of Leaves.

VI.5.2 Consideraciones éticas

Los principales principios bioéticos que rigen a la investigación son los siguientes:

Declaración de Helsinki: principios básicos

6. Debe respetarse siempre el derecho de las personas a salvaguardar su integridad. Deben adoptarse todas las precauciones necesarias para respetar la intimidad de las personas y reducir al mínimo el impacto del estudio sobre su integridad física, mental y su personalidad.

9. En toda investigación en personas, cada posible participante debe ser informado suficientemente de los objetivos, métodos, beneficios, y posibles riesgos previstos y las molestias que el estudio podría acarrear. Las personas deben ser informadas de que son libres de no participar en el estudio y de revocar en todo momento su consentimiento a la participación. Seguidamente, el médico debe obtener el consentimiento informado otorgado libremente por las personas, preferiblemente por escrito.

Código de Núremberg

2. El experimento debe realizarse con la finalidad de obtener resultados fructíferos para el bien de la sociedad que no sean asequibles mediante otros métodos o medios de estudio, y no debe ser de naturaleza aleatoria o innecesaria.

6. El riesgo tomado no debe exceder nunca el determinado por la importancia humanitaria del problema que ha de resolver el experimento.

7. Se deben tomar las precauciones adecuadas y disponer de las instalaciones óptimas para proteger al sujeto implicado de las posibilidades incluso remotas de lesión, incapacidad o muerte.

Ley General de Salud: Título quinto, Artículo 100.

I. Deberá adaptarse a los principios científicos y éticos que justifican la investigación médica, especialmente en lo que se refiere a su posible contribución a la solución de problemas de salud y al desarrollo de nuevos campos de la ciencia médica.

VI. El profesional responsable suspenderá la investigación en cualquier momento, si sobreviene el riesgo de lesiones graves, invalidez o muerte del sujeto en quien se realice la investigación.

Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud.

ARTÍCULO 13.- En toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio, deberá prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y bienestar.

ARTICULO 14.-

VII. Contará con el dictamen favorable de los Comités de Investigación, de Ética en Investigación y de Bioseguridad, en los casos que corresponda a cada uno de ellos, de conformidad con lo dispuesto en el presente Reglamento y demás disposiciones jurídicas aplicables;

VIII. Se llevará a cabo cuando se tenga la autorización del titular de la institución de atención a la salud y, en su caso, de la Secretaría, de conformidad con los artículos 31, 62, 69, 71, 73, y 88 de este Reglamento;

X. Será responsabilidad de la institución de atención a la salud en la que se realice la investigación proporcionar atención médica al sujeto de investigación que sufra algún daño, si estuviere relacionado directamente con la investigación, sin perjuicio de la indemnización que legalmente corresponda.

De acuerdo con el ARTÍCULO 17, la investigación se clasificó como investigación con riesgo mínimo ya que únicamente consistió en realizar evaluaciones físicas al participante, pero no se llevó a cabo ninguna intervención.

Entre los riesgos que se pudieron presentar se encuentran los siguientes: caídas y golpes.

Para iniciar se explicó en qué consistía la investigación y cuáles eran sus objetivos, posteriormente se entregó el consentimiento informado a todos los interesados en participar y se explicaron los posibles riesgos y beneficios, así como que los datos recabados son totalmente confidenciales y únicamente los investigadores tendrían acceso a ellos, por último se pidió que leyeran y firmaran el consentimiento informado antes de ser entregado.

VII Resultados

Los análisis se enfocaron en describir las características morfológicas y cinemáticas del salto vertical en una muestra de adolescentes, así como en evaluar la distribución de los datos y la correlación entre las distintas variables morfológicas (longitud de piernas, longitud de tronco y estatura), cinemáticas (ROM de cadera, rodilla y tobillo) y la altura de salto CMJ.

Tabla 2. *Estadísticos descriptivos de la muestra*

Variable	N	Media	Mediana	Min	Max	DE
Edad	16	11.94	12.00	10.00	13.00	0.77
Estatura	16	162.75	164.50	139.00	179.0	11.11
Longitud de Tronco	16	82.94	84.50	72.00	89.0	4.87
Longitud de Piernas	16	90.22	90.00	76.50	104.5	7.40
Altura de CMJ	16	26.96	28.85	15.10	39.6	6.86
θ Cadera flexión (°)	16	76.93	79.10	46.90	96.9	14.96
θ Rodilla flexion (°)	16	102.31	103.10	88.60	118.5	9.54
θ Tobillo flexion (°)	16	96.01	98.40	68.20	109.2	10.24
θ Cadera despegue (°)	16	166.68	165.15	155.50	178.9	7.37
θ Rodilla despegue (°)	16	175.26	175.90	168.10	179.8	3.67
θ Tobillo despegue (°)	16	149.36	150.80	130.10	159.0	7.05
$\Delta\theta$ cadera (°)	16	89.74	87.20	68.50	116.5	16.54
$\Delta\theta$ rodilla (°)	16	72.94	73.50	51.80	89.2	11.97
$\Delta\theta$ tobillo (°)	16	53.35	51.45	37.80	74.9	10.29

Nota: Elaboración propia (agosto, 2025)

En la tabla 6 se observan los valores que describen el comportamiento promedio de la muestra en términos de sus características morfológicas y biomecánicas durante la ejecución del salto vertical.

Se evaluó un total de 16 sujetos adolescentes, con una edad promedio de 11.94 ± 0.77 años. La estatura media fue de 162.75 ± 11.11 cm, mientras que la longitud promedio del tronco fue de 82.94 ± 4.87 cm y la de las piernas de 90.22 ± 7.40 cm. La altura alcanzada en el salto vertical (CMJ) fue de 26.96 ± 6.86 cm.

En cuanto a las variables cinemáticas del movimiento, durante la fase de flexión se observaron los siguientes ángulos promedio: cadera $76.93^\circ \pm 14.96$, rodilla $102.31^\circ \pm 9.54$ y tobillo $96.01^\circ \pm 10.24$. En la fase de despegue, los ángulos promedio fueron: cadera $166.68^\circ \pm 7.37$, rodilla $175.26^\circ \pm 3.67$ y tobillo $149.36^\circ \pm 7.05$. Finalmente, los rangos de movimiento angular ($\Delta\theta$) entre ambas fases fueron de $89.74^\circ \pm 16.54$ para la cadera, $72.94^\circ \pm 11.97$ para la rodilla y $53.35^\circ \pm 10.29$ para el tobillo.

Tabla 3. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) de las variables

Variable	W	p_valor	Conclusión
Edad	0.803	0.003	No normal
Estatura	0.967	0.793	Normal
Longitud de Tronco	0.897	0.073	Normal
Longitud de Piernas	0.976	0.929	Normal
Altura de CMJ	0.948	0.454	Normal
θ Cadera flexión ($^\circ$)	0.947	0.437	Normal
θ Rodilla flexion ($^\circ$)	0.952	0.516	Normal
θ Tobillo flexion ($^\circ$)	0.884	0.044	No normal
θ Cadera despegue ($^\circ$)	0.948	0.461	Normal
θ Rodilla despegue ($^\circ$)	0.909	0.112	Normal
θ Tobillo despegue ($^\circ$)	0.899	0.077	Normal
$\Delta\theta$ cadera ($^\circ$)	0.916	0.143	Normal
$\Delta\theta$ rodilla ($^\circ$)	0.937	0.313	Normal
$\Delta\theta$ tobillo ($^\circ$)	0.934	0.280	Normal

Nota: elaboración propia (agosto, 2025)

Se aplicó la prueba de Shapiro–Wilk para verificar la normalidad de las variables evaluadas (ver Tabla 7). Los resultados indicaron que la mayoría de las variables siguen una distribución normal ($p > .05$), a excepción de la variable *edad* ($W = 0.803$, $p = .003$) y el ángulo de *flexión del tobillo* ($W = 0.884$, $p = .044$), las cuales no cumplen con el supuesto de normalidad.

Dado que la mayoría de las variables presentan distribución normal, se considerará la aplicación de pruebas paramétricas para los análisis posteriores.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados mediante pruebas de correlación con cada variable.

Tabla 4. *Correlaciones entre variables morfológicas, cinemáticas y altura de CMJ*

Variable 1	Variable 2	Método	r	p	Significativo
Estatura	Altura de CMJ	Pearson	0.41	0.111	No
Longitud de Tronco	Altura de CMJ	Pearson	0.55	0.028	Sí
Longitud de Piernas	Altura de CMJ	Pearson	0.31	0.236	No
Estatura	θ Cadera flexión ($^{\circ}$)	Pearson	-0.39	0.141	No
Longitud de Tronco	θ Cadera flexión ($^{\circ}$)	Pearson	-0.44	0.088	No
Longitud de Piernas	θ Cadera flexión ($^{\circ}$)	Pearson	-0.37	0.159	No
Estatura	θ Rodilla flexion ($^{\circ}$)	Pearson	0.04	0.874	No
Longitud de Tronco	θ Rodilla flexion ($^{\circ}$)	Pearson	-0.18	0.503	No
Longitud de Piernas	θ Rodilla flexion ($^{\circ}$)	Pearson	0.15	0.575	No
Estatura	θ Tobillo flexion ($^{\circ}$)	Spearman	0.38	0.144	No
Longitud de Tronco	θ Tobillo flexion ($^{\circ}$)	Spearman	0.30	0.255	No
Longitud de Piernas	θ Tobillo flexion ($^{\circ}$)	Spearman	0.35	0.183	No
Estatura	θ Cadera despegue ($^{\circ}$)	Pearson	0.27	0.305	No

Variable 1	Variable 2	Método	r	p	Significativo
Longitud de Tronco	θ Cadera despegue ($^{\circ}$)	Pearson	0.41	0.114	No
Longitud de Piernas	θ Cadera despegue ($^{\circ}$)	Pearson	0.23	0.388	No
Estatura	θ Rodilla despegue ($^{\circ}$)	Pearson	-0.06	0.830	No
Longitud de Tronco	θ Rodilla despegue ($^{\circ}$)	Pearson	0.09	0.745	No
Longitud de Piernas	θ Rodilla despegue ($^{\circ}$)	Pearson	-0.02	0.947	No
Estatura	θ Tobillo despegue ($^{\circ}$)	Pearson	0.01	0.969	No
Longitud de Tronco	θ Tobillo despegue ($^{\circ}$)	Pearson	-0.01	0.977	No
Longitud de Piernas	θ Tobillo despegue ($^{\circ}$)	Pearson	0.05	0.859	No
Estatura	$\Delta\theta$ cadera ($^{\circ}$)	Pearson	0.47	0.066	No
Longitud de Tronco	$\Delta\theta$ cadera ($^{\circ}$)	Pearson	0.58	0.018	Sí
Longitud de Piernas	$\Delta\theta$ cadera ($^{\circ}$)	Pearson	0.44	0.090	No
Estatura	$\Delta\theta$ rodilla ($^{\circ}$)	Pearson	-0.05	0.848	No
Longitud de Tronco	$\Delta\theta$ rodilla ($^{\circ}$)	Pearson	0.17	0.527	No
Longitud de Piernas	$\Delta\theta$ rodilla ($^{\circ}$)	Pearson	-0.13	0.641	No
Estatura	$\Delta\theta$ tobillo ($^{\circ}$)	Pearson	-0.23	0.384	No
Longitud de Tronco	$\Delta\theta$ tobillo ($^{\circ}$)	Pearson	-0.18	0.517	No
Longitud de Piernas	$\Delta\theta$ tobillo ($^{\circ}$)	Pearson	-0.20	0.456	No
θ Cadera flexión ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	-0.30	0.266	No
θ Rodilla flexion ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	-0.44	0.086	No
θ Tobillo flexion ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Spearman	-0.18	0.512	No
θ Cadera despegue ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	0.08	0.760	No
θ Rodilla despegue ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	0.01	0.978	No
θ Tobillo despegue ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	-0.27	0.319	No
$\Delta\theta$ cadera ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	0.30	0.251	No
$\Delta\theta$ rodilla ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	0.35	0.178	No

Variable 1	Variable 2	Método	r	p	Significativo
$\Delta\theta$ tobillo ($^{\circ}$)	Altura de CMJ	Pearson	0.04	0.886	No

Nota: elaboración propia (agosto, 2025)

Se realizó un análisis de correlación entre las variables morfológicas, las variables cinemáticas y la altura de salto CMJ, con el objetivo de identificar relaciones significativas entre la estructura corporal y el desempeño biomecánico.

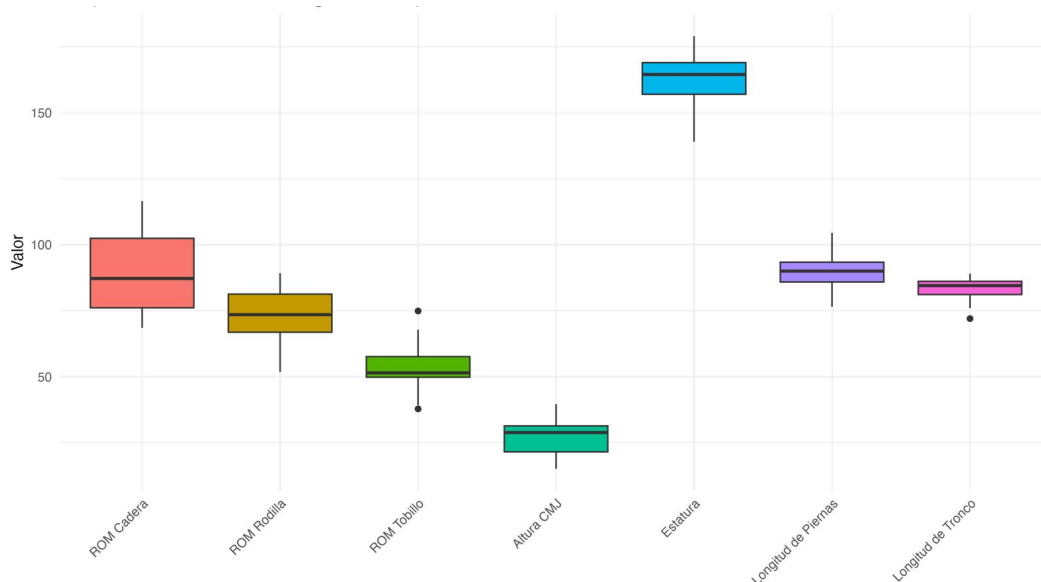
Los resultados mostraron que la longitud del tronco presentó una correlación positiva y significativa con la altura del salto vertical (CMJ) ($r = 0.55$, $p = 0.028$), lo cual sugiere que una mayor longitud del tronco podría estar asociada a un mejor desempeño en la ejecución del salto vertical. Esta es la única relación estadísticamente significativa en el conjunto de datos analizado respecto al CMJ.

Además, también se observó una correlación positiva y significativa entre la longitud del tronco y el cambio angular en la articulación de la cadera durante el movimiento ($r = 0.58$, $p = 0.018$). Este hallazgo podría interpretarse como una influencia de la estructura morfológica del tronco sobre el patrón de movilidad en dicha articulación, aspecto clave en movimientos explosivos como el salto. Los datos podrían indicar que una mayor longitud del tronco conlleva una mayor dominancia de cadera.

En el resto de las combinaciones analizadas, no se hallaron correlaciones estadísticamente significativas. Sin embargo, algunas asociaciones se acercaron al umbral de significancia, como, por ejemplo, la correlación entre estatura y cambio angular de cadera ($r = 0.47$, $p = 0.066$), y la relación entre longitud del tronco y momento de máxima flexión de cadera ($r = -0.44$, $p = 0.088$), lo que podría indicar tendencias que merecen ser exploradas con muestras más amplias en futuros estudios.

En general, estos resultados apuntan a una posible relevancia de la longitud del tronco como variable morfológica clave en el rendimiento del salto y en el rango de movimiento de la cadera en acciones dinámicas.

Figura 5. Diagrama de caja de variables morfológicas, rango de movimiento articular (ROM) y altura de salto vertical (CMJ)



En la figura 5 se muestran los diagramas de caja de las variables morfológicas, la altura del salto vertical (CMJ) y los rangos de movimiento (ROM) de tres articulaciones: cadera, rodilla y tobillo.

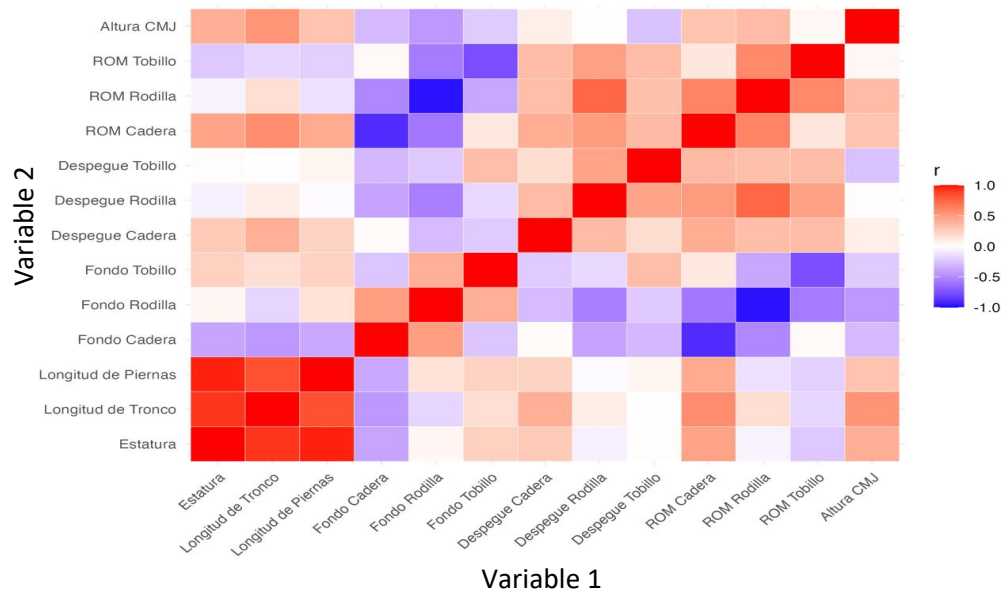
El ROM de la cadera fue el más alto entre las tres articulaciones, con una mediana cercana a los 95°, lo que indica que la mayoría de los futbolistas tienen buena movilidad en esa zona. La rodilla tuvo un ROM menor, con una mediana alrededor de 75°, y el tobillo fue el que presentó el menor rango, cerca de los 55°, además de mostrar algunos valores atípicos, lo que podría deberse a diferencias individuales o limitaciones de movilidad.

En cuanto al salto, la altura del CMJ fue bastante uniforme entre los participantes, con una mediana cercana a los 30 cm y poca variación. Esto sugiere que el grupo tiene un rendimiento de salto bastante similar.

Respecto a las variables morfológicas, la estatura fue la más alta (alrededor de 170 cm en promedio), seguida por la longitud de piernas y luego la longitud del tronco, ambas con valores entre los 80 y 90 cm. Se notó un poco más de variación en la longitud de las piernas, lo cual podría influir en cómo se mueve cada jugador al saltar. En general, esta gráfica permite ver de forma clara cómo se distribuyen los valores de cada variable y resalta algunas

diferencias entre los jugadores, sobre todo en los rangos articulares y en las medidas corporales.

Figura 6. Mapa de calor de correlación entre variables morfológicas, cinemáticas y de altura de salto vertical (CMJ)



En la Figura 6 se presenta un mapa de calor que resume las correlaciones entre variables morfológicas, cinemáticas y la altura del salto vertical (CMJ). Los colores indican la fuerza y dirección de las correlaciones: rojo para positivas, azul para negativas.

Los hallazgos más destacados son:

- Longitud del tronco y ROM de cadera: correlación positiva moderada, lo que sugiere que un tronco más largo se asocia con mayor movilidad en la cadera durante el salto ($r = .58$, $p = .018$).
- Longitud del tronco y altura CMJ: correlación positiva ($r = .55$, $p = .028$), lo que indica que participantes con troncos más largos tienden a alcanzar mayor altura en el salto.
- Longitud de piernas y fondo de rodilla: se observa una correlación positiva fuerte, lo que podría reflejar una mayor flexión de rodilla en individuos con piernas más largas.

Este análisis visual refuerza la posible influencia de la morfología corporal, especialmente del tronco, en la mecánica y el rendimiento del salto.

Tabla 5. Regresiones entre Índice Tronco/Piernas y ROM de articulación de Cadera, Rodilla y Tobillo

Articulación	Beta1	p-value	R ² ajustado
$\Delta\theta$ cadera (°)	-3.684	0.974	-0.071
$\Delta\theta$ rodilla (°)	142.457	0.068	0.162
$\Delta\theta$ tobillo (°)	38.475	0.587	-0.048

Nota: elaboración propia (agosto, 2025)

Para los siguientes análisis se utilizó el índice Tronco-Piernas, el cual representa una medida antropométrica para valorar la proporción entre la longitud de las piernas y la longitud del tronco de una persona. En la tabla 9, se observa que: $\Delta\theta$ rodilla (°) es la única variable que muestra una tendencia cercana a la significancia ($p = 0.068$), con una R^2 ajustado = 0.162, lo que indica que el Índice TP podría explicar aproximadamente el 16.2% de la variabilidad en el cambio angular de la rodilla. En cambio, las articulaciones de la cadera y el tobillo presentan valores de p elevados y valores de R^2 negativos, lo que sugiere que el Índice TP no tiene poder predictivo sobre esas variables.

Figura 7. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y ROM de Cadera

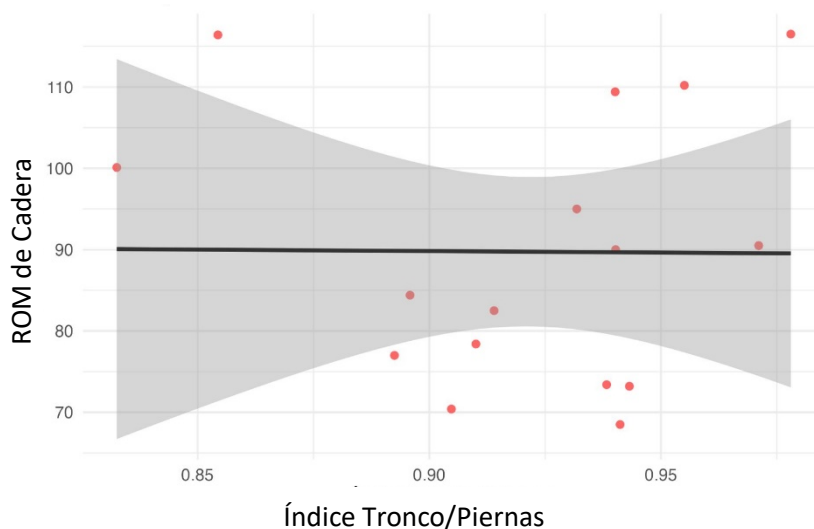


Figura 8. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y ROM de Rodilla

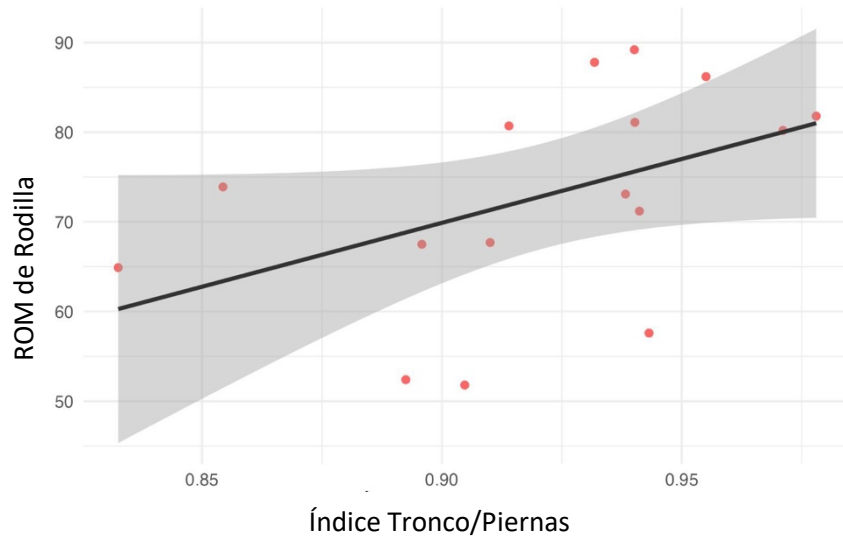
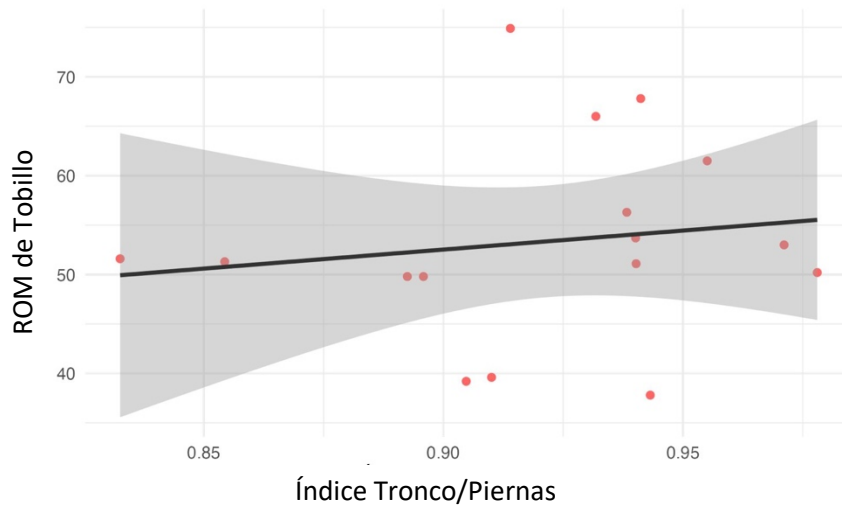


Figura 9. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y ROM de Tobillo



Para analizar la relación entre el índice Tronco/Piernas (TP) y el rango de movimiento (ROM) de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo, se utilizaron gráficos de dispersión con líneas de tendencia. Estos gráficos permiten observar si existe una relación entre las variables.

En el caso del ROM de la cadera (ver Figura 7), se observa una línea de tendencia casi horizontal, lo que indica que no hay una relación clara entre el índice TP y el movimiento de esta articulación. Además, los datos están bastante dispersos, lo que refuerza la idea de que no existe una asociación fuerte.

En la Figura 9 del ROM del tobillo, la línea de tendencia muestra una ligera inclinación positiva, lo que podría sugerir una pequeña relación, pero muy débil. También hay bastante variación entre los datos, por lo que no se puede concluir que haya una asociación consistente.

Por otro lado, en el ROM de la rodilla (ver Figura 8), la tendencia es más clara y positiva: a mayor índice TP, mayor ROM de rodilla. Este patrón coincide con los resultados del análisis de regresión lineal, donde esta variable tuvo el mejor resultado (R^2 ajustado = 0.162; $p = .068$), aunque no alcanza significancia estadística. Aun así, puede indicar una posible relación que vale la pena considerar.

En resumen, el índice TP parece tener mayor relación con el rango de movimiento de la rodilla que con el de la cadera o el tobillo. Esto podría tener importancia en el análisis del salto vertical, ya que una mayor movilidad de rodilla podría influir en el rendimiento de este gesto técnico.

Figura 10. *Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y despegue de Cadera*

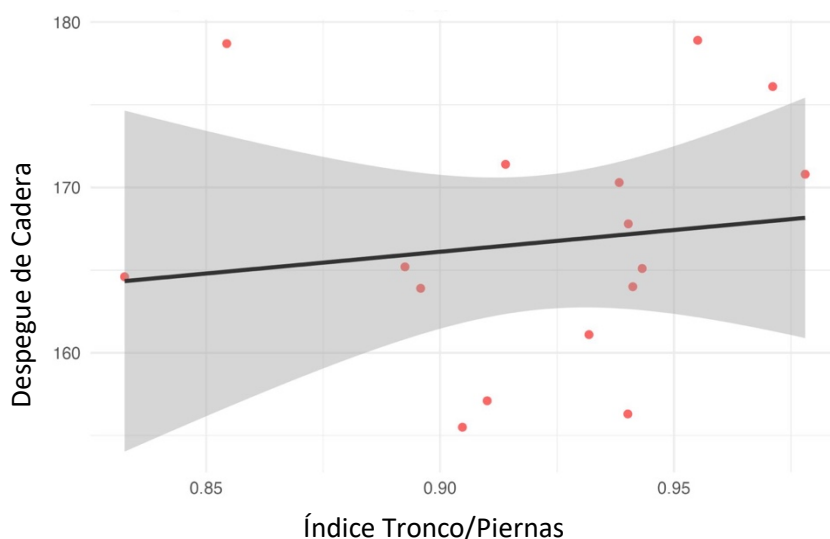


Figura 11. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y despegue de Rodilla

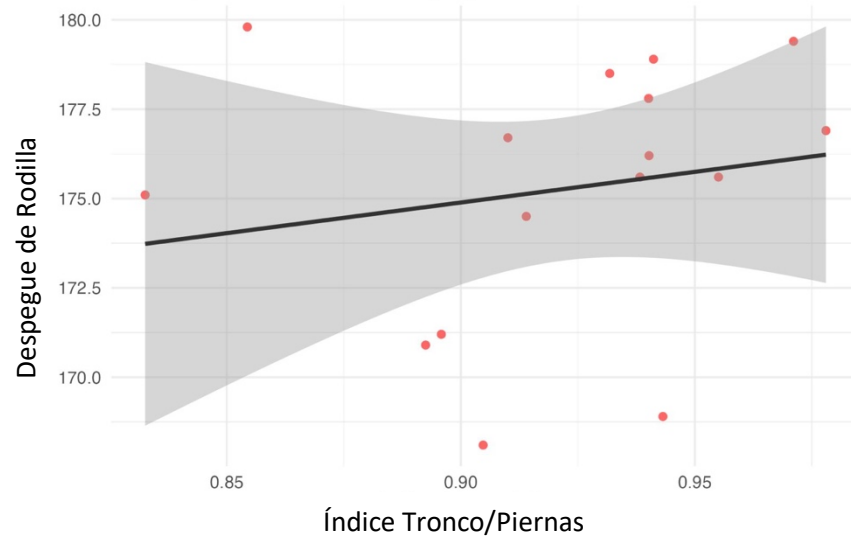
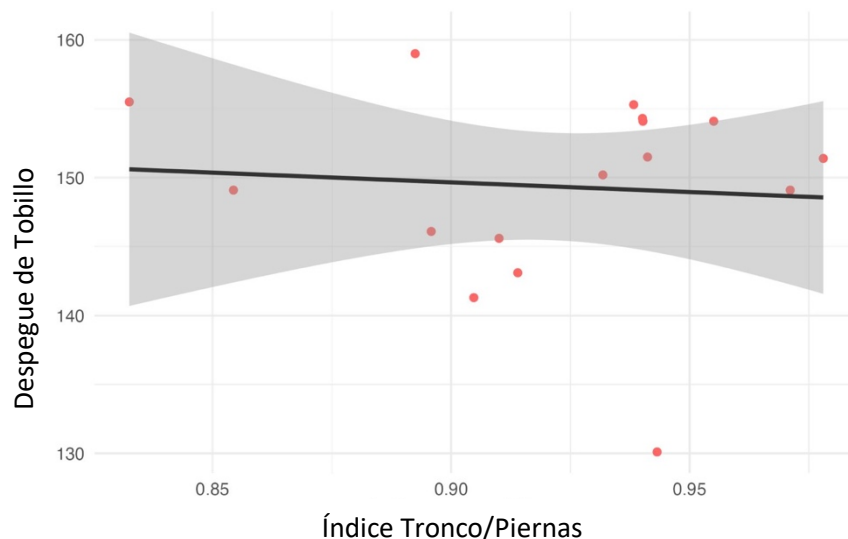


Figura 12. Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y despegue de Tobillo



En las Figuras 10, 11 y 12 se presentan las regresiones lineales entre el índice tronco-piernas (TP) y los ángulos articulares en el momento del despegue para las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo, respectivamente. En general, las relaciones observadas no alcanzaron significancia estadística, con excepción de la rodilla, que mostró una tendencia positiva cercana al umbral de significancia ($p = .068$). Esta tendencia sugiere que una mayor proporción de longitud de piernas en relación con el tronco podría asociarse a un mayor ángulo de extensión en la rodilla durante el despegue. En contraste, las articulaciones de la cadera y el tobillo no mostraron relaciones significativas ni patrones visuales consistentes que indiquen influencia del índice TP sobre sus ángulos en la fase de despegue.

Figura 13. *Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y fondo de Cadera*

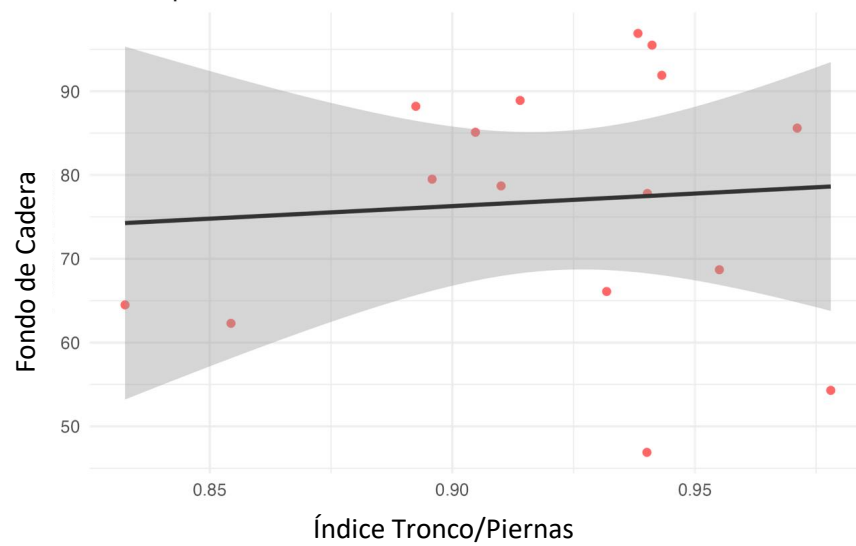


Figura 14. *Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y fondo de Rodilla*

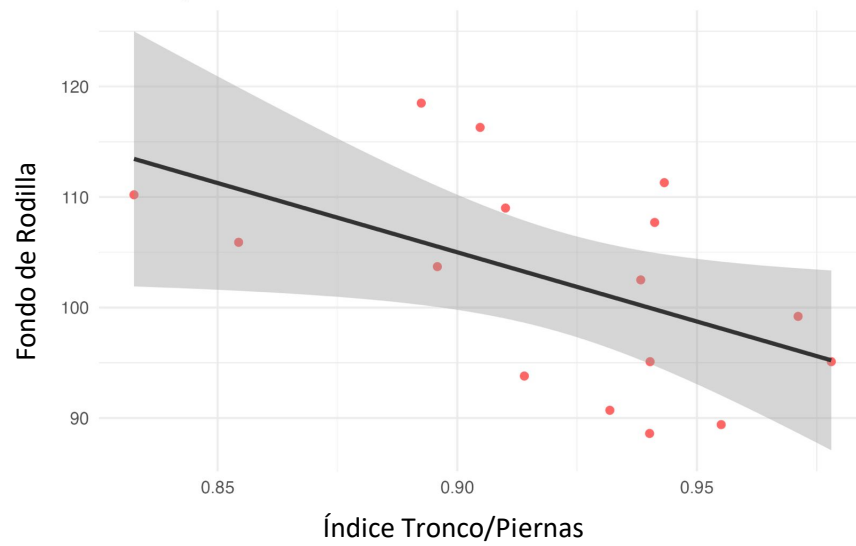
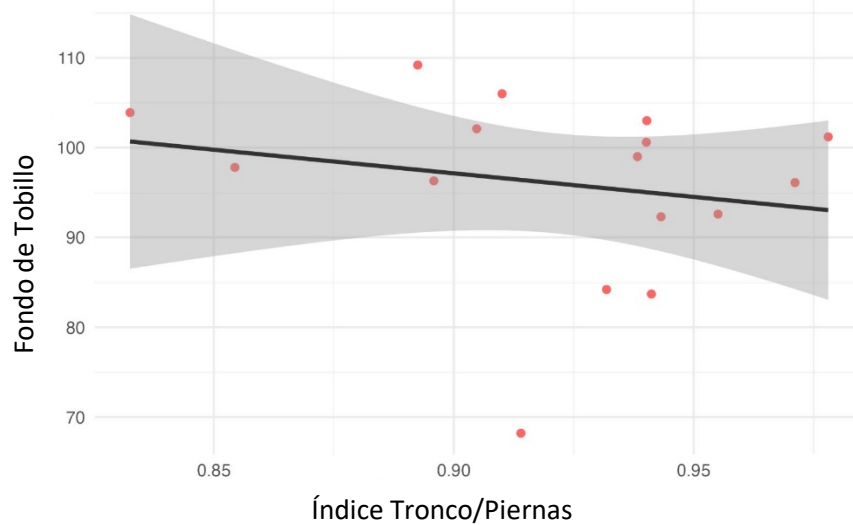


Figura 15. *Diagrama de dispersión Índice Tronco/Piernas y fondo de Tobillo*



En las Figuras 13, 14 y 15 se muestran las relaciones entre el índice tronco/piernas y los ángulos máximos de flexión en la cadera, rodilla y tobillo durante el salto.

En el caso de la flexión de cadera (Figura 13), no se observó una relación clara entre ambas variables. La pendiente de la línea fue casi plana, y el análisis estadístico no fue significativo ($p = .974$).

La flexión de rodilla (Figura 14) presentó una relación más evidente: a mayor índice tronco/piernas, menor fue el ángulo de flexión. Aunque esta tendencia no fue estadísticamente significativa ($p = .068$), el modelo explicó un 16.2% de la variabilidad, lo que podría indicar una influencia leve de la proporción corporal.

Por último, la flexión del tobillo (Figura 15) tampoco mostró relación significativa ($p = .587$), y el modelo explicó muy poco del comportamiento observado.

En resumen, solo la flexión de rodilla mostró una posible relación con el índice tronco/piernas, aunque no fue concluyente. Esto sugiere que la proporción corporal podría influir ligeramente en el movimiento de ciertas articulaciones, pero se necesitan más estudios para confirmarlo.

Se realizaron análisis de regresión múltiple para evaluar la posible influencia conjunta de variables morfológicas y el índice tronco-piernas sobre el rango de movimiento articular en las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo. Sin embargo, debido al tamaño reducido de la

muestra y la posible colinealidad entre las variables, los modelos no mostraron resultados estadísticamente significativos. Por esta razón, los resultados detallados de estos análisis no se incluyen en el trabajo.

VIII Discusión

Los hallazgos del presente estudio ofrecen una perspectiva relevante sobre la relación entre la morfología corporal, el rango de movimiento articular (ROM) y el rendimiento en el salto vertical (CMJ) en una muestra de sujetos jóvenes. En primer lugar, el análisis descriptivo mostró variabilidad en las proporciones corporales, particularmente en el índice tronco/piernas (TP), lo que concuerda con estudios previos que han identificado este índice como un marcador morfológico con potencial influencia sobre gestos motrices específicos (Čaušević et al., 2023; Sun et al., 2025).

Respecto al ROM articular, los datos indican que la articulación de la rodilla presenta mayor movilidad en comparación con cadera y tobillo. Esta observación coincide con investigaciones que han resaltado el rol dominante de la extensión de rodilla durante la fase de impulso en el salto vertical (Rodacki et al., 2002; Menzel et al., 2013). Además, el análisis de regresión lineal simple entre el índice TP y el ROM de la rodilla mostró una tendencia positiva, con un valor de R^2 ajustado de 0.162 y un valor p de .068, cercano al umbral de significancia estadística. Aunque no se alcanzó significancia, este hallazgo sugiere una posible asociación entre mayor longitud relativa de las piernas y una mayor capacidad de extensión articular en la rodilla, lo cual podría optimizar la producción de fuerza vertical, como ha sido planteado por Bosco et al. (1983) y más recientemente por Shinchu et al. (2024).

En contraste, las articulaciones de cadera y tobillo no mostraron asociaciones significativas ni patrones claros con el índice TP. La línea de tendencia fue prácticamente horizontal en ambos casos, lo que implica una influencia morfológica menos marcada sobre estos segmentos durante el gesto de salto. Investigaciones como las de Panoutsakopoulos et al. (2021) y Mancini et al. (2022) han destacado que la movilidad del tobillo, si bien importante, tiende a ser menos determinante en sujetos con técnica de salto bien desarrollada, donde la acción sinérgica del tríceps sural se integra con eficiencia a la secuencia de extensión.

El análisis de los ángulos articulares en el momento del despegue también mostró que la rodilla fue la única articulación en la que se observó una tendencia positiva respecto al índice TP, reforzando la posible relación entre esta proporción morfológica y la mecánica del salto. Esta observación se alinea con las propuestas de Aragón-Vargas y Gross (1997), quienes argumentan que las diferencias individuales en proporciones segmentarias pueden influir en la

cinemática y eficiencia del salto, aun cuando no se manifiesten diferencias significativas en la fuerza absoluta.

En relación con el rendimiento en el salto (altura del CMJ), los resultados evidenciaron que aquellos participantes con mayor ROM de rodilla tendieron a alcanzar mayores alturas, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Este patrón refuerza la hipótesis de que, más allá de la fuerza muscular per se, las características biomecánicas del movimiento, incluyendo la amplitud articular y la coordinación intersegmentaria, desempeñan un rol clave (Hawley et al., 2022; Sarvestan et al., 2018).

Finalmente, los análisis de regresión múltiple no arrojaron resultados significativos, lo que puede atribuirse al tamaño reducido de la muestra y a la colinealidad entre algunas variables. No obstante, la integración visual de los datos mediante diagramas de dispersión permitió identificar patrones relevantes que respaldan parcialmente las hipótesis planteadas. Aunque la influencia del índice TP sobre el rendimiento motor no puede confirmarse de manera concluyente, la tendencia observada sugiere que este parámetro podría ser un factor modulador del rendimiento en el salto, especialmente en lo que respecta al ROM de la rodilla, aspecto también señalado por Babu y Thapa (2024) al explorar relaciones entre antropometría y salto en atletas universitarios.

En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de considerar tanto factores morfológicos como cinemáticos en la evaluación y entrenamiento del salto vertical. Si bien los efectos observados fueron moderados y no estadísticamente concluyentes, constituyen una base importante para futuras investigaciones con muestras más amplias y protocolos de medición más precisos.

IX Conclusiones

El presente estudio tuvo como objetivo general observar la influencia de las características morfológicas en el desempeño del salto vertical en jóvenes futbolistas. Para ello, se realizaron mediciones antropométricas, junto con un análisis cinemático de los ángulos articulares de cadera, rodilla y tobillo durante la ejecución del salto, empleando la aplicación Kinovea y la plataforma de contacto para medir la altura del salto.

Los resultados obtenidos no mostraron una influencia estadísticamente significativa de las características morfológicas sobre las estrategias biomecánicas durante el salto vertical. En particular, no se pudo confirmar que la longitud de los miembros inferiores influyera en el trabajo relativo de las articulaciones de cadera o rodilla, ni que la dominancia articular se asociara con mejor rendimiento en elementos elásticos o contráctiles del salto. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis principal (H1) y se acepta la hipótesis nula (H0), aunque es importante señalar que el tamaño reducido de la muestra pudo haber limitado el poder estadístico del estudio, dificultando la detección de relaciones significativas y afectando la generalización de los resultados.

Sin embargo, se encontró que la longitud del tronco se correlacionó significativamente con la altura del salto y con ciertos cambios angulares en la cadera, lo que indica que algunas características morfológicas específicas pueden tener un papel parcial en el desempeño del salto vertical. Estos hallazgos reflejan la naturaleza multifactorial del rendimiento deportivo, donde aspectos funcionales, técnicos y neuromusculares también juegan un papel fundamental.

Se recomienda que futuras investigaciones utilicen muestras más amplias y consideren variables complementarias relacionadas con fuerza, coordinación y técnica, además de mejorar los métodos de medición para profundizar en el entendimiento de los factores que influyen en el rendimiento del salto vertical en futbolistas adolescentes.

Este estudio aporta evidencia relevante que contribuye a la comprensión del papel de la morfología en el rendimiento biomecánico y establece un punto de partida para futuras investigaciones con un enfoque más integral.

X Propuestas

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten plantear diversas aplicaciones prácticas relevantes para el ámbito del entrenamiento deportivo y la prevención de lesiones.

1. Integración de evaluaciones morfofuncionales en etapas formativas. Incluir evaluaciones sistemáticas de características morfológicas del tronco, junto con análisis cinemáticos simples, puede ayudar a entrenadores, preparadores físicos y profesionales de la salud deportiva a tomar decisiones más informadas sobre el diseño del entrenamiento y el seguimiento del desarrollo motor de los deportistas (Čaušević et al., 2023; Jiménez-Reyes et al., 2011), así como servir como criterios complementarios en programas de selección de talentos, identificando jóvenes con potencial para tareas específicas dentro del campo de juego (Sun et al., 2025; Stolen et al., 2005).

2. Diseño de entrenamientos individualizados basados en la morfología. Dado que se ha encontrado una correlación significativa entre la longitud del tronco y el rendimiento en el salto vertical tipo countermovement jump (CMJ), es recomendable ajustar las cargas y los enfoques del entrenamiento a las proporciones corporales del deportista. Esto es especialmente útil en poblaciones jóvenes en etapa de desarrollo (Bosco, 1994; Shinchí et al., 2024).

3. Uso de herramientas accesibles de análisis cinemático. El software Kinovea, utilizado en este estudio, demostró ser una herramienta viable para analizar el gesto de salto en 2D, lo cual puede ser aprovechado por entrenadores y terapeutas en contextos con recursos limitados (Pueo et al., 2020; Caseiro-Filho et al., 2023).

4. Prevención de lesiones a través del control de patrones de movimiento. Evaluar el rango articular durante el salto permite detectar restricciones que podrían predisponer a lesiones, como inestabilidad de rodilla o déficit de dorsiflexión de tobillo, comúnmente asociadas a lesiones del LCA (Larwa et al., 2021). Los hallazgos refuerzan la importancia de programas de movilidad y control neuromuscular en etapas de formación.

Derivado de este estudio surgen nuevas líneas de investigación, las cuales pueden brindar información relevante, a continuación, se presentan diferentes propuestas para

complementar la información y profundizar en la relación que tienen las variables morfológicas, funcionales y motoras en jóvenes futbolistas u otros deportistas.

1. Ampliación del tamaño muestral y diversidad poblacional. Estudios con mayor cantidad de participantes y variabilidad en edad, sexo, posición de juego y nivel competitivo permitirán una mejor generalización de los hallazgos (Quatman et al., 2006; Sarvestan et al., 2018).

2. Estudios longitudinales del desarrollo morfofuncional. Realizar un seguimiento en el tiempo de las variables morfológicas y funcionales permitiría identificar cómo influyen en la evolución del rendimiento motor durante las etapas clave del crecimiento (Chena Sinovas, 2015; Rodríguez & Almagiá, 2016).

3. Inclusión de variables neuromusculares. Complementar los análisis morfológicos y cinemáticos con datos de fuerza isocinética, activación muscular (EMG), y potencia, aportaría un enfoque más integral del rendimiento (Wisloff et al., 2004; Menzel et al., 2013).

4. Uso de tecnología avanzada para análisis cinético y cinemático 3D. Incorporar plataformas de fuerza, cámaras 3D o sensores inerciales mejoraría la precisión en la evaluación del gesto de salto, ofreciendo datos más detallados sobre tiempos de contacto, potencia y simetría (Martins et al., 2006; Mancini et al., 2022).

XI Bibliografía

Aguado-Jodar, M., & Izquierdo-Redin, M. (1995). 16 prácticas de biomecánica. Universidad de León.

Aguado Jódar, X. (1993). Eficacia y técnica deportiva: Análisis del movimiento humano. INDE.

Amadio, A. C., Serrão, J. C., & Araujo, R. C. (s. f.). Introdução à Biomecânica para Análise do Movimento Humano: Descrição e Aplicação dos Métodos de Medição. 38.

Aragón-Vargas, L. F., & Gross, M. M. (1997). Kinesiological Factors in Vertical Jump Performance: Differences among Individuals. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(1), 24-44. <https://doi.org/10.1123/jab.13.1.24>

Babu, T. S., & Thapa, R. K. (2024). The relationship of foot anthropometry with countermovement jump and squat jump performance among male university-level athletes. *Journal of Human Sport and Exercise*, 20(1), 157–168. <https://doi.org/10.55860/2dzaj142>

Balsalobre-Fernández, C., & Varela-Olalla, D. (2024). The validity and reliability of the My Jump Lab App for the measurement of vertical jump performance using artificial intelligence. *Sensors*, 24(24), 7897. <https://doi.org/10.3390/s24247897>

Bosco, C. (1994). La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Ed. Paidotribo. Barcelona.

Bosco, C.; Luhtanen P.; Komi P.V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in Jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50 (2): 273-282.

Brenzikofer, R. (1997). O método científico: Um desafio permanente. En *Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica* (pp. 24–27). SBB / DEM-FEF-UNICAMP / LIB-FEF.

Caseiro-Filho, L.C., Girasol, C.E., Rinaldi, M.L. et al. Analysis of the accuracy and reliability of vertical jump evaluation using a low-cost acquisition system. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 15, 107 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13102-023-00718-z>

Čaušević, D., Rani, B., Gasibat, Q., Čović, N., Alexe, C. I., Pavel, S. I., Burchel, L. O., & Alexe, D. I. (2023). Maturity-Related Variations in Morphology, Body Composition, and Somatotype Features among Young Male Football Players. *Children*, 10(4), 721. <https://doi.org/10.3390/children10040721>

Chena Sinovas, M. (2015). Influencia de la composición corporal sobre el rendimiento en salto. *Nutrición Hospitalaria*. 1, 299-307. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.8876>

Cleather, D., & Czasche, M. (2019). Knee forces during landing in men and women. *J Human Kinet*, 68(1), 177- 192. doi: 10.2478/hukin-2019-0065

Cossio-Bolaños, M., & Arruda, M. (2009). Aplicaciones de la biomecánica al fútbol. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 14(136), 1–10.

Cruz, C. G., Bregains, F., & Braidot, A. (s. f.). Análisis cinemático del salto en pacientes sin patologías en extremidades inferiores. *Revista Ingeniería Biomédica*, 7.

García-Fojeda, A., Biosca, F., & Vàlios, J. C. (1997). La biomecánica: una herramienta para la evaluación de la técnica deportiva. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 47, 15–20.

González-Badillo, JJ. (2000) Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infoco*. 5(2): 3-14.

González-Badillo, JJ. y Ribas, J. (2002) Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: INDE

González-Cruz, C., Bregains, F., & Braidot, A. (2008). Análisis cinemático del salto en pacientes sin patologías en extremidades inferiores. *Ingeniería Biomédica*, 2(5), 39–44. <https://revista.eia.edu.co/index.php/BME/article/view/41>

Hawley, V. S., Gurchiek, R. D., & van Werkhoven, H. (2022). Can Foot Anthropometry Predict Vertical Jump Performance?. *Journal of strength and conditioning research*, 36(7), 1860–1865. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003733>

Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 126(843), 136–195.

[Http://www.rendimientodeportivo.com/N006/artic029.htm](http://www.rendimientodeportivo.com/N006/artic029.htm). (s. f.). 15.

Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., González-Badillo, J. (2011). Análisis de variables medidas en salto vertical relacionadas con el rendimiento deportivo y su aplicación al entrenamiento. *Cultura, Ciencia y Deporte*. 6(17): 113-119.

Junquera, L. M., Baladrón, J., Albertos, J. M., & Olay, S. (2003). Medicina basada en la evidencia (MBE): Ventajas. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial*, 25(5). <https://doi.org/10.4321/S1130-05582003000500003>.

Kale M, Asçi A, Bayrak C and Açıkada C. (2009). Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 23(8): 2272-2279.

Larwa, J., Stoy, C., Chafetz, R. S., Boniello, M., & Franklin, C. (2021). Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3826. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073826>

Lugo-Agudelo, L. H., Castro-García, P. A., Mejía-Mejía, A., Cano-Restrepo, B. C., Vélez-Jaramillo, D. A., & García-García, H. I. (2017). Determinantes de los costos de la atención y la rehabilitación de personas lesionadas en accidentes de tránsito en Medellín, Colombia. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 15(31), 1–15.

Mancini, S., Dickin, D. C., Hankemeier, D., Ashton, C., Welch, J., & Wang, H. (2022). Effects of a soccer-specific vertical jump on lower extremity landing kinematics. *Sports Medicine and Health Science*, 4(3), 209–214. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2022.07.003>

Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of strength and conditioning*

research, 18(3), 551–555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)

Martins, J. A. C., Pato, M. P. M., & Pires, E. B. (2006). A finite element model of skeletal muscles. *Virtual and Physical Prototyping*, 1(3), 159-170. <https://doi.org/10.1080/17452750601040626>

McErlain-Naylor, S., King, M., & Pain, M. T. G. (2014). Determinants of countermovement jump performance: a kinetic and kinematic analysis. *Journal of Sports Sciences*, 32(19), 1805–1812. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.924055>

Menzel, H.-J., Chagas, M. H., Szmuchrowski, L. A., Araujo, S. R. S., de Andrade, A. G. P., & de Jesus-Moraleida, F. R. (2013). Analysis of Lower Limb Asymmetries by Isokinetic and Vertical Jump Tests in Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1370-1377. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>

Ornelas, A., Méndez, J., Camacho, D.. (2020). Desarrollo de la Capacidad Aeróbica en Futbolistas Adolescentes: Efectos de un Entrenamiento Específico al Deporte en Comparación con Entrenamiento Continuo e Interválico. 2021, de Revista Transdigital Sitio web: <https://www.revista-transdigital.org/index.php/transdigital/article/view/35/69>

Panoutsakopoulos, V., & Bassa, E. (2023). Countermovement Jump Performance Is Related to Ankle Flexibility and Knee Extensors Torque in Female Adolescent Volleyball Athletes. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 8(2), 76. <https://doi.org/10.3390/jfmk8020076>

Panoutsakopoulos, V., Kotzamanidou, M. C., Papaiakevou, G., & Kollias, I. A. (2021). The Ankle Joint Range of Motion and Its Effect on Squat Jump Performance with and without Arm Swing in Adolescent Female Volleyball Players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(1), 14. <https://doi.org/10.3390/jfmk6010014>

Peng, H., Song, C., Wallace, B., Kernozek, T. W., Wang, M. H., & Wang, Y. H. (2019). Effects of relative drop heights of drop jump biomechanics in male volleyball players. *Int J Sports Med*, 40(13), 863-870. doi:10.1055/a-0969-8623

Policastro, F., Sardo, A., Yazbek, F., & Accardo, A. (2020). Kinematic assessment of the vertical jump in young basketball players. *J PhysEduc Sport*, 20(6), 3239–3233.

Psycharakis, D. S. G. (s. f.). *Dynamics of Vertical Jumps*. 8.

Pueo, B., Penichet-Tomas, A., & Jimenez-Olmedo, J. M. (2020). Validity, reliability and usefulness of smartphone and kinovea motion analysis software for direct measurement of vertical jump height. *Physiology & behavior*, 227, 113144. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113144>

Quatman, C. E., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). Maturation Leads to Gender Differences in Landing Force and Vertical Jump Performance: A Longitudinal Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(5), 806-813. <https://doi.org/10.1177/0363546505281916>

Rodacki, A. L. F., Fowler, N. E., & Bennett, S. J. (2002). Vertical jump coordination: Fatigue effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(1), 105-116. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00017>

Rodríguez, F. J., Almagiá, A. A. (2016). *Evaluación y Ciencia de la Morfoestructura Humana*. Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

Rosell, W., Dovale, C., Álvarez, I. (2001). *Morfología Humana I*. Editorial Ciencias Médicas. Ciudad de la Habana, Cuba. Pp 13-15.

Sahabuddin, F. N. A., Jamaludin, N. I., Shamsul Bahari, M. L. H., Raja Ahmad Najib, R. K. M., & Shaharudin, S. (2021). Lower limb biomechanics during drop vertical jump at different heights among university athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(4), 1829–1835. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.04231>

Sarvestan, J., Cheraghi, M., Sebyani, M., Shirzad, E., & Svoboda, Z. (2018). Relationships between force-time curve variables and jump height during countermovement jumps in young elite volleyball players. *ActaGymnica*, 48(1), 9–14.

Shinchi, K., Yamashita, D., Yamagishi, T., Aoki, K., & Miyamoto, N. (2024). Relationship between jump height and lower limb joint kinetics and kinematics during countermovement jump in elite male athletes. *Sports Biomechanics*, 23(12), 3454–3465. <https://doi.org/10.1080/14763141.2024.2351212>

Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of Soccer: An Update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536.

Sun, Z., Liu, X., Fu, H., Shen, S., & Zhou, X. (2025). Comparisons of the anthropometric and physical characteristics of young elite Chinese male soccer players by age and playing position. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17, Article 22. <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01070-0>

Takahashi, K., & Wakahara, T. (2019). Association between trunk and gluteus muscle size and long jump performance. *PloS one*, 14(11), e0225413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225413>

Villa, J.G., García- López, J..(2003). Test de salto vertical (I): Aspectos funcionales. *RendimientoDeportivo.com Revista Digital*. N 6.

Werlayane, S.. (2012). Biomecánica aplicada al deporte: contribuciones, perspectivas y desafíos. 2021, de *Lecturas: Educación Física y Deporte*, Revista Digital Sitio web: <http://www.efdeportes.com/efd170/-biomecanica-aplicada-al-deporte.htm>

Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. and Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.*; 38(3): 285-8.

XII Anexos

XII.1 Hoja de recolección de datos

Tabla de recolección de medidas antropométricas

Categoría	Nombre	CMJ	Longitud tronco	Longitud piernas	Estatura

Tabla de recolección de ángulos articulares

Nombre	Fondo cadera	Fondo rodilla	Fondo tobillo	Despegue cadera	Despegue rodilla	Despegue tobillo	$\Delta\theta$ cadera	$\Delta\theta$ rodilla	$\Delta\theta$ tobillo

XII.2 Carta de consentimiento informado

Consentimiento Informado

Querétaro, Qro. A ____ del mes ____ del año ____

Nombre _____

Mediante este documento hago constar que he comprendido todos los datos que me ha proporcionado el investigador para participar en la investigación llamada “Análisis cinemático y morfológico del salto vertical en futbolistas adolescentes”. A cargo de la alumna Cepeda Franco Brenda Daniela, de la licenciatura en Fisioterapia en la Universidad Autónoma de Querétaro, así mismo me ha permitido realizar todas las observaciones y me ha aclarado todas las dudas y preguntas que he planteado sobre la recopilación de mis datos, mi valoración, y tratamiento o intervención a realizar.

Me han hecho saber que las evaluaciones serán realizadas por la investigadora y las instrucciones serán proporcionadas al inicio de la evaluación, se dará un seguimiento resolviendo cualquier duda, así mismo se me proporcionará la información de relevancia de los resultados obtenidos.

Me han informado de los riesgos que esta investigación puede causar a mi salud, tales como caídas y golpes, los cuales serán atendidos por personal de la institución Instituto de Fútbol de Alta Competencia (IFAC), en caso de presentarse derivados de la aplicación de la investigación. Estoy informado(a) que tengo el derecho de rehusarme a participar en la investigación antes de ser iniciado, o suspender con previo aviso mi participación en el estudio.

Declaro haber facilitado de manera leal y verdadera los datos sobre el estado físico y de salud de mi persona que pudieran afectar las evaluaciones a realizar, así mismo decido, dentro de las opciones clínicas, dar mi conformidad libre, voluntaria y consciente a las intervenciones que me serán realizadas.

Firma del investigador

Firma del Participante

Nombre y firma del padre o tutor