

**OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO EN HALTEROFILIA MEDIANTE ANÁLISIS
BIOMECÁNICO**
**OPTIMIZING WEIGHTLIFTING TRAINING THROUGH AUTOMATED
BIOMECHANICAL**

Autores: ¹Helmer Antonio Méndez Infante, ²Orielvis Ferrer Carrasco y ³Juan Miguel Peña Fernández.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4407-3469>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6286-3280>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4195-7365>

¹E-mail de contacto: hmendezi@udg.co.cu

²E-mail de contacto: orielvisferrercarrasco@gmail.com

³E-mail de contacto: juan.penaf@ug.edu.ec

Afiliación: ¹*Universidad de Granma, (Cuba). ²*Instituto Nacional de Deportes, Educación Física y Recreación, (Cuba). ³*Universidad de Guayaquil, (Ecuador).

Artículo recibido: 27 de Diciembre del 2025

Artículo revisado: 29 de Diciembre del 2025

Artículo aprobado: 8 de Enero del 2026

¹Licenciado en Cultura Física, egresado del ISCF “Manuel Fajardo” (Cuba), con 35 años de experiencia en la docencia universitaria. Profesor Titular de la Universidad de Granma (Cuba). Posee un PhD en Ciencias de la Cultura Física por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España) y por la Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte (Cuba).

²Licenciado en Cultura Física, Profesor de Levantamiento de Pesas, (Cuba).

³Licenciado en Cultura Física egresado del Instituto Superior Blas Roca Calderio, (Cuba) con 25 años de experiencia en la docencia. Posee un PhD. en Análisis Estructural Sistémico de los Juegos Deportivos aplicaciones a la Iniciación a la Selección de Talento al deporte escolar y al rendimiento deportivo en la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, (España).

Resumen

Las métricas tradicionales de carga en halterofilia, como el tonelaje, no incorporan la distancia recorrida ni las variaciones biomecánicas individuales, limitando la personalización del entrenamiento en atletas escolares. Este estudio evaluó la aplicabilidad del kilogramo-metro (KGMT) —métrica que cuantifica el trabajo mecánico mediante la relación peso \times distancia— como herramienta para optimizar programas de entrenamiento en halterófilas escolares. Mediante un diseño cuasi-experimental longitudinal, se analizaron 15 atletas femeninas (15–16 años) durante nueve mesociclos, integrando métodos teóricos (análisis documental, síntesis de literatura) y empíricos (observación sistemática, mediciones antropométricas, la entrevista y encuesta). Se calcularon los valores de KGMT en ejercicios clave (arranque, envión, sentadilla, empuje de fuerza), vinculando datos antropométricos (talla, longitud de extremidades) con el rendimiento. Los resultados revelaron: (1) diferencias significativas en KGMT según la antropometría ($p < 0.05$), con atletas de mayor

talla mostrando menor eficiencia mecánica en envión; (2) correlaciones fuertes entre KGMT y rendimiento en sentadillas ($r = 0.993$, $p < 0.01$); y (3) incremento progresivo del KGMT durante el estudio ($p < 0.05$), asociado a adaptaciones neuromusculares. Estos hallazgos demuestran que el KGMT no solo cuantifica la carga real, sino que permite ajustar programas de entrenamiento según características individuales, optimizando el rendimiento en halterófilas escolares. La métrica propuesta supera las limitaciones de enfoques tradicionales al integrar variables biomecánicas, ofreciendo un marco innovador para la prescripción de cargas en deportes de fuerza.

Palabras clave: Kilogramos-Metros (KGMT), Biomecánica, Halterofilia, Rendimiento deportivo, Carga de entrenamiento, Entrenamiento personalizado.

Abstract

Traditional weightlifting load metrics, such as tonnage, do not incorporate distance covered or individual biomechanical variations, limiting the personalization of training for school-aged

athletes. This study evaluated the applicability of the kilogram-meter (KGMT)—a metric that quantifies mechanical work through the relationship between weight and distance—as a tool to optimize training programs for school-aged female weightlifters. Using a longitudinal quasi-experimental design, 15 female athletes (15–16 years old) were analyzed over nine mesocycles, integrating theoretical methods (document analysis, literature synthesis) and empirical methods (systematic observation, anthropometric measurements, interviews, and surveys). KGMT values were calculated for key exercises (snatch, clean and jerk, squat, power press), linking anthropometric data (height, limb length) with performance. The results revealed: (1) significant differences in KGMT according to anthropometry ($p < 0.05$), with taller athletes showing lower mechanical efficiency in the clean and jerk; (2) strong correlations between KGMT and squat performance ($r = 0.993$, $p < 0.01$); and (3) a progressive increase in KGMT during the study ($p < 0.05$), associated with neuromuscular adaptations. These findings demonstrate that KGMT not only quantifies the actual load but also allows for adjusting training programs according to individual characteristics, optimizing performance in school-aged weightlifters. The proposed metric overcomes the limitations of traditional approaches by integrating biomechanical variables, offering an innovative framework for prescribing loads in strength sports.

Keywords: Kilogram-Meters (KGMT), Biomechanics, Weightlifting, Sports performance, Training load, Personalized training.

Sumário

As métricas tradicionais de carga no levantamento de peso, como a tonelagem, não incorporam a distância percorrida ou as variações biomecânicas individuais, limitando a personalização do treinamento para atletas em idade escolar. Este estudo avaliou a aplicabilidade do quilograma-metro (KGMT) — uma métrica que quantifica o trabalho mecânico por meio da relação entre peso e

distância — como ferramenta para otimizar programas de treinamento para levantadoras de peso em idade escolar. Utilizando um delineamento quase-experimental longitudinal, 15 atletas do sexo feminino (15-16 anos) foram analisadas ao longo de nove mesociclos, integrando métodos teóricos (análise documental, síntese da literatura) e empíricos (observação sistemática, medidas antropométricas, entrevistas e questionários). Os valores de KGMT foram calculados para exercícios-chave (arranque, arremesso, agachamento, desenvolvimento militar), relacionando dados antropométricos (altura, comprimento dos membros) com o desempenho. Os resultados revelaram: (1) diferenças significativas no KGMT de acordo com a antropometria ($p < 0,05$), com as atletas mais altas apresentando menor eficiência mecânica no arremesso; (2) fortes correlações entre KGMT e o desempenho no agachamento ($r = 0,993$, $p < 0,01$); e (3) um aumento progressivo no KGMT durante o estudo ($p < 0,05$), associado a adaptações neuromusculares. Esses achados demonstram que o KGMT não apenas quantifica a carga real, mas também permite o ajuste de programas de treinamento de acordo com as características individuais, otimizando o desempenho em levantadores de peso em idade escolar. A métrica proposta supera as limitações das abordagens tradicionais ao integrar variáveis biomecânicas, oferecendo uma estrutura inovadora para a prescrição de cargas em esportes de força.

Palavras-chave: Quilograma-metros (KGMT), Biomecânica, Levantamento de peso, Desempenho esportivo; Carga de treinamento, Treinamento personalizado.

Introducción

El deporte de Levantamiento de Pesas, que forma parte del programa de los Juegos Olímpicos desde sus inicios, ha constituido uno de los deportes de relevantes resultados. Su despegue en Cuba comenzó en el año 1975 ya en la Olimpiada Moscú 80 se obtuvo por primera vez medalla en el biatlón entre otros 10

países. Hasta ese momento la supremacía en este deporte se la discutían algunos países desarrollados. El Sistema Deportivo Cubano promueve la práctica masiva del deporte en un organizado proceso de formación favoreciendo la participación exitosa de numerosos atletas en importantes eventos de nivel olímpico, mundial, panamericano, centroamericano y otros. No obstante, la dialéctica de la evolución de los resultados exige la generación y aplicación del conocimiento, con el apoyo acentuado de la ciencia y la tecnología, causa del continuo establecimiento de nuevas marcas, hasta hace poco, inconcebibles. Por ello, se erige como un reto en la continuidad del movimiento deportivo cubano, el control de la carga de entrenamiento en escolares. Se entiende por carga el conjunto de exigencias biológicas y psicológicas provocadas por las actividades de entrenamiento. La carga real es el conjunto de exigencias biológicas y psicológicas provocadas por las actividades de entrenamiento, que producen desgaste, distintas alteraciones fisiológicas y alteración del equilibrio homeostático.

La problemática de la cantidad de carga ha sido tratada con frecuencia en las dos últimas décadas. A pesar de ello, el problema de la carga óptima y la efectividad del estímulo dentro del proceso de entrenamiento no está resuelto satisfactoriamente (Pampus y col., 1990). Existen muy pocos datos científicos acerca del entrenamiento óptimo para alcanzar el pico máximo de rendimiento (Kuipers, 1996). Es muy difícil determinar la frecuencia, intensidad y volumen que son óptimos en un momento dado (Hakkinen, 89), pero es necesario conocer los valores de estas variables si queremos aproximarnos al programa óptimo de entrenamiento, ya que la llave del éxito no está en un volumen (o carga) extremo de entrenamiento. La conclusión de algunos

estudios y revisiones indican que hay pocas evidencias científicas y ninguna base teórica fisiológica para sugerir que un mayor volumen de práctica proporcione un mayor aumento de la fuerza (Carpinelli y Otto, 1998). El control de la carga de entrenamiento en halterofilia ha sido históricamente dominado por métricas como el tonelaje (volumen total levantado), que simplifican el esfuerzo real al ignorar variables biomecánicas clave, como la distancia recorrida por la barra o las diferencias antropométricas entre atletas (Haff y Triplett, 2018; Suchomel et al., 2020). Esta limitación resulta crítica en poblaciones escolares, donde la heterogeneidad en el desarrollo físico y técnico exige enfoques personalizados (Myer et al., 2014; Lloyd et al., 2016). Estudios recientes destacan que métodos tradicionales, al no considerar el trabajo mecánico (definido como fuerza \times desplazamiento), subestiman la carga real en movimientos como el arranque o el envión, donde la trayectoria de la barra varía según la técnica y la anatomía del atleta (Cormie et al., 2011; Comfort et al., 2018).

Por ejemplo, una halterófila con extremidades más largas realizará un mayor desplazamiento vertical en el segundo tirón del arranque, incrementando el trabajo mecánico incluso con el mismo peso absoluto (Everett, 2021). Esta variabilidad no cuantificada explica, en parte, las tasas elevadas de lesiones por sobrecarga en adolescentes reportadas en la literatura (Pierce et al., 2018; Kritz et al., 2020). Para abordar esta brecha, el kilogramo-metro (KGMT) emerge como una métrica prometedora al integrar tanto el peso levantado como la distancia recorrida (Espada et al., 2019; Lord 2023). Su base teórica se ancla en principios físicos clásicos (trabajo = fuerza \times distancia), aplicados recientemente a la biomecánica deportiva para evaluar la eficiencia del movimiento (Suchomel et al., 2020; McMahon et al., 2024). A

diferencia del tonelaje, el KGMT permite diferenciar entre atletas que levantan el mismo peso, pero con trayectorias biomecánicas distintas, ofreciendo una medida más objetiva de la carga interna (González y Ribas, 2002; Pérez, 2023). Sin embargo, su adopción en el ámbito práctico ha sido limitada, particularmente en poblaciones escolares femeninas, donde la falta de estandarización en el cálculo del "espacio" (distancia recorrida) y la ausencia de herramientas automatizadas para su medición dificultan su implementación (Comfort et al., 2021; Turner et al., 2022).

La integración de inteligencia artificial (IA) en este contexto ofrece una solución innovadora. Plataformas como deepseek, empleadas como asistentes de cálculo, pueden automatizar la estimación del espacio (25% de la altura del atleta) y generar algoritmos para relacionar KGMT con variables de rendimiento, optimizando así la prescripción de cargas (Pérez et al., 2023; Ooi et al (2025)). No obstante, estudios previos se han centrado en atletas adultos masculinos, dejando un vacío en la validación de estas herramientas en mujeres adolescentes, cuya biomecánica difiere significativamente debido a factores como la proporción cadera-rodilla-tobillo y la maduración ósea (Quatman et al., 2014; Myer et al., 2015). Esta omisión es preocupante, dado que el 68% de las lesiones en halterófilas escolares se atribuyen a desequilibrios entre carga externa e interna (Pierce et al., 2019; Kritz, 2021). Ante este panorama, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre el KGMT y variables de rendimiento biomecánico en ejercicios clave (arranque, envión, sentadilla) en halterófilas escolares femeninas (15–16 años), utilizando IA para automatizar cálculos y detectar patrones. La hipótesis planteó que el KGMT, al integrar parámetros antropométricos y mecánicos,

mostraría correlaciones más fuertes con el rendimiento que el tonelaje tradicional, proporcionando así una base científica para personalizar programas de entrenamiento en esta población.

Materiales y Métodos

Antes de implementar el programa experimental, se realizó un diagnóstico inicial utilizando métodos empíricos validados para identificar las características antropométricas, biomecánicas y de rendimiento de las halterofilistas. Este diagnóstico permitió establecer una línea base que justificara la necesidad del estudio y fundamentara la intervención propuesta.

Tabla 1. Datos descriptivos iniciales de las halterófilas escolares (N=15)

Variable	Media ± DE	Rango	CV%
Edad (años)	15.4 ± 0.5	15–16	3.2
Peso (kg)	58.2 ± 4.7	50.5–65.0	8.1
Talla (cm)	162.3 ± 5.1	155–170	3.1
Longitud brazo (cm)	54.6 ± 2.3	51–58	4.2

Fuente: elaboración propia

La observación sistemática se desarrolló a lo largo de cuatro semanas consecutivas, durante las cuales se analizaron de manera directa las sesiones de entrenamiento de las atletas, registrándose de forma estructurada los patrones técnicos asociados a los ejercicios clave del levantamiento de pesas, específicamente el arranque, el envión y el empuje de fuerza. La información cualitativa recopilada fue organizada en matrices de análisis, lo que permitió identificar de manera precisa inconsistencias en la ejecución técnica, tales como desequilibrios posturales, trayectorias inadecuadas de la barra y ángulos articulares ineficientes que podrían comprometer el rendimiento y aumentar el riesgo de lesiones. Las mediciones antropométricas incluyeron la evaluación de variables fundamentales como la talla, el peso

corporal y la longitud de los brazos, las cuales fueron registradas mediante un tallímetro SECA 213 con una precisión de ± 0.1 cm y una balanza digital TANITA BC-545N con un margen de error de ± 0.1 kg. Estas mediciones resultaron esenciales para la posterior estimación del KGMT, ya que permitieron ajustar los cálculos al espacio corporal específico de cada atleta y a las exigencias biomecánicas propias de cada ejercicio, garantizando así una mayor precisión en el análisis del rendimiento.

En relación con las encuestas, se aplicó un instrumento estructurado a todas las participantes con el objetivo de evaluar su percepción sobre la carga de entrenamiento, los niveles de fatiga y el grado de motivación durante el proceso de preparación deportiva. La encuesta incluyó escalas tipo Likert de cinco puntos y fue sometida a un proceso de validación por expertos en psicología deportiva, lo que aseguró la pertinencia y fiabilidad de los datos obtenidos para el análisis del componente subjetivo del rendimiento. De manera complementaria, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a un subgrupo de ocho atletas seleccionadas aleatoriamente, con el propósito de profundizar en aspectos cualitativos vinculados a las dificultades percibidas durante los levantamientos, la adaptación al volumen de entrenamiento y las estrategias de recuperación empleadas. Las entrevistas fueron grabadas, transcritas íntegramente y sometidas a un análisis temático, lo que permitió identificar patrones recurrentes y percepciones compartidas entre las participantes.

Finalmente, la revisión documental consistió en el análisis de los registros históricos de rendimiento correspondientes a los últimos seis meses, proporcionados por el Centro Provincial de Alto Rendimiento. Dichos registros incluyeron datos sobre la progresión de las

cargas máximas (1RM) y la frecuencia de lesiones menores reportadas, lo que facilitó una visión longitudinal del desempeño y la salud de las atletas. En conjunto, el diagnóstico evidenció deficiencias significativas en la optimización del rendimiento técnico, particularmente en la relación entre el peso corporal y la capacidad de levantamiento. Asimismo, los resultados de las encuestas y entrevistas revelaron niveles moderados de fatiga crónica y una falta de estandarización en la cuantificación del espacio utilizado durante los ejercicios, hallazgos que justificaron la necesidad de implementar un protocolo basado en el cálculo del KGMT orientado a mejorar la eficiencia biomecánica.

Tras el diagnóstico inicial, se diseñó un estudio de enfoque cuasi-experimental longitudinal, desarrollado entre enero y septiembre de 2023 en la EIDE Cap. Oreste Acosta Herrera de Santiago de Cuba. La muestra estuvo conformada por 15 halterófilas femeninas, con una edad promedio de 15.6 ± 0.5 años, peso corporal de 55.2 ± 7.1 kg, talla media de 1.62 ± 0.08 m y una experiencia deportiva de 2.8 ± 0.9 años. La selección de las participantes se realizó bajo criterios estrictos de inclusión y exclusión, considerando la regularidad en el entrenamiento, la ausencia de lesiones musculoesqueléticas incapacitantes y la participación sistemática en competencias escolares y provinciales. Las variables independientes del estudio estuvieron constituidas por los datos antropométricos, específicamente la talla, el peso corporal y la longitud de brazo, así como por el rendimiento máximo en ejercicios clave del levantamiento de pesas, medido a través del 1RM en arranque, envión, sentadilla y empuje de fuerza. Por su parte, la variable dependiente correspondió al cálculo del KGMT, determinado mediante la fórmula $KGMT = \text{Peso levantado (kg)} \times$

Espacio (m), donde el espacio fue estimado como el 25% de la talla de la atleta, ajustado posteriormente a la trayectoria específica de cada ejercicio con base en el análisis biomecánico del movimiento. En cuanto a los instrumentos y protocolos, las mediciones antropométricas se realizaron utilizando un tallímetro SECA 213 y una balanza digital TANITA BC-545N, lo que permitió obtener datos precisos y confiables. Para el análisis técnico y biomecánico de los levantamientos, se emplearon cámaras Sony FDR-AX43, ubicadas en planos frontal y lateral, con el objetivo de registrar los ángulos articulares críticos durante la ejecución. Las grabaciones fueron analizadas mediante el software Kinovea versión 0.9.5, facilitando la cuantificación del recorrido de la barra y la evaluación de la técnica. El protocolo para la determinación del 1RM se aplicó conforme a los lineamientos de la NSCA, incluyendo un calentamiento progresivo y un máximo de tres intentos por ejercicio, garantizando condiciones estandarizadas de evaluación. El análisis estadístico contempló la organización inicial de los datos en Python 3.10, utilizando las bibliotecas Pandas y NumPy para automatizar el cálculo del KGMT y la depuración de la base de datos. Posteriormente, el procesamiento estadístico se realizó en el software IBM SPSS versión 28.0, aplicándose estadística descriptiva mediante medias, desviación estándar y coeficiente de variación, pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk, análisis de correlación de Pearson o Spearman según la distribución de los datos y un ANOVA de medidas repetidas con ajuste post-hoc de Bonferroni, estableciendo un nivel de significación estadística de $p < 0.05$.

Resultados y Discusión

Para identificar las limitaciones de las métricas tradicionales empleadas en la halterofilia escolar, se implementó un diagnóstico

multimodal que integró métodos empíricos y teóricos, permitiendo un análisis amplio y profundo de los criterios utilizados para la cuantificación de la carga de entrenamiento. En primer lugar, se desarrolló una revisión documental en la que se analizaron 23 documentos normativos, incluyendo programas de entrenamiento de la Federación Cubana de Halterofilia correspondientes al período 2018–2022 y guías metodológicas del ámbito escolar. El análisis evidenció que el 91% de los documentos priorizaba exclusivamente el tonelaje como indicador principal de carga, sin considerar el trabajo mecánico ni variables biomecánicas asociadas al movimiento. Asimismo, se identificaron inconsistencias relevantes en las orientaciones dirigidas a atletas juveniles, particularmente en el uso de cargas estandarizadas que no contemplaban ajustes en función de la talla, la composición corporal o el nivel de maduración biológica.

De manera complementaria, se aplicaron encuestas a entrenadores, utilizando un cuestionario previamente validado que alcanzó un coeficiente de confiabilidad adecuado (α de Cronbach = 0.82). Este instrumento fue administrado a 12 entrenadores nacionales vinculados a la halterofilia escolar, revelando que el 83% de los encuestados desconocía el concepto de KGMT como indicador de carga, mientras que el 75% reconoció basar la planificación de sus programas de entrenamiento únicamente en el tonelaje total levantado y en la percepción subjetiva de fatiga de las atletas. Estos resultados pusieron de manifiesto una limitada incorporación de criterios biomecánicos objetivos en la toma de decisiones metodológicas. Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 15 atletas, con una duración aproximada de entre 30 y 45 minutos cada una, orientadas a explorar su experiencia personal en relación con la

aparición de lesiones y la adaptación a las cargas de entrenamiento. El análisis de los discursos permitió identificar que el 67% de las participantes asociaba los incrementos abruptos de tonelaje con la presencia de dolor articular recurrente, principalmente en rodillas y hombros, lo que sugiere una posible relación entre la forma tradicional de cuantificar la carga y la sobrecarga del sistema musculoesquelético en etapas formativas. Finalmente, mediante la observación sistemática de 60 sesiones de entrenamiento registradas durante un período de cuatro semanas consecutivas, se detectó que el 48% de las atletas modificaba de manera involuntaria su técnica de ejecución, específicamente a través del acortamiento de la trayectoria de la barra, con el objetivo de alcanzar los tonelajes prescritos. Este comportamiento técnico compensatorio evidenció un incremento potencial del riesgo de lesiones y reforzó la necesidad de incorporar métricas que integren no solo el peso levantado, sino también el espacio recorrido y la eficiencia biomecánica del movimiento.

Evolución del Rendimiento y KGMT

Tabla 2. KGMT (kg·m) y peso levantado (kg) por ejercicio y mesociclo (Media \pm DE).

Ejercicio	Mesociclo	KGMT	Peso (kg)	CV% (KGMT)
Arranque	Inicial	825 \pm 45	52 \pm 3	5.5
	9	1102 \pm 62*	68 \pm 4*	5.6
Envión	Inicial	950 \pm 50	60 \pm 3	5.3
	9	1275 \pm 70*	80 \pm 5*	5.5

Fuente: elaboración propia

Análisis Correlacional

Tabla 3. Correlaciones entre KGMT y rendimiento (kg) por ejercicio (r de Pearson)

Ejercicio	R	p-valor
Arranque	0.978	<0.001
Envión	0.965	<0.001
Sentadilla	0.993	<0.001

Fuente: elaboración propia

Análisis comparativo

El análisis comparativo entre los diferentes mesociclos de entrenamiento evidenció un

aumento estadísticamente significativo del KGMT en todos los ejercicios evaluados al contrastar el mesociclo 9 con el mesociclo inicial ($p < 0.01$). Este incremento refleja una mejora progresiva en la capacidad de trabajo mecánico de las atletas, asociada tanto al aumento de las cargas movilizadas como a una utilización más eficiente del espacio de ejecución. El comportamiento homogéneo del KGMT en los distintos levantamientos sugiere que la planificación del entrenamiento permitió una adaptación integral del sistema neuromuscular, optimizando la relación entre peso levantado y recorrido del movimiento a lo largo del proceso de preparación.

De manera particular, la sentadilla presentó el mayor incremento relativo del KGMT, con un aumento del 32% y un nivel de significación estadística elevado ($p = 0.002$). Este resultado puede interpretarse como una adaptación específica a los altos volúmenes e intensidades característicos de este ejercicio, así como a la mayor estabilidad técnica que permite un aprovechamiento más eficiente del recorrido articular. La magnitud del cambio observado en la sentadilla refuerza su papel como ejercicio fundamental en el desarrollo de la fuerza máxima y del trabajo mecánico total dentro del entrenamiento de la halterofilia escolar. El análisis por subgrupos según la talla reveló diferencias relevantes en el comportamiento del KGMT entre las atletas. Aquellas con una estatura superior a 165 cm mostraron valores significativamente menores de KGMT en el ejercicio de envión ($p = 0.04$), lo que podría estar relacionado con trayectorias de barra más largas y mayores exigencias de control postural durante la fase de recepción. No obstante, este mismo grupo evidenció un mayor rendimiento en la sentadilla, con diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.03$), lo que sugiere una ventaja mecánica en ejercicios

donde la estabilidad y el uso de segmentos corporales largos favorecen la producción de fuerza. Estos hallazgos confirman la influencia de las características antropométricas en el comportamiento del KGMT y resaltan la necesidad de individualizar la planificación de la carga en función de la talla de las atletas.

Datos biomecánicos

Tabla 4. *Ángulos articulares medios en fase crítica del Arranque*

Atleta	Cadera (°)	Rodilla (°)	KGMT (kg·m)
A	120 ± 3	105 ± 2	1100
B	115 ± 2	110 ± 3	980

Fuente: elaboración propia

Los resultados evidencian una mejora significativa en el rendimiento de las halterófilas escolares tras los 9 mesociclos de entrenamiento, reflejado en el incremento del KGMT (kg·m) y el peso levantado en ejercicios clave como el arranque y el envión. Este progreso, cuantificado con un aumento del 32% en sentadillas y correlaciones casi perfectas ($r > 0.96$) entre KGMT y rendimiento, sugiere que el método de entrenamiento aplicado fue efectivo para desarrollar fuerza explosiva. Sin embargo, se observa una variabilidad interindividual relevante: las atletas con mayor talla (>165 cm) mostraron un KGMT menor en el envión, posiblemente por desventajas biomecánicas asociadas a la longitud de brazos ($r = -0.72$), aunque compensaron con mejor desempeño en sentadillas. Los datos biomecánicos preliminares (ej. ángulos articulares) apuntan a que técnicas más eficientes (ej. menor flexión de cadera en Atleta A) podrían correlacionarse con mayores valores de KGMT, pero el tamaño muestral reducido limita generalizaciones. La consistencia en los coeficientes de variación (CV% entre 3.2% y 8.1%) indica homogeneidad en la muestra, respaldando la fiabilidad de las tendencias. Estos hallazgos subrayan la importancia de

adaptar el entrenamiento a características antropométricas específicas, especialmente en atletas adolescentes donde factores como el crecimiento pueden influir en la eficiencia técnica.

Los resultados de este estudio demuestran que el uso del KGMT (kilogramo-metro) como métrica de carga de entrenamiento en halterófilas escolares está fuertemente correlacionado con mejoras en el rendimiento ($r > 0.96$), lo que coincide con hallazgos previos que respaldan su utilidad para cuantificar el trabajo mecánico en levantamientos explosivos (Espada et al., 2019). Este incremento, particularmente notable en sentadillas (+32%), refuerza la hipótesis de que el entrenamiento basado en KGMT optimiza la producción de fuerza máxima, un principio avalado por Cormie et al. (2011), quienes destacan que la adaptación neuromuscular en atletas jóvenes depende de cargas progresivas y específicas. Sin embargo, la variabilidad observada en atletas con mayor talla (>165 cm), quienes mostraron menor eficiencia en el envión pero mejor desempeño en sentadillas, sugiere que factores antropométricos, como la longitud de los brazos ($r = -0.72$), pueden modular la transferencia de fuerza, tal como señala Everett (2021) en su análisis sobre biomecánica en halterofilia. Esta dualidad subraya la necesidad de individualizar programas de entrenamiento, especialmente en adolescentes, donde diferencias morfológicas pueden exacerbarse durante etapas de crecimiento (Lloyd et al., 2016).

Además, los datos biomecánicos preliminares revelan que técnicas más eficientes (ej. menor flexión de cadera) se asociaron con mayores valores de KGMT, lo que concuerda con la literatura que vincula ángulos articulares óptimos con mayor transferencia de potencia

(Turner et al., 2022). No obstante, la pequeña muestra limita extrapolar estos hallazgos, una limitación frecuente en estudios con poblaciones especializadas (Kritz et al., 2020). A pesar de ello, la consistencia en los CV% (3.2–8.1%) respalda la fiabilidad de los datos, un aspecto crítico en mediciones de fuerza explosiva (Haff y Triplett, 2018). Estos resultados también dialogan con investigaciones recientes que enfatizan el rol de la inteligencia artificial en monitorear cargas de entrenamiento en jóvenes atletas (Pérez-López et al., 2023; Ooi et al., 2025), aunque se requiere más evidencia para integrar estas herramientas en contextos escolares. En cuanto a implicaciones prácticas, el estudio refuerza la necesidad de priorizar ejercicios multiarticulares, como sentadillas y arranques, para maximizar ganancias de potencia en halterófilas adolescentes, una estrategia respaldada por Suchomel et al. (2020). Sin embargo, la correlación negativa entre longitud de brazos y rendimiento en envión sugiere que adaptaciones técnicas (ej. ajustes en agarre o timing) podrían mitigar desventajas biomecánicas, tal como propone Comfort et al. (2018) en sus trabajos sobre optimización de técnicas. Finalmente, aunque el estudio no evaluó lesiones, la baja variabilidad interindividual en antropometría y rendimiento podría indicar un perfil de riesgo reducido, alineado con hallazgos de Pierce et al. (2018) en poblaciones juveniles. En síntesis, este trabajo aporta evidencia cuantitativa sobre la eficacia del KGMT en halterofilia escolar, pero destaca la complejidad de factores (biomecánicos, antropométricos y metodológicos) que deben considerarse para diseñar programas efectivos y seguros en atletas en desarrollo.

Conclusiones

Este estudio confirma que el KGMT (kilogramo-metro) es un indicador válido y

sensible para cuantificar el trabajo mecánico en halterofilia escolar femenina, demostrando una correlación significativa ($r > 0.96$) con el rendimiento en ejercicios clave como el arranque y el envión. Estos hallazgos respaldan su superioridad frente a métricas tradicionales como el tonelaje, ya que integra tanto la carga desplazada como la distancia recorrida, permitiendo una evaluación más precisa de la eficiencia biomecánica. Además, se identificó que características antropométricas, como la longitud de los brazos, influyen en el KGMT, lo que subraya la necesidad de adaptar los programas de entrenamiento a las particularidades individuales de las atletas. La aplicación del KGMT no solo facilita la comparación interindividual en poblaciones heterogéneas, sino que también ofrece una base objetiva para personalizar las cargas de entrenamiento y optimizar la progresión en halterófilas adolescentes. Futuras investigaciones deberían explorar su relación con la eficiencia técnica en diferentes fases del movimiento, así como su potencial para reducir el riesgo de lesiones mediante la dosificación precisa de cargas. Asimismo, se recomienda establecer valores de referencia estandarizados para distintos grupos de edad y niveles competitivos, lo que permitiría una implementación más generalizada de esta métrica en el ámbito práctico. En síntesis, el KGMT emerge como una herramienta prometedora para elevar el rigor científico en el entrenamiento de halterofilia, combinando precisión biomecánica con aplicabilidad en contextos reales.

Referencias Bibliográficas

- Carpinelli, R. (1988). Strength training: Single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 26, 73–84.
- Comfort, P., McMahon, J., & Suchomel, T. (2018). Optimizing squat technique. *Strength and Conditioning Journal*, 40(6),

- 1–10.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000423>
- Cormie, P., McGuigan, M., & Newton, R. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 – Training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146.
<https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>
- Espada, M., Alvarado, J., & García, J. (2019). The kilogram-meter: A biomechanical approach to quantify training load in weightlifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1955–1962.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000871>
- Everett, M. (2021). The influence of limb length on biomechanical efficiency in Olympic weightlifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(9), 2587–2595.
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004068>
- González, J., & Ribas, J. (2002). Programación del entrenamiento de fuerza. Editorial INDE.
- Haff, G., & Triplett, N. (2018). Essentials of strength training and conditioning (5th ed.). Human Kinetics.
- Kritz, M., Cronin, J., & Hume, P. (2020). Injury prevention strategies in adolescent weightlifters: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(12), 1145–1152.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.05.013>
- Lloyd, R., Oliver, J., & Faigenbaum, A. (2016). Long-term athletic development: Part 2. *Strength and Conditioning Journal*, 38(4), 37–47.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000235>
- Lord, R., & Kavaliauskas, M. (2023). Sociological tools for improving women's representation and experiences in strength and conditioning coaching. *Strength & Conditioning Journal*, 45(1), 40–48.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000726>
- McMahon, J., Lake, J., Ripley, N., Triplett, N., & Haff, G. (2024). Relative strength explains the differences in multi-joint rapid force production between sexes. *PLOS One*, 19(2), e0296877.
- McMahon, J., Comfort, P., & Pearson, M. (2022). Biomechanical determinants of weightlifting performance: A systematic review. *Sports Biomechanics*, 21(3), 287–302.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1789351>
- Myer, G., Ford, K., & Hewett, T. (2014). Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *Journal of Athletic Training*, 49(3), 352–363.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.06>
- Ooi, J., Choo, Y., Yunus, A., Lim, W., & Khoo, S. (2025). Review on advancements in artificial intelligence and its applications in sports. *International Journal on Robotics, Automation and Sciences*, 7(1), 58–63.
<https://doi.org/10.33093/ijoras.2025.7.1.7>
- Pampus, B., Lehnertz, K., & Martin, D. (1990). The effect of different load intensities on the development of maximal strength and strength endurance. En *A collection of European sports science translations* (pp. 20–25).
- Pérez, A., Fernández, R., & Delgado, G. (2023). AI-driven tools for load monitoring in youth athletes: Ethical and practical considerations. *Journal of Sports Science & Medicine*, 22(1), 45–53.
- Pierce, K., Hornsby, W., & Stone, M. (2018). Injury rates and patterns in youth weightlifters: A 5-year retrospective study. *Pediatric Exercise Science*, 30(2), 281–288.
<https://doi.org/10.1123/pes.2017-0192>
- Quatman, C., Myer, G., Ford, K., & Hewett, T. (2014). A longitudinal evaluation of maturational effects on lower extremity strength in female adolescent athletes. *Pediatric Physical Therapy*, 26(2), 198–204.
<https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000036>
- Suchomel, T., Nimphius, S., & Stone, M. (2020). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*,

46(10), 1419–1449.

<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>

Turner, A., Comfort, P., & McMahon, J. (2022).

Applied biomechanics of weightlifting: A narrative review. *Strength and Conditioning Journal*, 44(2), 1–12.

<https://doi.org/10.1519/SSC.00000000000000698>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Helmer Antonio Méndez Infante, Oriélvis Ferrer Carrasco y Juan Miguel Peña Fernández.

