

08



EFFECTO DEL PLAN

**DE ENTRENAMIENTO EN LA TÉCNICA DE EJERCICIOS
DE MUSCULACIÓN MULTIARTICULARES: ANÁLISIS
BIOMECÁNICO**

EFFECTO DEL PLAN

DE ENTRENAMIENTO EN LA TÉCNICA DE EJERCICIOS DE MUSCULACIÓN MULTIARTICULARES: ANÁLISIS BIOMECÁNICO

EFFECT OF THE TRAINING PLAN ON THE TECHNIQUE OF MULTI-JOINT BODYBUILDING EXERCISES: BIOMECHANICAL ANALYSIS

Kevin Daniel Bustillos-Gaona¹

E-mail: kevin.bustillos.99@est.ucacue.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4668-0216>

Helder Guillermo Aldas-Arcos¹

E-mail: hgaldasa@ucacue.edu.ec

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8389-5473>

¹ Universidad Católica de Cuenca. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Bustillos-Gaona, K. D., & Aldas-Arcos, H. G. (2024). Efecto del plan de entrenamiento en la técnica de ejercicios de musculación multiarticulares: Análisis biomecánico. *Revista Mexicana de Investigación e Intervención Educativa*, 3(2), 71-80.

RESUMEN

El objetivo del artículo es evaluar el efecto de la implementación de un plan de entrenamiento para la ejecución técnica de los ejercicios multiarticulados a través del análisis biomecánico. La investigación es de tipo cuasiexperimental con un enfoque cuantitativo de corte longitudinal, aplicado a dos grupos uno experimental (GE) compuesto por 6 varones y 4 mujeres (edad= 28 años \pm 2.5 años) y otro de control (GC) conformado por 6 varones y 4 mujeres (edad= 26 años \pm 4.03 años). Los resultados mediante un análisis biomecánico, después de aplicar un plan de entrenamiento con ejercicios multiarticulados y auxiliares con una duración de 4 semanas, evidencian una mejora estadísticamente significativa ($p < 0.05$) del GE en el press en banco plano (PB) durante la fase excéntrica en el ángulo de hombro ($p = 0.005$) y ángulo de rodilla ($p = 0.017$); de igual manera en la sentadilla con barra (SB) en la fase inicial el centro de gravedad (CG) presenta una diferencia significativa en las coordenadas del eje Y ($p = 0.045$); asimismo, durante la fase de descenso en el ángulo de cadera ($p = 0.000$), ángulo de rodilla ($p = 0.001$) y el eje Y ($p = 0.000$) del centro de gravedad.

Palabras clave:

Biomecánica, planificación, deporte, aprendizaje activo, enseñanza centrada en el rendimiento.

ABSTRACT

The objective of this article is to evaluate the effect of the implementation of a training program for the technical execution of multi-joint exercises through biomechanical analysis. The research is quasi-experimental with a longitudinal quantitative approach, applied to two groups, one experimental (EG) made up of 6 men and 4 women (age = 28 years \pm 2.5 years and another control group (CG) made up of 6 men and 4 women (age = 26 years \pm 4.03 years). The results through a biomechanical analysis, after applying a training program with multi-articulated and auxiliary exercises lasting 4 weeks, show a statistically significant improvement ($p < 0.05$) of the EG in the flat bench press (BP) during the eccentric phase in the shoulder angle ($p = 0.005$) and knee angle ($p = 0.017$); Likewise in the barbell squat (BS) in the initial phase the center of gravity (CG) presents a significant difference in the coordinates of the Y axis ($p = 0.045$); Likewise, during the descent phase in the hip angle ($p = 0.000$), knee angle ($p = 0.001$) and the Y axis ($p = 0.000$) of the center of gravity.

Keywords:

biomechanics, planning, sport, active learning, performance-focused teaching.

INTRODUCCIÓN

El auge de la musculación ha impulsado a los gimnasios a ofrecer alternativas de entrenamiento que satisfagan las demandas de los usuarios. Este estudio se centra en analizar los efectos de un plan de entrenamiento sobre la técnica de ejecución de ejercicios multiarticulares mediante un análisis biomecánico.

La contratación de entrenadores en gimnasios ha aumentado, aunque muchos de ellos no poseen formación académica en el área (Mariño et al., 2022). Un estudio español reveló que el 40% de los instructores no tienen título profesional (Bargueño, 2018), lo que evidencia una falta de conocimientos en planificación, principios de entrenamiento y técnica deportiva (Salgado et al., 2017). Este escenario puede generar riesgos para la salud de los usuarios y limita la eficacia del entrenamiento.

Las técnicas de entrenamiento son importantes para que los deportistas alcancen su mejor rendimiento. Es esencial que este proceso sea sistemático y basado en modelos establecidos para ejecutar movimientos de manera eficiente y efectiva (Camacaro et al., 2021). El campo de la biomecánica deportiva, tiene un papel importante en la evaluación de la técnica analizando la relación entre la fuerza y su impacto en el cuerpo humano durante las acciones físicas (Quintanilla et al., 2020). Este análisis contribuye a identificar y corregir errores en la ejecución de movimientos, previniendo lesiones durante la actividad física (AF) (Infante et al., 2021).

La planificación del entrenamiento basada en principios científicos, biológicos y pedagógicos tienen importancia para maximizar el rendimiento deportivo, por tal motivo es esencial que el entrenador reconozca y respete estos procesos para crear un plan bien estructurado que atienda las necesidades individuales de cada atleta (Issurin, 2019). Combinando una adecuada preparación física con un análisis biomecánico de los movimientos se pueden conseguir mejoras significativas en la técnica del deportista y, en consecuencia, en su rendimiento general.

Si bien existen fundamentos teóricos y metodológicos sobre los efectos del plan de entrenamiento sobre la técnica de ejercicios de musculación multiarticulares desde la biomecánica, estos no han sido ampliamente abordados en el contexto ecuatoriano, particularmente en la ciudad de Cuenca.

Por lo anteriormente planteado, el problema científico es ¿Cuál es el efecto de un plan de entrenamiento para la técnica de los ejercicios de musculación multiarticulares desde un análisis biomecánico? Para contribuir con una solución a la problemática planteada anteriormente se declara como objetivo evaluar el efecto de la implementación de un plan de entrenamiento para la ejecución técnica de los ejercicios multiarticulados a través del análisis biomecánico.

Para dar cumplimiento a este objetivo y desarrollar el presente estudio se declaran los siguientes objetivos específicos: fundamentar las variables independiente y dependiente por medio de una revisión bibliográfica orientada a la temática a ser investigada; Identificar el nivel de la técnica de ejecución de los ejercicios multiarticulares a través del análisis biomecánico antes de la implementación del plan de entrenamiento; valorar el efecto posterior a la culminación del plan de entrenamiento en la ejecución técnica de los ejercicios multiarticulados mediante un análisis biomecánico al término.

La planificación del entrenamiento deportivo es un proceso que consiste en organizar y distribuir el trabajo de una persona o deportista de una forma sistemática y racional, orientado a un determinado objetivo (Díaz, 2008). Los modelos de planificación son variados, se los puede dividir en 3 etapas que son la preparación, competición y transición (Matveyev, 2001), o en bloque básico, especial y competitivo (Verkhoshansky, 2018), así también en una planificación anual con macrociclos, mesociclos y microciclos; y una periodización del entrenamiento de las capacidades físicas (Bompa & Buzzichelli, 2021).

Por su parte el Colegio Americano de Medicina del Deporte, el cual se asume para continuar con el estudio, concibe a un plan de entrenamiento como un documento específico de la AF que un individuo deberá cumplir con la finalidad de lograr sus metas, ya sea por salud o determinado deporte, además estará conformado por evaluaciones iniciales y periódicas, planificaciones que describan las cargas de trabajo, medios, objetivos para el cual está dirigido el entrenamiento y capacidades físicas a ser desarrolladas (American College of Sports Medicine, 2021).

Ejercicios de musculación

Inicialmente los ejercicios de musculación se pueden definir como (AF) en la que se involucra la contracción muscular contra una resistencia externa cuyo objetivo es mejorar la fuerza, potencia, resistencia muscular, hipertrofia muscular, mediante pesas libres, máquinas de musculación o con el propio peso corporal (American College of Sports Medicine, 2021). Estos ejercicios son clasificados en multiarticulares cuando se involucran dos o más grupos musculares para actuar en varias articulaciones de manera simultánea; y monoarticulares que implica la contracción de los músculos sobre una sola articulación (Geantă & Herlo, 2020; Gonzaga et al., 2022).

Por otro lado, es esencial definir que es el tren superior y tren inferior. En primer lugar el tren superior está constituido por varios músculos como los pectorales, los deltoides, dorsal, los bíceps, los tríceps, entre otros; mientras que los grupos musculares del tren inferior de mayor importancia son los glúteos, aductores, isquiotibiales, cuádriceps, gastrocnemio y soleo (Pila & Morán, 2015). Para trabajar los músculos del tren superior se puede realizar

press en banco plano, inclinado y declinado, flexiones de codo, fondos en paralelas, remos, cruces con poleas; mientras que para ejercitar el tren inferior están las sentadillas y sus variantes, curl de isquiotibiales, extensiones de rodilla, press de piernas, elevaciones de talón, peso muerto y sus variantes, hip thrust, zancadas, (Delavier, 2023).

Biomecánica del movimiento humano

Biomecánica, etimológicamente proviene de “bios” que significa vida, y “mecánica” como ciencia que estudia las fuerzas y su efecto al aplicarlas sobre el cuerpo humano durante un movimiento, según las posiciones, planos y ejes corporales (Quintanilla et al., 2020), mediante la cinemática, cinética y técnicas complementarias a través de análisis en videos 2D y una reconstrucción en 3D utilizando softwares como KINOVEA lo que permite observar la posición anatómica, desplazamiento del centro de gravedad, tiempo, velocidad lineal y angular, posición angular, ángulo de recorrido, aceleración lineal y angular, entre otros (Aguado, 2019) esto ayuda a corregir la técnica para un mejor desarrollo del deportista (Infante et al., 2021).

Biomecánica de la técnica del press en banco plano y sentadilla con barra

En primer lugar, en el press en banco plano intervienen directamente los pectorales, tríceps, deltoides (Metzger et al., 2012), y otras estructuras anatómicas que dan soporte a la acción, como la espalda, cadera, cintura, piernas, que deben cumplir ciertos parámetros en este movimiento, para lograr una mejor técnica deportiva (Delavier, 2023).

La técnica del ejercicio consiste en levantar una barra con ambos brazos en posición decúbito supino sobre el banco, las manos a una distancia biacromial, flexionando el hombro hasta que la barra toque levemente el pecho, lo que implica mayor activación de las fibras musculares del pectoral mayor y tríceps braquial (Stastny et al., 2017), realizando una retracción escapular, glúteos apoyados en el banco, rodillas flexionadas y los pies fijos en el suelo realizando un leg drive activo, asimismo la barra realiza un movimiento en forma de arco dirigido hasta la zona del pectoral bajo; teniendo en cuenta a los pectorales referencia, las fases del movimiento del press en banco plano son 2, fase excéntrica cuando el pectoral se encuentra en extensión y fase concéntrica cuando el pectoral estará en contracción (Guaje et al., 2023; Sotelo, 2023).

En segundo lugar, la sentadilla con barra es un ejercicio multiarticular que implica la activación de los cuádriceps, isquiotibiales, glúteo y espalda como actores directos, mientras que los músculos estabilizadores del tronco (recto abdominal, oblicuo y soleo) están involucrados de forma indirecta (López et al., 2022) así como cambios producidos por factores cinéticos y cinemáticos. Métodos:

Se utilizaron los lineamientos de la declaración PRISMA y de calidad metodológica de la declaración STROBE. Se incluyeron artículos originales encontrados en bases de datos Scopus, PubMed, Scielo y Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL). Asimismo, se ha demostrado que los músculos gastrocnemios, lumbares y paravertebrales están activados cuando se ejecuta una sentadilla, de tal forma que el cuerpo equilibre las fuerzas que intervienen (Pila & Morán, 2015). Sin embargo, los músculos que se involucran en el movimiento dependerá de la posición de los pies, ángulos de flexión de las articulaciones, velocidad lo que a su vez condicionara la ubicación del centro de gravedad del deportista (Moreno Martínez et al., 2022).

Para realizar correctamente una sentadilla, se debe considerar 3 fases del movimiento: inicial, descenso y ascenso. Primeramente colocar la barra sobre los trapecios, las piernas separadas al ancho de los hombros con una ligera rotación externa de los pies, rodillas y cadera en posición anatómica neutra, la columna deberá estar en posición vertical respetando la curvatura de la misma y la posición del centro de gravedad durante el ejercicio (Moreno Martínez et al., 2022); posteriormente se debe flexionar rodillas hasta que los isquiotibiales sobrepasen la línea paralela al suelo es decir a 90° o menos, donde habrá una mayor activación de los glúteos, menos estrés de la articulación de la rodilla previniendo lesiones, para posteriormente extender las rodillas y volver a la posición inicial de pie (Prieto González et al., 2022; Ruiz et al., 2023).

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de esta investigación es *cuasiexperimental, de corte longitudinal y con un enfoque cualitativo*, realizado para evaluar el efecto de la implementación de un plan de entrenamiento de 4 semanas en la ejecución técnica de los *ejercicios multiarticulares* a través del análisis *biomecánico* del *press en banco plano (PB) orientado a los ángulos (α) del codo (C) en extensión en la fase concéntrica, hombro (H) en flexión durante la fase excéntrica, además de la rodilla (R) y tobillo (TB) en ambas fases*; por otro parte en la *sentadilla con barra (SB)* se consideraron los ángulos (α) *de cadera (Ca) y rodilla (R)*, durante la *fase inicial y fase de descenso* además del desplazamiento del *centro de gravedad (CG)*. Estos análisis se efectuaron mediante una evaluación *pretest (p-t) inicial* y un *retest (r-t) final* para ambos ejercicios.

Contexto y población

El estudio se desarrolló durante los meses de diciembre de 2023 y enero de 2024, con una población de estudio de 20 sujetos, 12 hombres y 8 mujeres, para el grupo experimental (GE) se tomaron en cuenta a 6 varones y 4 mujeres (edad= 28 años ± 2.5 años), mientras que el grupo de control (GC) está conformado por 6 varones y 4 mujeres (edad= 26 años ± 4.03 años) seleccionados de

manera intencional, a los grupos, previo consentimiento informado, se les aplicó p-t mediante el análisis biomecánico que valoró los α de las distintas articulaciones durante el PB y SB, así como el desplazamiento del CG en la SB; seguidamente se desarrolló con una frecuencia de 4 semanas el programa de ejercicios específicos para trabajo de tren superior e inferior aplicado al GE, posterior a esto se aplicó el r-t mediante el análisis biomecánico y finalmente se analizó los resultados y determinó el efecto en el GE a consecuencia del plan de entrenamiento.

Para el desarrollo y recopilación de información en el presente estudio se emplearon entre los principales métodos, técnicas e instrumentos los siguientes:

- Revisión bibliográfica: aplicado para el estudio de los fundamentos teóricos y metodológicos acerca del entrenamiento de la técnica de los ejercicios multiarticulados y de su análisis desde la biomecánica, se investigó de fuentes confiables que se encuentran publicados de forma física y digital, para ello se revisaron 20 artículos científicos y 8 libros en inglés/español, comprendidos entre los años del 2001 al 2023.
- Histórico lógico: este método se aplicó para el estudio cronológico de los fundamentos teóricos y metodológicos de las orientaciones, recomendaciones acerca del entrenamiento de la técnica de los ejercicios multiarticulados y de su análisis desde la biomecánica.
- Analítico-sintético: se empleó en la identificación de la situación problemática, la determinación de los fundamentos teóricos y metodológicos acerca del entrenamiento de la técnica de los ejercicios multiarticulados y de su análisis desde la biomecánica, en el diagnóstico, a partir del procesamiento de instrumentos y en el análisis de los resultados obtenidos del diagnóstico.
- Deductivo: aplicado para el estudio de los principales fundamentos teóricos y metodológicos referente del entrenamiento de la técnica de los ejercicios multiarticulados y de su análisis desde la biomecánica, los cuales se abordaron desde lo general a lo particular y singular para establecer las ideas centrales y fundamentar de manera precisa.
- Software Kinovea: se realizó un análisis cinemático, a través del software KINOVEA, de la posición angular de las distintas articulaciones durante la fase concéntrica y excéntrica del movimiento del press de banco plano desde un plano sagital, ángulo del codo en extensión (fase concéntrica), ángulo del hombro en extensión (fase excéntrica), ángulo de la rodilla y tobillo (fase

concéntrica y fase excéntrica). Por su parte, durante la ejecución de la sentadilla con barra desde un plano sagital se analizó en la fase de inicial y de descenso los ángulos de cadera y rodilla, el desplazamiento del centro de gravedad (CG) en sistema de coordenadas cartesianas X,Y para las dos fases evaluadas.

- Observación: con la finalidad de constatar los resultados durante el análisis biomecánico a través de Kinovea, se utilizó como instrumento una ficha de observación para registrar datos donde de los ángulos y coordenadas respectivas de cada ejercicio para un posterior análisis estadístico.
- Métodos estadístico-matemáticos: aplicados a través de la estadística descriptiva e inferencial, que incluye el análisis porcentual, las tablas de normalidad y las tablas T student para el análisis de los datos recopilados a partir de la aplicación de los métodos y las técnicas de carácter empírico acerca de los efectos del plan de entrenamiento sobre la técnica de ejercicios de musculación multiarticulares analizados desde la biomecánica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis estadístico de las características sociodemográficas del GE y GC se obtuvieron los siguientes resultados: GE compuesto por 6 varones y 4 mujeres (edad= 28 años \pm 2.5 años; estatura= 1.62 \pm 0.07 m; masa = 67.7 \pm 11.2 kg); el GC estuvo conformado por 6 varones y 4 mujeres (edad= 26 años \pm 4.03 años; estatura= 1.61 \pm 0.08 m; masa = 64.1 \pm 8.1 kg).

El primer ejercicio evaluado fue el press en banco plano (PB), dividido en dos fases: concéntrico y excéntrico. Se analizaron los ángulos del codo (α C) en fase concéntrica, hombro (α H) fase excéntrica, rodilla (α R) y tobillo (α TB) en ambas fases.

Como se observa en la tabla 1, en el análisis biomecánico del PB por medio de la tabla descriptiva de la fase concéntrica del GE se evidenció que la M del p-t en comparación con la M del r-t de los α C y α R fueron mayores (α C p-t= 168.2° > r-t= 166.1°; α R p-t= 102.2° > r-t= 92.4°), mientras que el α TB p-t tuvo una M menor que en el r-t (α TB p-t= 236° < r-t= 240.1°). Por otro lado, en el GC el α C y α TB obtuvieron una M p-t menor que la M r-t (α C p-t=167.6° < r-t=168°; α TB p-t= 241.6° < r-t= 243.5°), La M p-t del α R fue mayor que la M r-t (α R p-t= 92.5° > r-t= 91.3°).

Tabla 1. Resultados descriptivos fase concéntrica en PB para GE y GC.

α	GE						GC					
	P-t			R-t			P-t			R-t		
	C	R	TB	C	R	TB	C	R	TB	C	R	TB
M	168.2	102.2	236.0	166.1	92.4	240.1	167.6	92.5	241.6	168.0	91.3	243.5
Min	162.9	76.4	223.3	159.7	77.8	225.4	156.1	79.6	225.4	164.2	81.6	231.2
Max	172.0	122.1	264.8	172.3	122.1	272.2	175.6	107.1	256.9	173.4	101.4	256.1

P-t = pretest, R-t = retest, α = ángulo, C = codo, R = rodilla, TB = tobillo

Posteriormente se procedió a realizar una prueba de normalidad Shapiro-Wilk a las variables evaluadas para determinar el tipo de distribución, como resultado se concluyó que tuvieron una distribución normal ($p \geq 0.05$) en todas sus variables del **PB** en **fase concéntrica**, por tal motivo al ser variables con una distribución normal se analizaron con una prueba T de student de muestras relacionadas.

En la prueba T para muestras relacionadas de las variables de cada grupo de estudio durante la **fase concéntrica del PB** no se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$), ya que para el **GE** se evidenciaron valores de los αC ($p = 0.17$), αR ($p = 0.06$) y αTB ($p = 0.06$) y el **GC** αC ($p = 0.79$), αR ($p = 0.40$) y αTB ($p = 0.29$).

El análisis descriptivo de la **fase excéntrica** en el **PB**, presente en la tabla 2, el **GE** reveló que la M de los αH y αTB del p-t fueron menores que la M del r-t (αH p-t = $44.05^\circ < r-t = 52.14^\circ$; αTB p-t = $238.5^\circ < r-t = 242.8^\circ$), el αR p-t fue mayor que en el r-t (αR p-t = $102.06^\circ > r-t = 89.8^\circ$). Por otra parte en el **GC** el αH y αR mostraron una M p-t menor que la M r-t (αH p-t = $45.07^\circ < r-t = 46.4^\circ$; αR p-t = $92.15^\circ < r-t = 93.33^\circ$), La M del αTB p-t fue mayor que la M r-t (αTB p-t = $242.52^\circ > r-t = 241.68^\circ$).

Tabla 2. Resultados descriptivos fase excéntrica en PB para GE y GC.

α	GE						GC					
	P-t			R-t			P-t			R-t		
	H	R	TB	H	R	TB	H	R	TB	H	R	TB
M	44.05	102.06	238.51	52.14	89.81	242.08	45.07	92.15	242.52	46.4	93.33	241.68
Min	28.3	75.8	222	44.7	75.3	223.1	38.7	78.6	228.30	40	82.2	228
Max	52.6	122.3	265.1	65.3	104.7	272.5	51.4	106.5	261.1	50.1	105.4	255.6

P-t = pretest, R-t = retest, α = ángulo, H = hombro, R = rodilla, TB = tobillo

Posteriormente, se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk a las variables del **PB fase excéntrica** con resultado de distribuciones normales ($p \geq 0.05$), por tal motivo las variables fueron analizadas con una prueba T de student para muestras relacionadas.

La prueba T en la fase excéntrica del PB para el GE mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) para los αH ($p = 0.005$) y αR ($p = 0.017$), mientras que el αTB ($p = 0.464$) no presentó una diferencia significativa. El análisis del GC presentaron un valor $p > 0.05$ y se concluyó que no tuvieron diferencias significativas (αC $p = 0.448$; αR $p = 0.33$ y αTB $p = 0.604$).

El siguiente ejercicio evaluado fue la sentadilla con barra (SB), dividida en dos fases: inicial y de descenso. Se analizaron los ángulos de la cadera (αCa) y rodilla (αR), así como el centro de gravedad (CG) en coordenadas X & Y para cada fase.

Los resultados descriptivos presentes en la tabla 3 mostraron que en la fase inicial en SB para el GE la M de los αCa y αR en el p-t fueron mayores a la M del r-t (αCa p-t = $167.5^\circ > r-t = 166.3^\circ$; αR p-t = $163.8^\circ > r-t = 162.3^\circ$). Mientras que en el GC el αCa p-t y r-t obtuvieron una media similar (αCa p-t = $168.7^\circ > r-t = 167^\circ$), mientras que la M del αR p-t fue menor que la M r-t (αR p-t = $162.2^\circ < r-t = 163^\circ$).

Tabla 3. Resultados descriptivos de los ángulos fase de inicial en SB para GE y GC.

α	GE				GC			
	P-t		R-t		P-t		R-t	
	Ca	R	Ca	R	Ca	R	Ca	R
M	167.5	163.8	166.3	162.3	168.7	162.2	167.0	163.0
Min	154.1	155.2	159.4	153.1	153.1	150.3	155.1	152.6
Max	178.9	172.8	172.5	170.2	174.7	170.1	173.1	169.2

P-t = pretest, R-t = retest, α= ángulo, C = hombro, R = rodilla

Se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk a las variables de cadera y rodilla del **GE** y **GC** para la *fase inicial* en SB. Los resultados indicaron que las variables presentaron una distribución normal ($p \geq 0.05$). En consecuencia, se utilizó una prueba T de Student para analizar las variables normales.

Los resultados de la prueba T para muestras relacionadas en SB fase inicial del GE y GC, se observó que en el GE no existió una diferencia significativa ($p < 0.05$) para ninguna variable (α Ca $p=0.29$; α R $p=0.51$). El análisis del GC concluyó que tampoco existieron diferencias significativas (α Ca $p=0.38$ y α R $p=0.21$).

El análisis del CG en la fase de inicial de la SB presentes en la tabla 4, en el cual se utilizó las coordenadas del plano cartesiano (X, Y) medidos en metros (m), por consiguiente, se obtuvieron los siguientes resultados descriptivos del GE que evidenció que la M de las coordenadas X & Y del p-t es mayor al r-t ((0.08,0.71) > (0.07,0.70)); el GC indica que la coordenada X en el p-t es mayor a la del r-t (X p-t= 0.11 > r-t= 0.1), mientras que la coordenada Y es igual en ambos test (Y p-t=0.66, r-t= 0.66).

Tabla 4. Resultados descriptivos CG fase inicial de SB para GE y GC.

Coord.	GE				GC			
	P-t		R-t		P-t		R-t	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
M	0.08	0.71	0.07	0.70	0.11	0.66	0.10	0.66
Min	0.03	0.62	0.03	0.62	0.07	0.63	0.07	0.62
Max	0.13	0.76	0.10	0.76	0.14	0.74	0.13	0.76

P-t = pretest, R-t = retest, Coord. = coordenadas, X = eje x, Y = eje Y

Se evaluó la normalidad de las variables del **CG** de coordenadas (X, Y) en el p-t y r-t del **GE** y **GC** durante la *fase inicial* mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados demostraron una distribución normal para las variables analizadas ($p \geq 0.05$). En consecuencia, se aplicó la prueba T de Student para comparar las medias de las variables normales entre los grupos **GE** y **GC**.

Los resultados de la prueba T para muestras relacionadas (p-t y r-t) del CG en la *SB fase inicial* del **GE** y **GC** muestra que en el **GE** no existió una diferencia significativa ($p < 0.05$) para el eje X ($p=0.160$) mientras que para el eje Y si hay variación significativa ($p=0.045$). El análisis del **GC** concluyó que no existieron diferencias significativas para el eje X ($p=0.053$) ni para el eje Y ($p=0.523$).

En el análisis descriptivo de la fase de descenso en SB, evidenciados en la tabla 5, expusieron que en el GE las M de los α Ca y α R del p-t son mayores a las M del r-t (α Ca p-t= $71^\circ > r-t= 68.8^\circ$; α R p-t= $70.7^\circ > r-t= 67.9^\circ$). De igual manera, en el GC se evidenció que las M de los α Ca y α R del p-t son mayores a las M del r-t (α Ca p-t= $72.3^\circ > r-t= 71.3^\circ$; α R p-t= $70.98^\circ > r-t= 70.2^\circ$).

Tabla 5. Resultados descriptivos de los ángulos fase de descenso en SB para GE y GC.

α	GE				GC			
	P-t		R-t		P-t		R-t	
	Ca	R	Ca	R	Ca	R	Ca	R
M	71,0	70,7	68,8	67,9	72,3	70,98	71,3	70,2
Min	65,9	68,3	64,7	63,8	68,3	64,6	67,2	64,4
Max	76,4	72,5	73,3	70,2	76,2	76,6	75,2	75,3

P-t = pretest, R-t = retest, α = ángulo, Ca = cadera, R = rodilla

Se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk a las variables de cadera y rodilla de la **fase de descenso** del **GE** y **GC** en el pre y retest, y se determinó que el tipo de distribución es una distribución normal ($p \geq 0.05$), en virtud de esto, se aplicó una prueba T de Student para los grupos **GE** y **GC**.

El análisis de la prueba T para el **GE** durante la **fase de descenso** en p-t y r-t evidenció que si existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el α Ca ($p = 0.000$) y α R ($p = 0.001$). De igual forma el **GC** presentó diferencias significativas para la variable para el α Ca ($p = 0.020$) y α R ($p = 0.001$).

El análisis del **centro de gravedad (CG)** en la **fase de descenso**, observados en la tabla 6, se realizó en la misma unidad de medida (m) de la fase inicial, utilizando las coordenadas del plano cartesiano (X, Y). A partir de esto, se obtuvieron los siguientes análisis descriptivos: el **GE** obtuvo una M de las coordenadas X del p-t menor al r-t ($0.08 < 0.09$), la M del eje Y en el p-t fue mayor al r-t ($0.44 > 0.42$). El **GC** indica que las coordenadas X & Y en el p-t fueron mayores a las M del r-t ($(0.09, 0.45) > (0.08, 0.44)$).

Tabla 6. Resultados descriptivos CG fase de descenso en SB para GE y GC.

	GE				GC			
	P-t		R-t		P-t		R-t	
Coord.	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
M	0,08	0,44	0,09	0,42	0,09	0,45	0,08	0,44
Min	0,02	0,40	0,02	0,39	0,06	0,38	0,06	0,40
Max	0,12	0,50	0,14	0,48	0,11	0,53	0,10	0,52

P-t = pretest, R-t = retest, Coord. = coordenadas, X = eje x, Y = eje Y

Posteriormente se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk a la variable de coordenadas (X, Y) para el pre y retest al **GE** y **GC** se determinó que ambos grupos presentaron una distribución normal ($p \geq 0.05$), como consecuencia las variables normales se las analizaron con una prueba T de student.

Una vez realizado un análisis, se evidenció que el **CG** para el **GE** en el eje X no existió una diferencia significativa ($p = 0.452$) en relación al p-t y r-t, sin embargo, en el eje Y si existió una diferencia significativa ($p = 0.000$) entre el p-t y r-t. Por otro lado, el **GC** los resultados de la relación entre p-t y r-t en el eje X ($p = 0.049$) y eje Y ($p = 0.042$) tuvieron diferencias significativas.

El presente estudio evaluó el efecto de un plan de entrenamiento en la técnica de ejecución de ejercicios multiarticulares mediante análisis biomecánico. Se comparó un **GE** que recibió el plan de entrenamiento, con un **GC** que

no lo recibió. Los resultados mostraron que el **GE** tuvo una diferencia significativa en la técnica del **press de banco plano** durante la **fase excéntrica** en los α H ($p = 0.005$) y α R ($p = 0.017$) y en la **técnica de la sentadilla con barra** en el transcurso de la **fase de descenso** en los α Ca ($p = 0.000$) y α R ($p = 0.001$). Estos hallazgos proporcionan evidencia de la eficacia del plan de entrenamiento para mejorar la técnica de ejecución de estos ejercicios.

La concepción de un plan de entrenamiento implica según la ACSM (2021) evaluaciones de diagnóstico y sumativas, descripción de las cargas de trabajo, objetivos de la planificación, capacidades a trabajar y orientaciones metodológicas con la finalidad de que los deportistas alcancen los objetivos de forma segura y eficaz; coincidiendo con **el modelo de planificación utilizado** en el presente estudio que evidenció un resultado positivo al término de la investigación en el **GE**.

De acuerdo con un estudio realizado por Stastny et al. (2017), en el cual evaluaron el efecto de un plan de entrenamiento en **press de banco** a través de la electromiografía, los resultados mostraron mayor efecto durante el ejercicio en la actividad del pectoral mayor y tríceps braquial, con dependencia en la amplitud del movimiento, la dirección, flexibilidad articular de los hombros, estabilidad del cuerpo, fases del movimiento. Estos datos concuerdan con los resultados de la investigación citada, ya que por medio del análisis biomecánico se estableció una diferencia significativa positiva de la flexión del hombro α H ($p = 0.005$) y rodilla α R ($p = 0.017$) en la fase excéntrica del **press en banco**, lo que mejora la técnica del individuo.

Desde el punto de vista de Ruiz et al. (2023), durante la ejecución de la **sentadilla con barra** es importante que las rodillas hagan una flexión menor a 90° evitando provocar un estrés agudo a las rodillas ya que es perjudicial. Los resultados que se obtuvieron en el ángulo de rodilla para el grupo de estudio muestran una **diferencia significativa positiva en la fase de descenso** en **sentadilla** en α Ca ($p = 0.000$) y α R ($p = 0.001$) por lo que coincide con la conclusión expuesta por el autor antes mencionado.

Por otro lado, Moreno et al. (2022) evidenció que las medias del centro de gravedad en las coordenadas (X, Y) presentan una diferencia significativa para el eje X ($p = 0.000$) y para el eje Y ($p = 0.000$) entre los grupos investigados; concluyendo que esto se debe a factores como la diferencia de altura, peso y técnica de ejecución del ejercicio entre los individuos analizados. El análisis del centro de gravedad para el **GE** estudiado en la presente investigación muestra como resultado que en el eje X no existió una diferencia significativa ($p = 0.452$), sin embargo en el eje Y si existió una diferencia significativa ($p = 0.000$), tomando en cuenta los datos sociodemográficos del **GE** se observa que no existió una estatura y peso similar por lo que el centro de gravedad esta condicionado por estos factores, conclusiones que coinciden en las expuestas por Moreno et al. (2022).

Propuesta implementada

La planificación implementada se realizó con el objetivo de mejorar la técnica de una persona, a través del entrenamiento de fuerza, potencia, resistencia muscular, hipertrofia muscular, que dependerá de la técnica con la que se realiza un ejercicio. Para la planificación se utilizaron ejercicios multiarticulares y monoarticulares que se complementan entre sí pues trabajan músculos agonistas y antagonistas en las acciones motrices, por otro lado, la duración de un plan de entrenamiento debe ser de al menos 4 semanas.-

El programa de ejercicios de 4 semanas con 4 microciclos con una duración de 3 sesiones por semana, donde el número de ejercicios utilizados por unidad de entrenamiento es 3 multiarticulados y 3 monoarticulados, realizando entre 1-3 series con un rango \approx 0-6 rep para fuerza, para hipertrofia entre las 7-12 repeticiones, y para resistencia +12 repeticiones; además de entrenamiento del CORE. El peso utilizado se debe valorar con RIR (repeticiones en reserva) en los rangos de 0 a 10 para determinar la capacidad que el deportista tiene durante el manejo de la fuerza externa e interna de tal manera que el propio sujeto pueda conocer su capacidad.

Es importante realizar un pre análisis biomecánico del deportista para evidenciar las deficiencias que no son visibles al ojo humano, de tal forma que sea posible utilizar ejercicios que favorezcan al fortalecimiento de las estructuras anatómicas o capacidades físicas. Asimismo, ejecutar un retest para observar que efecto se produjo durante el proceso de entrenamiento y si los problemas persisten, aplicar métodos diferentes de entrenamiento.

CONCLUSIONES

El estudio evaluó el impacto de un plan de entrenamiento en la técnica de ejercicios multiarticulares mediante un análisis biomecánico. Se observaron cambios positivos en la técnica del **GE** al comparar el p-t y el r-t para press en banco plano y sentadilla con barra. Las mejoras se reflejaron en los ángulos de flexión y/o extensión de las articulaciones y en el centro de gravedad durante la sentadilla. Los resultados confirmaron la eficacia del plan de entrenamiento para mejorar la técnica de estos ejercicios, esto previene lesiones y optimiza el rendimiento deportivo.

En el ejercicio de press en banco plano, el **GE** no evidenció diferencias significativas en la fase concéntrica. Sin embargo, en la fase excéntrica, el ángulo del hombro y la rodilla sí presentaron variaciones significativas en el retest, lo que implica una mayor activación muscular de los músculos que intervienen en el movimiento. En contraste, el **GC** no evidenció cambios significativos al final del estudio.

En el análisis de la sentadilla, no existieron diferencias significativas en la fase inicial para el **GE**. Pero, en la fase

de descenso, mostraron una variación en las medias de las articulaciones evaluadas en el retest. En cuanto al centro de gravedad, en la fase inicial y fase de descenso, el **GE** mostró una diferencia significativa en el eje Y, esto sugiere que aumentó la profundidad de la sentadilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, X. (2019). Unidades de medida. In *Biomecánica Básica aplicada a la actividad física y el deporte*. Editorial Paidotribo.
- American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (11th ed.). Wolters Kluwer.
- Bargueño, M. (2018). Cuidado al entrenar: el peligroso negocio de los trileros de gimnasio. *Diario El País*. https://elpais.com/elpais/2018/09/17/icon/1537181182_432873.html
- Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2021). *Periodización del entrenamiento deportivo* (4ta ed.). Paidotribo.
- Camacaro, M., Colina, A., & Zissu, M. (2021). Análisis de las variables cinemáticas en la técnica del pateo en el fútbol a partir de criterios de eficiencia biomecánicos. *SPORT TK-EuroAmerican*, 10(2), 25–45. <https://revistas.um.es/sportk/article/view/429211/309201>
- Delavier, F. (2023). Guía de los Movimientos de musculación. Descripción anatómica. Paidotribo.
- Díaz, P. (2008). Planificación del entrenamiento. Una necesidad para triunfar en el deporte. *Efdeportes.Com*, 1–20. <https://www.efdeportes.com/efd121/planificacion-del-entrenamiento-triunfar-en-el-deporte.htm>
- Geantă, V., & Herlo, J. (2020). Comparative Study on Multi-Joint and Single-Joint Exercises in Bodybuilding Economics. *Arena: Journal of Physical Activities*, 9, 81–92.
- Gonzaga, M., Bravo, W., & Romero, E. (2022). Metodología de enseñanza de ejercicios de musculación en los gimnasios de Loja. *Revista Científica Domino de Las Ciencias*, 8, 1975–1993. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i3>
- Guaje, D., Guerra, G., & Cifuentes, J. (2023). Dispositivo para la medición del balance y corrección de la técnica del press de banca plano con barra. (Tesis de maestría). Universidad de Los Andes.
- Infante, N., Pérez, N., & Fernández, Y. (2021). La resolución de problemas de Biomecánica Deportiva como actividad investigativa. *Luz*, 3, 6–21. <https://luz.uho.edu.cu/index.php/luz/article/view/1127>
- Issurin, V. (2019). Entrenamiento Deportivo Periodización por Bloques. Paidotribo.
- López, V., Bustamante, K., Candia, R., & Najera, R. (2022). Análisis de electromiografía en la sentadilla libre con barra: Revisión sistemática. *Retos*, 45, 611–621.

- Mariño, E., Vargas, G., & Mármol, O. (2022). Perfil profesional de instructores en gimnasios en la ciudad de Cuenca - Ecuador. *Cienciamatría*, 8(3), 1081–1102. <https://doi.org/10.35381/cm.v8i3.817>
- Matveyev, L. (2001). *Teoría general del entrenamiento deportivo*. Paidotribo.
- Moreno Martínez, M. A., Romero Acosta, L. A., & Quintanilla Ayala, L. X. (2022). Diferencias biomecánicas del gesto técnico de la media sentadilla libre en fisico-culturistas profesionales y amateur. *PODIUM - Revista De Ciencia Y Tecnología En La Cultura Física*, 17(2), 466–477. Recuperado a partir de <https://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1258>
- Pila, M., & Morán, Ó. (2015). *Enciclopedia de ejercicios musculación* (3ra ed.). Pila Teña.
- Prieto González, P., Sánchez-infante, J., & Fernández-Galván, L. M. (2022). Do young adult males aiming to improve strength or develop muscle hypertrophy train according to the current strength and conditioning recommendations? *Federación Española de Asociaciones de Docentes de Educación Física (FEADEF)*, 46, 714–724. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8557078>
- Quintanilla, J., Zuazo, I., Pérez, A., & Esteo, F. (2020). *Anatomía humana para estudiantes de Ciencias de la Salud*. ELSEVIER.
- Ruiz Castro, F., Velasco Tenesaca, D., & Coral Apolo, G. (2023). Análisis biomecánico de la sentadilla libre en el levantamiento de potencia en Quito. *PODIUM - Revista De Ciencia Y Tecnología En La Cultura Física*, 18(1). <https://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/1396>
- Salgado, J., Barajas, A., & Sánchez, P. (2017). Impacto económico del deporte: tema de interés creciente en la literatura científica. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y Del Deporte*, 68(2017). <https://doi.org/10.15366/rimcafd2017.68.010>
- Sotelo, I. (2023). *Press banca: puntualizaciones técnicas y beneficios*. Mundo Entrenamiento SL. <https://mundoentrenamiento.com/press-banca-tecnica-y-beneficios/>
- Stastny, P., Gołaś, A., Blazek, D., Maszczyk, A., Wilk, M., Pietraszewski, P., Petr, M., Uhlir, P., & Zajac, A. (2017). A systematic review of surface electromyography analyses of the bench press movement task. *PLoS ONE*, 12(2), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171632>
- Verkhoshansky, Y. (2018). *Teoría y metodología del entrenamiento deportivo*. Editorial Paidotribo.