

Pérdida de altura en el salto con contramovimiento e incremento en el lactato sanguíneo como indicadores de fatiga en jugadores juveniles de futbol sala.

Lic. Carlos Andrés Fuentes Ríos, Lic. Cesar Augusto Silva Duarte. Maestranes en Entrenamiento Deportivo y Actividad Física.

Tipo de proyecto
Articulo científico.

Resumen

Antecedente: La disminuci3n de la capacidad de salto con contramovimiento (CMJ) y el aumento en la concentraci3n de lactato sanguíneo (LS) son normales al final de los partidos de fútbol sala, por lo que cuantificar su magnitud es de utilidad para el control del esfuerzo. **Objetivo:** cuantificar la pérdida de altura en el CMJ y su aumento del LS, como indicadores de fatiga en jugadores juveniles de futbol sala, quienes viven y compiten en alta altitud (2554 msnm). **Método:** fue realizado un estudio cuantitativo con alcance explicativo en una muestra de 14 jugadores masculinos ($16,5 \pm 0,76$ años; $62,3 \pm 6,53$ kg; $170,35 \pm 6,49$ cm) pertenecientes a la selecci3n Cundinamarca sub-17, quienes fueron evaluados durante una competencia clasificatoria, en la cual se incluyeron tres intentos de CMJ y una muestra de sangre dactilar antes y después de cada partido. Con el paquete estadístico R (versi3n 4.5.1) realiz3 prueba de normalidad (Shapiro-Wilk – Hollander) que determin3 un enfoque no paramétrico, luego un análisis estadístico descriptivo y de correlaci3n (Spearman) y la comparaci3n de medias pareadas (Wilcoxon), se adopt3 un alfa del 0,05. **Resultados:** la correlaci3n entre LS y CMJ no fue estadísticamente significativa en ningún momento ($\rho=0,055$, $p=0,654$) mientras que la diferencia entre el pre y el post partido tanto en el CMJ como en el LS fue significativa ($W=0,000$; $p<0,05$). **Conclusi3n:** tanto el CMJ como el LS pueden ser utilizados como indicadores de fatiga en jugadores juveniles de futbol sala.

Palabras clave
CMJ, Lactato, Fatiga neuromuscular, Futbol Sala

Abstract

Background: Decreased countermovement jump (CMJ) capacity and increased blood lactate (BL) concentration are normal at the end of futsal matches, so quantifying their magnitude is useful for monitoring exertion. **Objective:** To quantify the decrease in CMJ height and the increase in BL as indicators of fatigue in youth futsal players who live and compete at high altitude (2554 m above sea level). **Method:** A quantitative study with explanatory scope was conducted on a sample of 14 male players (16.5 ± 0.76 years; 62.3 ± 6.53 kg; 170.35 ± 6.49 cm) from the Cundinamarca U-17 team. These players were evaluated during a qualifying competition, which included three CMJ attempts and a finger-prick blood sample taken before and after each match. Using the statistical package R (version 4.5.1), a normality test (Shapiro-Wilk-Hollander) was performed, determining a non-parametric approach. This was followed by descriptive statistical analysis, correlation (Spearman test), and paired mean comparison (Wilcoxon test), with an alpha of 0.05. **Results:** The correlation between lactate sprint (LS) and countermovement jump (CMJ) was not statistically significant at any point ($\rho = 0.055$, $p = 0.654$), while the difference between pre- and post-match measurements in both CMJ and LS was significant ($W = 0.000$; $p < 0.05$). **Conclusion:** both CMJ and LS can be used as indicators of fatigue in youth futsal players.

Keywords: CMJ, Lactate, Neuromuscular fatigue, Futsal

Introducción

El Fútbol Sala es un deporte que se caracteriza por la gran dinámica en sus situaciones de juego, las cuales son ejecutadas en un espacio de dimensiones reducidas y una superficie compacta, en ella se expresan diferentes acciones motrices como: aceleraciones, desaceleraciones, *sprints* cortos, cambios de dirección, disputas y golpeos; estos esfuerzos son realizados a muy alta intensidad con periodos muy cortos de recuperación (Ribeiro et al., 2020; Yiannaki et al., 2020). Estas demandas generan un marcado estrés neuromuscular y fisiológico, reflejado mediante algunos marcadores como la FC ($90 \pm 2\%$ (rango 86-93 HRmax), la absorción de oxígeno VO_2 ($\geq 80\%$ del VO_{2max}), la concentración de lactato en sangre ($4,8 \pm 2,3$ mmol·L (1ra mitad) y $4,2 \pm 2,2$ mmol·L (2da mitad) (Milioni et al., 2016) especialmente durante periodos cortos de juego (30, 45 o 60 s.) repetidos a lo largo del partido (Caetano et al., 2015; Milioni et al., 2016). La fatiga se manifiesta a través de disminuciones transitorias del rendimiento y modificaciones en marcadores internos (p. ej., concentración de LS y externos (p. ej., carga de desplazamientos y producción de potencia) (Spyrou et al., 2020).

En una revisión sistemática hecha por Miras-Moreno (2020), se encontró una alta recurrencia para utilizar el CMJ como un indicador de fatiga y de control de la carga, convirtiéndose en una

herramienta de fácil ejecución comparada con otras pruebas de carácter invasivo y de difícil acceso en el campo de desarrollo profesional, por su menor impacto fisiológico a nivel neuro muscular y su aplicabilidad en diferentes deportes y contextos del deporte (entrenamiento y competencia). A partir de esta connotación para el caso específico de nuestro deporte, el CMJ se ha consolidado como una herramienta de campo válida, fiable y sensible para monitorizar el estado neuromuscular en deportes de equipo, incluida la población profesional y semiprofesional de fútbol (Spyrou et al., 2024). Ahora bien, según Claudino et al. (2017) y Naser et al. (2017) la altura del CMJ y la potencia máxima relativa de salto está asociada directamente con el tiempo de juego en campo, además de detectar descensos de rendimiento pequeños a moderados (2 - 6%) inmediatamente después de la competición mediante pruebas de salto con plataforma de fuerza.

Sumado a esto, en estudios de este deporte la concentración de LS en jugadores de fútbol suele alcanzar valores de $\sim 6-8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ durante o inmediatamente después del partido, lo que refleja una marcada participación glucolítica junto con procesos de fatiga de origen central y periférico (Miloni et al., 2016). Igualmente en protocolos estandarizados como el *Futsal-Specific Intermittent Shuttle Protocol (FISP)*, han demostrado ser válidos para replicar las exigencias del juego y para medir tanto el CMJ como los niveles de LS; evidenciando la existencia de reducciones del CMJ cercanas al 4-5% inmediatamente finaliza el partido y hasta 24 horas post-esfuerzo, junto con valores medios de lactato alrededor de $6-6.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (D Freitas et al., 2017; D Freitas et al., 2021) y de $5,8-21,8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Bekris et al., 2022). Basados en la literatura podemos concluir que valores de lactato en sangre superiores a $4,8 - 5,5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, indican una carga metabólica elevada con relación a los valores medios de lactato luego de una competencia (Souglis et al., 2023).

Ahora bien, la comprensión de estas condiciones y el uso adecuado de las evaluaciones sencillas permite al entrenador adoptar una postura crítica, contextualizada y particular frente al descenso del rendimiento a causas de los múltiples esfuerzos realizados durante las acciones propias del deporte, favoreciendo la interpretación del estado funcional del deportista (Impellizzeri et al., 2019). En deportes intermitentes como el fútbol Sala, la carga metabólica se cuantifica habitualmente por medio de mediciones seriadas de lactato en sangre, FC, PSE y otras variables neuromusculares (CMJ, pérdida de velocidad), permitiendo identificar incrementos agudos y tendencias asociadas al estrés metabólico acumulado; el monitoreo de estos marcadores en diferentes momentos del microciclo de entrenamiento y durante la competencia facilita la clasificación de la carga según el tiempo invertido por encima de los umbrales de lactato y la

densidad de las acciones, contribuyendo a detectar disminuciones en la capacidad oxidativa (Spyrou et al., 2020 Souglis et al., 2023; Theofilidis, 2018).

Otro de los elementos a tener en cuenta ya que está muy relacionado con los subproductos metabólicos, es la fatiga neuromuscular, esta implica una capacidad reducida y persistente para generar fuerza o potencia, con una duración aproximada de entre 24 a 48 h y tiene origen tanto central como periférico (Carroll et al., 2017; Bekris et al., 2022). El uso adecuado de estas herramientas de control de la carga e indicador de fatiga, serán de gran utilidad para la futura planificación y periodización del entrenamiento, optimizando los programas de entrenamiento, manipulando variables dentro del modelo de supercompensación, el modelo integrado de carga-fatiga-adaptación, modelo del umbral de carga, etc.; requiriendo una gestión anticipada de la fatiga para garantizar una recuperación adecuada antes de la próxima sesión (Sousa et al., 2024, p. 210), evitando incursionar en condiciones de fatiga crónica como alteraciones fisiológicas, neuromusculares, endocrinas, metabólicas e inmunológicas tales como la reducción en los niveles de testosterona, aumento del cortisol, alteraciones en leptina, GH, IGF-1 y T3 (Hackney & Lane, 2018). El manejo inteligente de la fatiga es esencial, permite mantener niveles óptimos de rendimiento físico, optimizar la adaptación al entrenamiento y prevenir lesiones asociadas a cargas acumuladas, especialmente en fases de alta intensidad o congestión competitiva (Halsen, 2014).

Con base en lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿La pérdida de altura del CMJ puede ser utilizada como un indicador de fatiga en la modalidad de fútbol sala?

En deportes de campo cubierto como el fútbol sala, las acciones realizadas a muy alta intensidad (Aceleraciones 87 ± 49 y desaceleraciones 80 ± 32), con breves periodos de recuperación entre sprints ($<40s$) en espacio reducido (Ribeiro et al. 2020), requieren una significativa demanda morfofuncional para mantener la eficiencia y el rendimiento. El desempeño del deportista se verá afectado por la presencia de fatiga, la cual afecta diferentes acciones de los jugadores y se manifiesta de múltiples formas, para este caso, disminuyendo la capacidad de salto (Enoka & Duchateau, 2016; Claudino et al., 2017). El CMJ se ha utilizado últimamente como una herramienta con un método sencillo y económico de aplicación, se ha incorporado en el ámbito investigativo por su acción como indicador y indicador de fatiga a partir de la pérdida de altura (Balsalobre-Fernandez et al., 2015). Ahora bien, existe evidencia e investigaciones aterrizadas al fútbol sala, con lo cual, abre una oportunidad para continuar documentando su acción como indicador de fatiga y la oportunidad de proyectar su intervención como una herramienta que

facilite la estimación de la fatiga, el monitoreo de esta y el control del entrenamiento (Spyrou et al., 2024; Claudino et al., 2017)

Materiales y Método

Fue evaluada una muestra seleccionada por conveniencia de 14 jugadores masculinos de la selección Cundinamarca de fútbol sala, residentes en alta altitud (Madrid, Cundinamarca, Colombia, a una altitud de 2.554 m.s.n.m.), con una edad media $\pm$ D.E. de $16,5 \pm 0,76$ años afiliados a diferentes clubes del Departamento y registrados en la Liga de Fútbol Sala de Cundinamarca la cual avala su participación en diferentes eventos competitivos a nivel local, departamentales y nacional. Como criterio de inclusión se exigió una frecuencia de entrenamiento y/o competencia de 3 a 4 veces por semana, integrar la selección sub 17 de la liga y el certificado médico de aptitud. Como criterio de exclusión, presentar alguna lesión o enfermedad al momento de realizar las pruebas.

Se aplicó el protocolo de evaluación antropométrica de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) (Esparza-Ros et al., 2019) perfil restringido, incluyendo las mediciones de peso, talla, pliegues cutáneos, perímetros y diámetros para calcular la composición corporal de los deportistas. El protocolo de evaluación se aplicó durante un microciclo competitivo de la selección Cundinamarca, participante del evento clasificatorio internacional Futsal Colombia Sub 17, desarrollado entre el 28 al 31 de agosto del 2025. Este evento clasificatorio conto con la realización de cinco (5) partidos programados según calendario competitivo de un encuentro por día. Las mediciones antropométricas se realizaron a primera hora de la mañana, en ayunas y después de haber hecho sus evacuaciones. Se utilizó una báscula marca Health o Meter (McCook, USA, capacidad 160 kg., precisión 100 gramos), tallímetro InBody Push (Bio Space Inc., In Body, S50, rango 50 a 200 cm, precisión 0,001 m.), calibrador de pliegues de grasa Slim Guide (Creative Health Products, USA., 0,002 m), cinta métrica antropométrica Lufkin W606PMMX (Apex Tool Group, Querétaro, México, 0,001 m.), antropómetro Cescorf (Cescorf, Argentina). El IMC se calculó dividiendo la masa corporal en kilogramos entre la talla en metros elevado al cuadrado, el porcentaje de grasa fue calculado con la ecuación de Kerr (1988) y la masa muscular con la de Lee (2000).

El CMJ fue medido con una alfombra de salto *AXON JUMP®* (Buenos Aires, Argentina, modelo S-4.02), tres intentos previos al encuentro competitivo y tres saltos al finalizar el encuentro competitivo. El equipo fue previamente calibrado, los jugadores hicieron una entrada en calor estandarizada; fueron realizados tres intentos del CMJ, siguiendo la técnica descrita por Bosco

(1994), con 30 segundos de recuperación entre cada salto. Cada intento fue registrado y se calculó el promedio de los tres. Posteriormente fue calculada la diferencia entre el promedio de los tres intentos previos y los tres posteriores al partido, ya que este resultado posee mayor sensibilidad para captar variaciones a nivel neuromuscular, lo cual lo convierte en un indicador para el monitoreo de la fatiga. Inducida por el entrenamiento y/o la competencia. (Claudino et al., 2017)

El LS fue medido con el analizador de sangre *Accutrend®*, (Alemania, Roche, Plus) previo en reposo e inmediatamente posterior al encuentro competitivo. Se obtuvo una pequeña muestra del dedo índice mediante punción estéril. Esta toma fue realizada por personal del área de la salud, (fisioterapeuta de la Liga de Fútbol de Cundinamarca).

Resultados

El análisis se realizó sobre 14 jugadores de fútbol sala masculino de categoría sub 17 durante un microciclo competitivo compuesto por 5 partidos. Se midió la altura del salto con contra movimiento (CMJ) y la concentración de LS antes (Pre) y después (Post) de cada encuentro.

La Tabla 1 presenta la estadística descriptiva básica de la muestra evaluada en cuanto a sus variables sociodemográficas y antropométricas básicas, donde un solo jugador alcanzó la categoría de sobrepeso para sexo y edad y dos, exceso de grasa corporal.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los jugadores de fútbol sala de la Selección Masculina de Cundinamarca Sub-17.

Característica	Media	D.E.	Min	Max.
Edad (años)	16,500	0,760	15,0	17,0
Talla (cm)	170,35	6,493	158,0	180,3
Masa (kg)	62,34	6,526	49,5	71,6
IMC (kg/m ²)	21,45	1,481	19,7	25,2
Porcentaje muscular (%)	45,929	3,316	40,0	50,0
Porcentaje de grasa (%)	22,286	3,1124	18,0	28,0

La Tabla 2 muestra las diferencias entre el pre y el postest del LS y el porcentaje de pérdida del CMJ para los 14 jugadores a lo largo de cinco partidos

Tabla 2. Diferencia en el LS y porcentaje de pérdida del CMJ de los 14 jugadores en los 5 partidos jugados.

variable	n	min	max	median	q1	q3	iqr	mad	mean	sd	se	ci
Diferencia	70	-1.30	11.40	1.70	0.90	2.20	1.30	1.04	1.85	1.93	0.23	0.46
porc_perdida	70	-34.57	1.61	-7.72	-15.51	-3.12	12.38	7.88	-10.29	8.53	1.02	2.03

n=cantidad de datos *min*=mínima *max*=máxima *median*=mediana *mean*=media *sd*=desviación estándar.

Utilizando las gráficas que permiten visualizar la distribución y el comportamiento de las variables de interés (**Fig. 1**), el histograma de lactato permite notar una inclinación de la distribución hacia el lado izquierdo (0-4 mmol/L con algunos valores más grandes (8 y 12 mmol/L), mientras que la variable de perdida porcentual de CMJ se concentra entre valores del (20% al 0%), donde también se analiza el gráfico de dispersión entre las dos variables, buscando algún tipo de relación entre estas, hallando que las variables parecen seguir un patrón aleatorio. (**Fig. 1**).

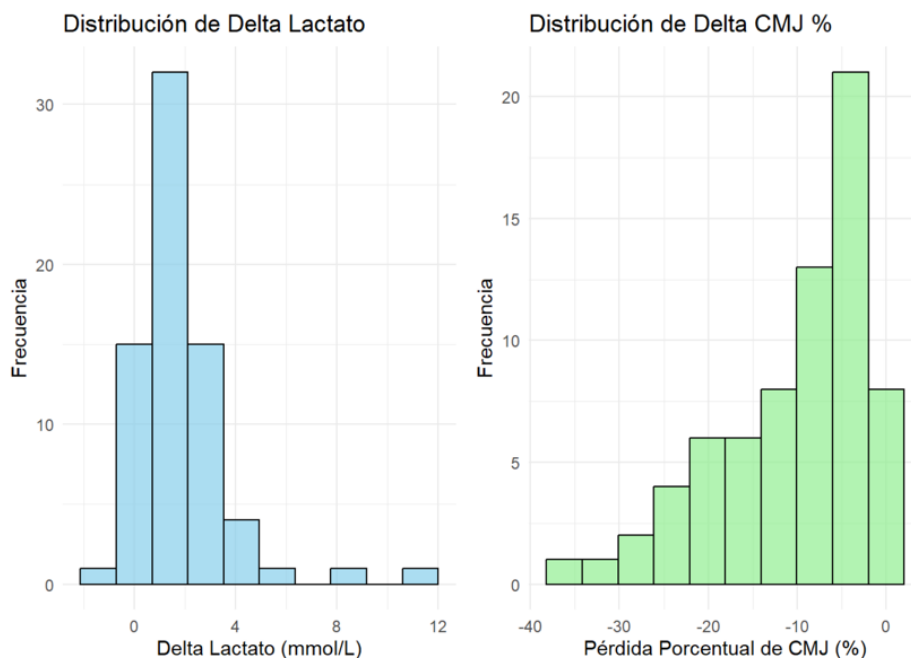


Figura 1. Distribución acumulación de lactato y % de perdida de altura CMJ.

Dado la distribución de los datos diferente a la normal, se realizaron dos pruebas de correlación no paramétrica, la prueba de correlación de Rangos de Spearman y la prueba de correlación Tau de Kendall para las cuales se obtuvieron los siguientes resultados: ($Rho = 0.055$, $p = 0.654$) ($Tau = 0.037$, $p = 0.6555$), lo que sugiere que NO hay evidencia estadística fuerte o consistente como para concluir que existe una correlación real entre las dos variables de interés para esta población en particular.

La Tabla 2 presenta las diferencias en el CMJ entre el antes y el después de cada partido, para cada uno de los jugadores, en porcentajes.

Tabla 2. Altura y diferencia en el CMJ entre pre y post partido (cm. y porcentajes) de todos los jugadores en todos los partidos.

Partido	CMJ (cm)														
	Partido No 1			Partido No 2			Partido No 3			Partido No 4			Partido No 5		
Jugador	Pre	Post	%	Pre	Post	%	Pre	Post	%	Pre	Post	%	Pre	Post	%
1	32,90	31,30	-4,863	33,60	32,60	-2,976	36,60	33,10	-9,563	34,70	32,13	-7,4	36,67	33,15	-9,591
2	34,22	31,40	-8,241	32,80	32,10	-2,134	35,20	29,40	-16,48	32,77	26,13	-20,2	29,47	26,13	-11,31
3	29,45	23,90	-18,85	28,70	22,80	-20,56	27,33	26,73	-2,195	31,77	23,23	-26,9	35,93	33,50	-6,772
4	36,30	26,70	-26,45	34,70	27,30	-21,33	34,17	30,87	-9,659	38,87	31,20	-19,7	38,50	37,77	-1,905
5	29,69	25,10	-15,46	32,47	29,90	-7,906	30,50	29,65	-2,787	31,43	27,10	-13,8	30,50	29,90	-1,967
6	28,20	21,20	-24,82	29,15	28,60	-1,887	30,47	30,23	-0,766	28,53	27,33	-4,2	34,23	22,40	-34,57
7	30,53	21,10	-30,89	31,43	24,03	-23,54	32,17	27,80	-13,58	30,77	24,03	-21,9	32,80	31,23	-4,776
8	29,12	28,20	-3,159	26,80	24,93	-6,965	29,17	28,57	-2,057	26,80	26,10	-2,6	30,50	29,17	-4,372
9	24,10	17,90	-25,73	34,53	29,30	-15,15	32,10	31,10	-3,115	33,80	32,80	-3,0	35,57	34,17	-3,936
10	29,80	26,70	-10,4	31,53	28,87	-8,457	29,20	27,00	-7,534	29,83	28,57	-4,2	30,13	29,83	-0,996
11	26,40	24,90	-5,682	29,80	28,30	-5,034	34,17	25,53	-25,27	31,43	27,90	-11,2	31,80	30,77	-3,249
12	33,71	28,20	-16,35	34,93	31,47	-9,924	34,93	33,83	-3,149	33,20	29,13	-12,2	33,83	28,50	-15,76
13	30,90	28,60	-7,443	29,80	29,47	-1,119	30,17	26,10	-13,48	24,90	25,30	1,6	30,17	29,80	-1,215
14	26,12	24,40	-6,585	29,20	24,67	-15,53	32,10	31,13	-3,011	31,43	30,80	-2,0	34,53	30,43	-11,87
Media	30,103	25,686	-14,637	31,389	28,167	-10,179	32,020	29,360	-8,046	31,445	27,982	-10,550	33,188	30,482	-8,021
D.E.	3,373	3,872	9,343	2,551	3,065	7,728	2,704	2,543	7,112	3,422	2,961	8,850	2,856	3,666	8,890

El análisis post partido revela una disminución en la altura media del CMJ equivalente al 10,4% (31,63 cm a 28,34 cm). Esta reducción de 3,29 cm, indica una fatiga neuromuscular aguda inducida por los esfuerzos propios del deporte y las demandas metabólicas requeridas durante la competencia. Dicha altura post-partido, revela una ligera asimetría en la distribución de los datos,

donde la mediana (28,58 cm) supera a la media (28,34 cm). Esta característica, junto con una moda de inferior (26,13 cm), indica que la fatiga se manifiesta de manera diferente y con mayor intensidad en una parte de los jugadores del equipo, y los saltos con menor altura arrastran el promedio general hacia abajo. En cuanto al aumento de la desviación estándar (D.E.) de 3,08 (Pre) a 3,55 (Post) indica que la fatiga no afectó de manera homogénea a todos los deportistas, mientras algunos jugadores conservaron buena parte de su capacidad de salto, otros experimentaron disminuciones más pronunciadas mostrando una mayor variabilidad interindividual en la respuesta neuromuscular al esfuerzo.

Tabla 3. Valores y diferencia entre *pre* y *post partido* del LS (mL/L).

Lactato en Sangre mmol/L															
Partido	Partido No 1			Partido No 2			Partido No 3			Partido No 4			Partido No 5		
N.º	Pre	Post	Dif.	Pre	Post	Dif.	Pre	Post	Dif.	Pre	Post	Dif.	Pre	Post	Dif.
1	1,5	3,9	2,4	1,8	4,2	2,4	2,0	6,4	4,4	1,9	4,8	2,9	2,1	0,8	-1,3
2	2,0	3,5	1,5	1,5	4,2	2,7	2,4	4,3	1,9	1,8	7,9	6,1	2,4	4,8	2,4
3	2,0	4,2	2,2	3,1	3,3	0,2	2,6	2,7	0,1	4,2	5,0	0,8	3,5	5,2	1,7
4	1,7	3,1	1,4	2,6	4,3	1,7	2,0	3,8	1,8	2,5	4,7	2,2	4,1	6,0	1,9
5	2,0	2,9	0,9	1,7	3,4	1,7	2,1	1,7	-0,4	1,7	2,3	0,6	1,5	3,6	2,1
6	1,8	3,8	2,0	3,3	12,1	8,8	1,8	6,6	4,8	4,2	5,2	1,0	3,8	3,7	-0,1
7	1,5	4,4	2,9	1,8	3,6	1,8	2,4	4,2	1,8	3,5	5,0	1,5	4,8	7,6	2,8
8	1,9	4,9	3,0	1,5	3,5	2,0	2,8	2,9	0,1	2,0	4,2	2,2	2,4	3,5	1,1
9	2,2	2,5	0,3	2,0	3,2	1,2	2,4	3,3	0,9	3,0	4,8	1,8	2,5	4,5	2,0
10	2,6	2,7	0,1	3,6	15,0	11,4	2,4	4,9	2,5	3,1	6,8	3,7	2,5	3,8	1,3
11	1,9	4,6	2,7	1,8	3,8	2,0	2,4	4,6	2,2	2,0	6,1	4,1	3,0	3,1	0,1
12	1,5	2,9	1,4	3,3	5,2	1,9	2,2	4,4	2,2	3,3	3,7	0,4	2,3	3,9	1,6
13	2,1	2,7	0,6	1,7	2,9	1,2	2,4	1,9	-0,5	1,7	3,2	1,5	1,9	1,5	-0,4
14	2,2	2,9	0,7	2,9	3,9	1,0	2,9	4,1	1,2	2,1	1,5	-0,6	2,5	3,8	1,3
Media	1,921	3,500	1,579	2,329	5,186	2,857	2,343	3,986	1,643	2,643	4,657	2,014	2,807	3,986	1,179
D.E.	0,312	0,796	0,974	0,765	3,634	3,171	0,306	1,444	1,601	0,900	1,676	1,738	0,922	1,691	1,179

Los valores del LS, como se presenta en la Tabla 3, se incrementaron notablemente después de la competencia en promedio de 2,4 mmol/L pre-partido a 4,3 mmol/L post-partido, en promedio para todos los partidos y jugadores, de un $1,854 \pm 1,927$ mmol/L, lo que evidencia una alta demanda del sistema glucolítico como sistema metabólico preponderante durante la competencia. La distribución de los valores de lactato en sangre post-partido nos revela que la media (4,3

mmol/L) no representa fielmente la totalidad del grupo, ya que es superior a la mediana (3,9 mmol/L). Esta diferencia, unida a una alta desviación estándar, revela la influencia de algunos jugadores que registraron concentraciones elevadas de lactato (7,6 - 7,9 - 12,1 - 15 mmol/l). Estos datos son típicos en deportes intermitentes como el fútbol sala, donde la intensidad es variable y la cantidad de minutos jugados no es homogénea en todos los deportistas.

La prueba de Wilcoxon para el LS entre pre y post de cada partido arrojó los siguientes valores: en el partido 1 ($W = 0,000$; $p=0,0001$), partido 2 ($W = 0,000$; $p=0,0001$), partido 3 ($W = 3,000$; $p=0,0006$) partido 4 ($W = 11,000$; $p=0,0067$), es decir, las diferencias entre pre y post partido fueron significativas en cada uno de los encuentros. También para el CMJ las diferencias entre el antes y el después de cada partido fue significativa, con los siguientes resultados: partido 1 ($W = 0,000$; $p=0,0001$), partido 2 ($W = 0,000$; $p=0,0001$), partido 3 ($W = 1,000$; $p=0,0002$) partido 4 ($W = 0,000$; $p=0,0001$). Esto significa que la fatiga producida por el partido se refleja objetivamente en estos dos indicadores.

Discusión

El objetivo de esta investigación fue evaluar los cambios en el biomarcador molecular lactato sanguíneo (LS) y el rendimiento en el salto vertical (CMJ) entre antes y después de los cinco partidos de la ronda eliminatoria nacional, en jugadores de fútbol sala con proyección a rendimiento de la selección Cundinamarca Sub17, como herramienta de campo válida como indicador de fatiga competitiva en dicha población. Los resultados de esta investigación no señalaron correlaciones estadísticamente significativas entre las concentraciones de LS y la disminución porcentual en la altura del CMJ, incluso después de descartar valores atípicos; dichas observaciones indican que para la muestra seleccionada la fatiga neuromuscular medida a través del salto contramovimiento no se asoció directamente con el estrés metabólico producido en competencia detectado mediante el lactato en sangre.

Estos hallazgos señalan que la fatiga neuromuscular y la fatiga metabólica, aunque presentes, funcionan parcialmente de manera independiente en el contexto de la competencia de fútbol sala. Alineado con estudios previos, el LS refleja principalmente las demandas metabólicas agudas del partido (Jiménez-Reyes et al., 2019; Spyrou et al., 2020), mientras que el CMJ denota cambios y alteraciones mecánicas y neuromusculares relacionadas con la eficiencia del ciclo estiramiento-acortamiento. La falta de significancia en la correlación podría explicarse desde la diferencia de cada mecanismo fisiológico, asociando el lactato a la glucólisis y al balance ácido-base (Hackney & Lane, 2018). mientras que el CMJ puede verse afectado por micro lesiones, fatiga periférica, disminución en el reclutamiento de unidades motoras o cambios en la elasticidad muscular (Spyrou

et al., 2024). No obstante, lo anterior, estos dos valores pueden ser utilizados como indicadores de fatiga competitiva en fútbol sala, dado que el CMJ disminuye y el LS aumenta significativamente al cabo de los partidos.

Ahora bien, en estudios realizados en deportes de alta intensidad y esfuerzos intermitentes, los cuales dependen de mecanismos energéticos similares a los del fútbol sala, como la glicólisis anaeróbica y el uso de los fosfatos de alta energía de depósito muscular, se reportan correlaciones inversas entre el rendimiento en el CMJ y los niveles del LS luego de varios *sprints* repetidos, evidenciando que una mayor acumulación metabólica se asocia con una pérdida significativa de altura de salto (Jiménez-Reyes et al., 2016), lo cual no pudo ser evidenciado en el presente estudio. Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que para que el CMJ sea sensible, es necesario alcanzar intensidades que generen concentraciones de lactato superiores a 8-12 mmol/L. Siendo coherente con las altas demandas glucolíticas y picos de lactato reportados en deportes de alta intensidad como el fútbol (Ocak et al., 2021). A diferencia de las respuestas de lactato encontradas en este estudio (4,3 mmol/L D.E. $\pm$ 3.9 mmol/L) las cuales, a pesar de evidenciar cambios en el comportamiento de este biomarcador, no son lo suficientemente altos para establecer una correlación significativa con la pérdida de altura del salto CMJ.

Es posible que existan otros factores contextuales del juego que influyan en la respuesta neuromuscular y metabólica, como lo son el tiempo en campo de cada jugador, posición, rol táctico y demandas de este, aspectos a los que somos ajenos ya que están determinados por el cuerpo técnico, generando fragmentación entre los marcadores. En la literatura actual, podemos encontrar estudios donde se señala que el salto contramovimiento puede ser susceptible a la acumulación de fatiga, pero no necesariamente al estrés metabólico agudo (Claudino et al., 2017; Gathercole et al., 2015).

Los resultados plantean que el CMJ no predice el estrés metabólico del jugador por sí solo, pero si puede ser usado como una herramienta útil para evaluar el estado neuromuscular de los jugadores postpartido, al igual que el LS, que por su lado serviría para complementar la monitorización del rendimiento, pero no del componente explosivo. Por esto, se sugiere emplear modelos multidimensionales de evaluación de la fatiga, incluyendo indicadores metabólicos y neuromusculares para una interpretación más completa del estado funcional del deportista (Claudino et al., 2017; Jiménez-Reyes et al., 2019; Impellizzeri et al., 2019), así como instrumentos para la evaluación subjetiva del esfuerzo, como la escala de Borg (1982).

Limitaciones

Esta investigación presentó determinadas limitaciones, la muestra estuvo compuesta por 14 jugadores de un sólo equipo, con 70 mediciones, lo cual, aunque cumple con las reglas para una correlación no paramétrica, puede limitar la eficiencia estadística en la detección de correlaciones leves, acompañado de que no se controlaron otras variables individuales como el tiempo efectivo de juego en el partido y de cada jugador, intensidad del partido (Percepción Subjetiva del esfuerzo [RPE], frecuencia cardíaca), posición de juego, etc. Se recomienda que en futuras investigaciones se realicen mayores controles individuales de carga interna y externa y diseños longitudinales para evaluar tendencias acumulativas.

Conclusiones

Este análisis permitió evaluar de manera directa como responden los jugadores de fútbol sala a las diferentes exigencias de la competencia, teniendo en cuenta una perspectiva metabólica (LS) y una neuromuscular (CMJ). En términos generales, los datos evidenciaron que la altura del CMJ desciende significativamente post competencia, lo cual ratifica la aparición de fatiga neuromuscular momentánea; esta manifestación coincide con la naturaleza del deporte, donde las acciones intensas y esfuerzos repetidos generan un impacto acumulativo sobre la capacidad de salto. Por otro lado, las concentraciones de LS tuvieron un incremento también significativo posteriormente a los partidos, señalando la importancia del componente glucolítico de este deporte.

Por otra parte, no se encontró una correlación estadísticamente significativa entre los dos marcadores LS y CMJ ($\rho = 0,055$; $p = 0,6540$), es decir, que no existe una relación estadísticamente significativa entre el aumento en las concentraciones de LS y la pérdida en la altura del CMJ para esta población en particular, lo que sugiere que la fatiga neuromuscular no necesariamente depende de la magnitud de estrés metabólico producido en el partido.

La utilización del CMJ y su interpretación como indicador de fatiga requiere que el profesional encargado considere no solo el porcentaje de pérdida en su altura, sino también el perfil metabólico manifestado en el deporte, el momento de la medición y la selección indicada del uso de promedios sobre múltiples intentos o la determinación de la mayor altura alcanzada para aumentar su fiabilidad como herramienta de monitoreo. La dinámica de juego y las características no controlables como lo son las sustituciones indefinidas, inclusión y exclusión de jugadores según criterio del director técnico, como también las necesidades de la competencia, la magnitud y relevancia del evento clasificatorio a la final nacional, pueden influir en el LS y las respuestas encontradas en este ejercicio investigativo (CMJ), entregando valores relevantes para caracterizar esfuerzos en la modalidad deportiva pero no para correlacionar positivamente la pérdida de altura del CMJ con el nivel de fatiga encontrado.

Por último, aunque los resultados evidencian elementos útiles para la práctica en el campo, deben interpretarse teniendo en cuenta distintas variables como son: la variabilidad de las condiciones de competencia y otros factores individuales como el tiempo real de participación en campo. Próximas investigaciones podrían ahondar en dichas interacciones incorporando evaluaciones adicionales de fatiga central y periférica, así como diseños longitudinales que permitan detectar patrones a lo largo de una temporada.

Referencias Bibliográficas

- Alba-Jiménez C, Moreno-Doutres D, Peña J. Trends Assessing Neuromuscular Fatigue in Team Sports: A Narrative Review. *Sports (Basel)*. 2022 Feb 28;10(3):33. doi: <https://doi.org/10.3390/sports10030033>
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
- Bekris, E., Gioldasis, A., Gissis, I., Katis, A., Mitrousis, I., & Mylonis, E. (2022). Effects of a futsal game on metabolic, hormonal, and muscle damage indicators of male futsal players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(2), 545-550. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003466>
- Borg, G.A. (1982) Psychophysical Bases of Perceived Exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14, 377-381. <https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Bosco, C. (1994). La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Paidós.
- Brooks GA. The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory. *Cell Metab*. 2018 Apr 3;27(4):757-785. doi: 10.1016/j.cmet.2018.03.008. PMID: 29617642.
- Caetano, F.G., de Oliveira, M.J., Marche, A.L., Nakamura, F.Y., Cunha, S.A., Moura, F.A. Characterization of the Sprint and Repeated-Sprint Sequences Performed by Professional Futsal Players, According to Playing Position, During Official Matches. *J Appl Biomech*. 2015 Dec;31(6):423-9. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0159> Epub 2015 Jul 8. Erratum

in: *J Appl Biomech*. 2016 Feb;32(1):106. doi: 10.1123/jab.2016-0005. de Oliveira, Murilo José [corrected to de Oliveira Bueno, Murilo José]. PMID: 26155741.

Carroll, T. J., Taylor, J. L., & Gandevia, S. C. (2017). Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1068-1076. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00775.2016>

Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>

Coutinho D, Gonçalves B, Figueira B, Abade E, Marcelino R, Sampaio J. Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players. *J Sports Sci*. 2015;33(12):1229-37. doi: 10.1080/02640414.2015.1022575. Epub 2015 Mar 19. PMID: 25789549.

De Freitas, V. H., Miloski, B., Arruda, A. F., Freitas, D. G. S., & Bara Filho, M. G. (2017). Validation of the futsal intermittent shuttle protocol (FISP). *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(6), 1-14. <https://doi.org/10.1080/24748668.2017.1409499>

De Freitas, V.H., Guarnier, F.A., Alves, T., Soares-Caldeira, L.F., Moura Zagatto, A. & De Paula Ramos, S. (2021). Effects of Light-Emitting Diode Therapy on Recovery of Adult Male Futsal Players. *Apunts Educación Física y Deportes*, 146, 52-60.

Donahue, P. T., McInnis, A. K., Williams, M. K., & White, J. (2023). Examination of Countermovement Jump Performance Changes in Collegiate Female Volleyball in Fatigued Conditions. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8(3), 137. <https://doi.org/10.3390/jfmk8030137>

Dos-Santos JW, da Silva HS, da Silva Junior OT, Barbieri RA, Penafiel ML, da Silva RNB, Milioni F, Vieira LHP, Coledam DHC, Santiago PRP, Papoti M. Physiology Responses and Players' Stay on the Court During a Futsal Match: A Case Study With Professional Players. *Front Psychol*. 2020 Dec 14;11:620108. doi: 10.3389/fpsyg.2020.620108. PMID: 33381074; PMCID: PMC7767871.

- Egesoy, H., Yapici, A., Gümüşdağ, H., Atabaş, E. G., & Çelik, E. (2021). The heart rate, blood lactate and oxygen saturation changes of female futsal players during competition. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*, 15(4), 1386-1389.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2228–2238. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Esparza-Ros, F., Vaquero-Cristóbal, R., Marfell-Jones, M. (2019). Protocolo internacional para la valoración antropométrica. ISAK. UCAM, Murcia.
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Bishop, C., Montalvo, A. M., Buscà, B., & Arboix-Alió, J. (2023). Effects of exercise-induced neuromuscular fatigue on jump performance and lower-limb asymmetries in youth female team sport athletes. *Journal of Human Kinetics*, 89, 19–31. <https://doi.org/10.5114/jhk/174073>
- Gathercole RJ, Sporer BC, Stellingwerff T, Sleivert GG. Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *J Strength Cond Res*. 2015 Sep;29(9):2522-31. doi: 10.1519/JSC.0000000000000912. PMID: 26308829. Goodall, S., Thomas, K., Harper, L. D., et al. (2017). The assessment of neuromuscular fatigue during 120 min of simulated soccer exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 117(4), 687-697. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3561-9>
- Hackney, A. C., & Lane, A. R. (2018). Increased prevalence of androgen deficiency in endurance-trained male runners across the life span. *Aging Male*, 20(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/13685538.2018.1523888>
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(Suppl 2), S139–S147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Illa, J., Alonso, O., Serpiello, F., Hodder, R. & Reche, X. (2021). External Load Demands and Positional Differences in Elite Futsal Using UWB Technology. *Apunts Educación Física y Deportes*, 145, 53-59. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2021/3\).145.07](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/3).145.07)
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (n.d.). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270-273. Retrieved Jun 22, 2026, from <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>

Jiménez-Reyes P, Pareja-Blanco F, Cuadrado-Peñaflí V, Ortega-Becerra M, Párraga J, González-Badillo JJ. Jump height loss as an indicator of fatigue during sprint training. *J Sports Sci.* 2019 May;37(9):1029-1037. doi: 10.1080/02640414.2018.1539445. Epub 2018 Oct 31. PMID: 30380362.

Jimenez-Reyes P, Pareja-Blanco F, Cuadrado-Peñaflí V, Morcillo JA, Párraga JA, González-Badillo JJ. Mechanical, Metabolic and Perceptual Response during Sprint Training. Int J Sports Med. 2016 Sep;37(10):807-12. doi: 10.1055/s-0042-107251. Epub 2016 Jun 10. PMID: 27286181.

Kerr, D. A. (1988). An anthropometric method for fractionation of skin, adipose, bone, muscle and residual tissue masses, in males and females aged 6 to 77 years. Simon Fraser University. Master of Science degree thesis.

Lee, R. C., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I., & Heymsfield, S. B. (2000). Total-body skeletal muscle mass: Development and cross-validation of anthropometric prediction models. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(3), 796–803. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.3.796>

Milioni, F., Vieira, L.H., Barbieri, R.A., Zagatto, A.M., Nordsborg, N.B., Barbieri, F.A., Dos-Santos, J.W., Santiago, P.R., Papoti, M. (2016). Futsal Match-Related Fatigue Affects Running Performance and Neuromuscular Parameters but Not Finishing Kick Speed or Accuracy. *Frontiers in Physiology*. 7;7:518. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00518> PMID: 27872598; PMCID: PMC5097919.

Miras-Moreno, S. M. (2020). Counter-movement Jump height as a means to monitor neuromuscular fatigue. Systematic review. *Retos*, 37, 820–826. <https://doi.org/10.47197/retos.v37i37.73302>

Moreno-Villanueva, A., Rico-González, M., Gómez-Carmona, C. D., Gómez-Ruano, M. Á., Silva, N., & Pino-Ortega, J. (2022). What Is the Most Sensitive Test to Identify Fatigue through the Analysis of Neuromuscular Status in Male Elite Futsal Players? *Sensors*, 22(20), 7702. <https://doi.org/10.3390/s22207702>

Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. *Journal of Exercise Science & Fitness*. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.09.001>

Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. Journal of Exercise Science & Fitness. https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.09.001

- Ocak, Y., Başpınar, S. G., Yıldız, M., & Ocak, M. F. (2021). Blood lactate and lactate tolerance levels of futsal and football players. *Revista Brasileira de Futsal e Futebol*, 13(56), 710–716.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Perilla-Sáenz, N. E. (2022). Correlación entre potencia y resistencia en jugadores de fútbol sala [Tesis de grado]. *Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales – UDCA*. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/rdafd/article/view/2155>
- Ribeiro, J. N., Gonçalves, B., Travassos, B., et al. (2020). Activity profile and physical performance of match play in elite futsal players. *Frontiers in Psychology*, 11, 1709. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01709>
- Rico-González, M., et al. (2022). The most demanding exercise in different training tasks and match scenarios in futsal: External match play load characterization. *Healthcare*, 10(5), 838. <https://doi.org/10.3390/healthcare10050838>
- Souglis, A., Bourdas, D. I., Gioldasis, A., Ispirlidis, I., Philippou, A., Zacharakis, E., Apostolidis, A., Efthymiou, G., & Travlos, A. K. (2023). Time Course of Performance Indexes, Oxidative Stress, Inflammation, and Muscle Damage Markers after a Female Futsal Match. *Sports*, 11(7), 127. <https://doi.org/10.3390/sports11070127>
- Sousa CA, Zourdos MC, Storey AG, Helms ER. The Importance of Recovery in Resistance Training Microcycle Construction. *Journal of Human Kinetics*. 2024 Apr 15;91(Spec Issue):205-223. <https://doi.org/10.5114/jhk/186659> PMID: 38689583; PMCID: PMC11057610.
- Spyrou K, Freitas TT, Marín-Cascales E, Alcaraz PE. Physical and Physiological Match-Play Demands and Player Characteristics in Futsal: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*. 2020 Nov 6;11:569897. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.569897> PMID: 33240157; PMCID: PMC7677190.
- Spyrou, K., Alcaraz, P. E., Martínez-Serrano, D., Marín-Cascales, E., Ferioli, D., Contreras, B., Ribeiro, J., Travassos, B., & Freitas, T. T. (2024). Exploring countermovement jump variables across competitive levels and playing positions in futsal. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1371467. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1371467>

Theofilidis, G., Bogdanis, G. C., Koutedakis, Y., & Karatzaferi, C. (2018). Monitoring exercise-induced muscle fatigue and adaptations: Making sense of popular or emerging indices and biomarkers. *Sports*, 6(4), 153. <https://doi.org/10.3390/sports6040153>

Xie, H., et al. (2024). Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on blood lactate clearance after high-intensity test. *Frontiers in Physiology*, 15, 1451464. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1451464>

Yiannaki C, Barron DJ, Collins D, Carling C. Match performance in a reference futsal team during an international tournament - implications for talent development in soccer. *Biol Sport*. 2020 Jun;37(2):147-156. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.93040> Epub 2020 Feb 11. PMID: 32508382; PMCID: PMC7249802.