



Revista Digital de Educación Física

ISSN: 1989-8304 D.L.: J 864-2009

EFFECTO DE LA PROFUNDIDAD DEL CONTRAMOVIMIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL SALTO EN JUGADORES DE RUGBY JUVENIL: UN ESTUDIO PILOTO

Jerónimo Quincke

Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes, Montevideo, Uruguay
Email: jota.quincke@gmail.com

Pedro Dotta

Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes, Montevideo, Uruguay
Email: dottapedro98@gmail.com

Sergio Gustavo Bermúdez

Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes, Montevideo, Uruguay
Email: sbermudez@iuacj.edu.uy

Andrés Santiago Parodi-Feye

Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes, Montevideo, Uruguay;
Instituto Superior de Educación Física (ISEF – Udelar); Montevideo, Uruguay
Email: andresparodi2005@yahoo.com

RESUMEN

El salto con contramovimiento (CMJ) constituye un indicador representativo de algunas de las capacidades necesarias para alcanzar el óptimo rendimiento en Rugby. Sin embargo, pocos estudios han analizado el rendimiento diferencial de diferentes grados de profundidad del contramovimiento para este deporte. Este estudio tuvo como objetivo analizar el efecto de distintos grados de flexión de rodilla sobre variables de rendimiento en CMJ. Se seleccionaron 11 jugadores de Rugby masculinos categoría M19, quienes realizaron tres CMJ para tres ángulos de flexión de rodilla establecidos (80°, 120° y autogestionado). Se midió la altura máxima normalizada por talla, así como la fuerza y potencia máximas relativas para cada ángulo, utilizando plataforma de fuerza. Las distintas condiciones fueron analizadas mediante ANOVA de medidas repetidas, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. La condición de 120° favoreció el rendimiento de fuerza y potencia relativa frente a las demás condiciones ($p < 0,001$). Sin embargo, la altura máxima normalizada presentó sus valores máximos en las condiciones de 80° y autogestionada ($p < 0,001$). La elección del grado de flexión durante evaluaciones o

ejercicios derivados del CMJ debería ser considerada al planificar programas de entrenamiento orientados al desarrollo específico de cada capacidad.

PALABRAS CLAVE:

Rugby juvenil; salto vertical; CMJ; fuerza relativa; potencia relativa.

EFFECT OF COUNTERMOVEMENT DEPTH ON JUMP PERFORMANCE IN YOUTH RUGBY PLAYERS

ABSTRACT

The countermovement jump (CMJ) is a representative indicator of some of the capacities required to achieve optimal performance in rugby. However, few studies have analyzed the differential performance associated with different depths of the countermovement in this sport. The aim of this study was to analyze the effect of different knee flexion angles on CMJ performance variables. Eleven male U19 rugby players participated in the study and performed three CMJs at three predefined knee flexion angles (80°, 120°, and self-selected). Maximum jump height normalized to body height, as well as relative peak force and peak power, were assessed for each condition using a force platform. The different conditions were analyzed using repeated-measures ANOVA, with a significance level set at $p < 0.05$. The 120° condition favored relative force and power performance compared to the other conditions ($p < 0.001$). However, normalized maximum jump height reached its highest values in the 80° and self-selected conditions ($p < 0.001$). The choice of knee flexion angle during CMJ-based assessments or exercises should be considered when designing training programs aimed at the specific development of each performance capacity.

KEYWORD

Youth rugby; vertical jump; CMJ; relative force; relative power.

INTRODUCCIÓN.

El Rugby es un deporte de equipo caracterizado por una alta exigencia física y neuromuscular. Desde sus orígenes en el siglo XIX en Inglaterra, ha experimentado un crecimiento exponencial, con más de 10 millones de jugadores activos a nivel mundial, y con más de 130 naciones afiliadas a World Rugby (World Rugby, 2025).

Junto con el aumento de su popularidad y profesionalismo, el rendimiento físico de los jugadores ha cobrado una relevancia creciente, especialmente en acciones que requieren una alta capacidad de producción de fuerza rápida (aptitud para manifestar niveles elevados de potencia mecánica en intervalos de tiempo mínimos), como los *sprints*, *tackles*, cambios de dirección y saltos. Estas manifestaciones de esfuerzo están directamente vinculadas con la capacidad de los miembros inferiores (MMII) para generar y aplicar fuerza de manera eficiente, siendo esta una condición determinante en momentos clave del juego (Baker y Newton, 2008).

El salto vertical con contramovimiento (CMJ) ha demostrado en este deporte ser un predictor fiable de la capacidad de aceleración y del rendimiento en el *scrum*, vinculando la producción de fuerza vertical con el éxito en acciones de contacto (McMahon et al., 2022). Esta relación se fundamenta en que dichas acciones dependen de la capacidad del jugador para aplicar grandes magnitudes de fuerza en intervalos de tiempo mínimos (*Rate of Force Development*, RFD), una característica compartida con la fase propulsiva del CMJ.

Este test se ha consolidado como una herramienta ampliamente utilizada para evaluar la potencia del tren inferior. Si bien el uso de dispositivos portátiles, sensores inerciales y aplicaciones móviles ha facilitado la medición de la altura del salto por su bajo costo, estos instrumentos suelen omitir los perfiles cinéticos complejos. Las plataformas de fuerza de alta frecuencia, por otro lado, permiten obtener información relevante no solo sobre la altura alcanzada, sino también sobre variables como la fuerza pico, el impulso o la potencia relativa, las cuales permiten caracterizar el rendimiento neuromuscular con mayor precisión (Beckham et al., 2014).

Diversos estudios han demostrado que el rendimiento en el CMJ puede verse influido por diferentes factores, entre ellos la profundidad del contramovimiento, es decir, el ángulo máximo de flexión de rodilla alcanzado en la fase descendente. Aunque el protocolo clásico de Bosco (1983) estandarizó la flexión en 90° por su alta reproducibilidad, esta profundidad puede no representar la variabilidad mecánica de los gestos específicos del rugby. En la práctica deportiva, los jugadores ejecutan contramovimientos más cortos o largos dependiendo de si la acción requiere máxima altura (como en un *line-out*) o máxima tasa de desarrollo de fuerza en tiempos mínimos (como en un cambio de dirección). Además, estudios recientes subrayan que la profundidad no es solo una variable de ejecución, sino un factor que altera radicalmente la mecánica del impulso, lo que justifica la necesidad de caracterizar este efecto en poblaciones juveniles en formación (Pommerell et al., 2024).

Si bien se reconoce el papel del ciclo estiramiento–acortamiento (*Stretch-Shortening Cycle*, SSC) en el rendimiento del CMJ (Komi, 2000), evidencia contemporánea indica que la modificación de la profundidad del contramovimiento (y, por extensión, del ángulo máximo de flexión de rodilla) puede alterar de manera sistemática variables mecánicas clave como el tiempo de empuje, la fuerza media, el impulso vertical neto y la expresión de métricas derivadas del perfil fuerza–tiempo y fuerza–velocidad, afectando el rendimiento de forma dependiente de la variable objetivo (altura/impulso vs. picos de fuerza–potencia y estrategias temporales) (Pérez-Castilla et al., 2021; Pommerell et al., 2024; Pommerell et al., 2025). En particular, se ha señalado que profundidades más reducidas pueden comprometer la altura por cambios en el patrón neuromecánico del contramovimiento, y que existe un compromiso (*trade-off*) entre alcanzar una profundidad suficiente y ejecutar el gesto con rapidez (McHugh et al., 2024; Pommerell et al., 2025).

No obstante, pese a esta literatura en crecimiento, continúa siendo limitada la evidencia sobre el efecto de una estandarización controlada del ángulo de rodilla en poblaciones deportivas específicas, como jugadores juveniles de rugby, donde el CMJ se utiliza habitualmente para monitoreo neuromuscular, y donde la consistencia metodológica (incluida la profundidad) es crítica para interpretar cambios entre sesiones (Anicic et al., 2023; Roe et al., 2016). En consecuencia, caracterizar este impacto puede mejorar la comparabilidad en las evaluaciones y aportar criterios prácticos para orientar el uso de variantes del CMJ en la planificación de tareas dirigidas a gestos explosivos y de potencia.

El presente trabajo se propuso analizar el efecto que tiene la determinación de distintos grados de flexión de rodilla (80°, 120° y autogestionado) sobre el rendimiento en el CMJ, en términos de altura alcanzada, y fuerza y potencia máximas relativas en jugadores masculinos juveniles de Rugby amateur. Se busca así contribuir al conocimiento aplicado en la evaluación del rendimiento deportivo, aportando evidencia útil para deportistas, entrenadores y preparadores físicos en general, y de Rugby juvenil en particular, al momento de evaluar y planificar programas de entrenamiento relativos a la potencia de MMII.

1. RESEÑA METODOLÓGICA.

1.1. DISEÑO.

El presente proyecto consistió en un estudio de tipo cuantitativo, transversal y pre experimental. El trabajo se realizó en el marco de actividades académicas del Instituto Universitario Asociación Cristiana de Jóvenes (IUACJ), bajo lineamientos institucionales para investigación en el ámbito del deporte. La recolección de datos se desarrolló durante evaluaciones de rendimiento habituales del club, integradas a la planificación deportiva del plantel. Las pruebas de salto ya formaban parte de las actividades regulares, por lo que la investigación no incorporó procedimientos nuevos ni supuso un incremento del riesgo para los deportistas; la única modificación respecto de la práctica habitual consistió en el registro del CMJ mediante plataforma de fuerza, utilizando la infraestructura y los días previstos para dichas evaluaciones.

En este marco, se respetaron los principios éticos de autonomía y confidencialidad: la participación fue voluntaria, sin incidencia en las decisiones del cuerpo técnico, y los deportistas contaron con la posibilidad de no participar o retirarse en cualquier momento sin consecuencias. Todos los participantes otorgaron su consentimiento informado previo a su inclusión en el estudio, y los datos fueron tratados de forma confidencial y analizados de manera anonimizada. Durante todo este proceso se cumplió cabalmente con los criterios establecidos en la Declaración de Helsinki y enmiendas posteriores (Asociación Médica Mundial, 2024).

1.2. MUESTRA.

Se seleccionaron por conveniencia a 11 jugadores categoría M19, de un club de Rugby Union de la ciudad de Montevideo, Uruguay, federado a la Unión de Rugby del Uruguay (URU). De éstos, seis juegan en posición de forwards (dos en primera línea, dos en segunda línea, uno de tercera línea y otro de octavo) y 5 en posición de backs (uno de segundo centro, tres de *wing* y uno de *fullback*). Los criterios de inclusión fueron: i) ser mayores de edad (18 años cumplidos); ii) sexo masculino; y iii) estar federados en la URU desde hace al menos 1 año.

Adicionalmente, se consideraron criterios de exclusión: i) estar enfermo, lesionado o haber salido hace menos de 2 semanas de una lesión que pueda afectar el rendimiento en los test utilizados en el presente estudio; y v) estar consumiendo drogas que puedan alterar el rendimiento.

1.3. PROCEDIMIENTOS

El estudio consistió en la medición del rendimiento en CMJ estableciendo diferentes grados de profundidad del contramovimiento. Se midió en tres ángulos de flexión de rodilla: dos preestablecidos (80 y 120 grados) y uno determinado libremente por el participante (autogestionado). La selección de los ángulos de 80° y 120° respondió a la intención de generar condiciones biomecánicamente contrastantes respecto al valor clásico de 90° propuesto en el protocolo derivado del test de Bosco (Bosco et al., 1983). Estudios previos han demostrado que variaciones por debajo y por encima de dicho ángulo modifican el perfil cinético y cinemático del salto vertical (Gheller et al., 2015; Pérez-Castilla et al., 2020; Sánchez-Sixto et al., 2018). En este sentido, el ángulo de 80° representó una condición de mayor profundidad, asociada a un mayor tiempo de aplicación de fuerza, mientras que 120° constituyó una condición de menor profundidad, con un rango de movimiento reducido y potencialmente mayor tasa de desarrollo de fuerza. La inclusión de una condición autogestionada permitió, además, comparar estas situaciones estandarizadas con el patrón espontáneo adoptado por los deportistas, aportando un componente ecológico al diseño experimental.

Para cada uno de los ángulos se midió la mayor altura alcanzada normalizada por la talla, así como el pico de potencia y fuerza relativas a la masa corporal del deportista. La altura de salto fue normalizada dividiendo la altura alcanzada en el salto (cm) por la talla del sujeto (cm), con el objetivo de relativizar el rendimiento en función de las dimensiones corporales. La talla fue registrada previamente mediante estadiómetro portátil (Seca 213, Seca GmbH & Co. KG, Alemania), siguiendo procedimientos estandarizados. Las evaluaciones fueron realizadas en su totalidad el mismo día, en las mismas condiciones, y en un piso

firme y nivelado. Los test se realizaron en el campo deportivo del club en el que entrenan los sujetos, previo a su entrenamiento diario, en el horario de la tarde.

Previo a las evaluaciones, todos los participantes realizaron una entrada en calor estandarizada de aproximadamente 5 minutos. La misma, dirigida por uno de los autores de este trabajo, consistió en movilidad general, trote suave, estiramientos dinámicos y algunas aceleraciones cortas. Esta se realizó de manera individual ya que la dinámica de la misma consistió en que, mientras un sujeto estaba siendo evaluado, el próximo comenzaba a realizar la entrada en calor. Esto se hizo con el propósito de que el tiempo entre la entrada en calor y la evaluación sea similar para todos los sujetos.

La zona de evaluación consistió de un área de 2x1m en la cual estaban ubicadas dos estacas de 1,5 metros de altura y graduadas en centímetros, separadas entre sí a una distancia de 1,5 m. Ambas estacas estaban unidas por una cuerda horizontal semi-elástica, la cual se podía desplazar en sentido vertical marcando distintas alturas. Para establecer la profundidad, previo a realizar los test se solicitó a los participantes que descendieran entre las dos estacas hasta alcanzar cada uno de los ángulos establecidos. Estos fueron medidos utilizando un goniómetro (Baseline, w50177hr, Estados Unidos). Una vez alcanzado el ángulo deseado, se solicitó al participante que mantenga la postura de forma estática.

Dicha posición fue marcada con la cuerda semi-elástica colocada justo por debajo de los glúteos a nivel de los isquiones. De este modo, el sujeto pudo realizar la fase de contramovimiento descendiendo hasta el ángulo previamente determinado (figura 1). Para el caso del salto auto-gestionado, se les solicitó a los sujetos que saltaran como lo hacen habitualmente, quitando en este caso todo tipo de referencia de profundidad.

Figura 1.

Montaje experimental.

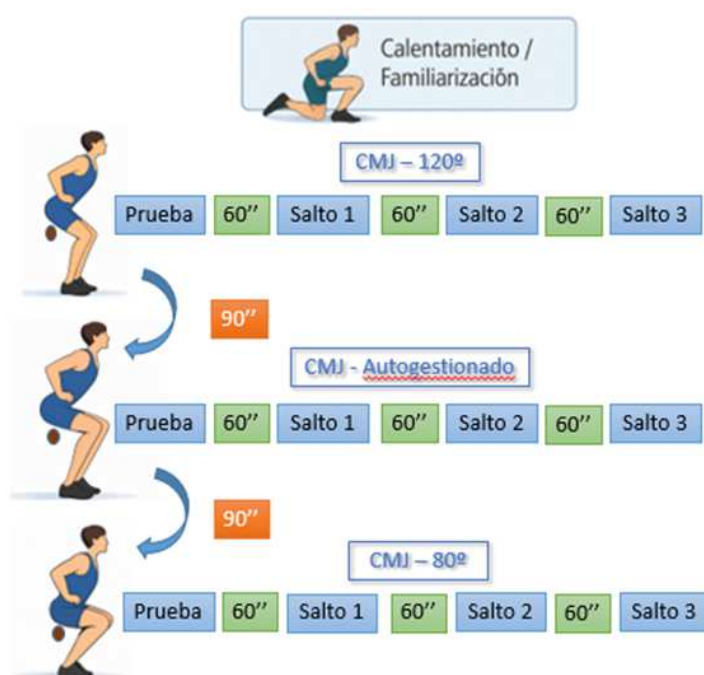


Nota. Una vez alcanzado el ángulo deseado, la cuerda semi-elástica es subida horizontalmente hasta contactar con los glúteos; posteriormente, se utiliza esa altura como referencia de profundidad del salto

Los participantes realizaron dos saltos de prueba y luego tres saltos de evaluación para cada ángulo (figura 2). Los saltos se realizaron con técnica de CMJ estandarizada: inicio en bipedestación, pies separados aproximadamente al ancho de hombros, tronco erguido, mirada al frente y manos apoyadas en la cintura. A los efectos del presente estudio, se incluyeron la totalidad de los saltos válidos realizados en cada condición como mediciones repetidas intra-sujeto. Estos intentos fueron considerados como observaciones anidadas dentro de cada participante, respetando la estructura de dependencia propia de un diseño de medidas repetidas.

Figura 2.

Esquema representativo del protocolo de evaluación empleado.



Nota: El esquema presenta una secuencia lineal con fines ilustrativos; no obstante, el orden de ejecución de las tres condiciones experimentales (80°, 120° y Autogestionado) fue aleatorizado para cada participante con el fin de neutralizar posibles efectos de aprendizaje o fatiga acumulada.

Se consideraron válidos únicamente aquellos intentos que cumplieron con los siguientes criterios: i) que las manos permanezcan en la cintura hasta el momento del despegue; ii) que el aterrizaje se produzca en el mismo lugar de partida, sin desplazamiento evidente; iii) que cuente con una ejecución fluida sin pausas en el salto; iv) que el descenso sea hasta la altura marcada por la cuerda; y v) que el aterrizaje sea con flexión plantar de tobillo. Para verificar la correcta ejecución y el cumplimiento de las condiciones establecidas, cada intento fue supervisado en tiempo real por dos evaluadores ubicados lateralmente al sujeto (observación en plano sagital).

El tiempo de recuperación entre intentos fue regulado de la siguiente manera: i) entre los saltos de prueba no hubo una pausa establecida, sino que la misma fue autogestionada por el propio deportista; ii) se otorgó como mínimo 60 segundos de pausa entre los saltos de prueba y los de evaluación correspondientes a un mismo ángulo; iii) los saltos de evaluación dentro de un mismo ángulo se realizaron con un descanso mínimo de 60 segundos entre ellos; y iv) la pausa entre

diferentes ángulos fue de un mínimo de 90 segundos, tiempo que fue aprovechado por los autores para ajustar la altura de la cuerda a la nueva posición. Todas las pausas fueron de tipo pasivo, en las cuales el deportista permaneció inmóvil o bien caminó en forma lenta alrededor de la zona, según su preferencia.

Estos tiempos de recuperación fueron seleccionados con el propósito de garantizar la resíntesis casi total de los depósitos de fosfocreatina (PCr) (>90%) así como para evitar la acumulación de fatiga neuromuscular aguda. Este intervalo asegura que cada ejecución represente la capacidad máxima de producción de fuerza del atleta, minimizando el efecto de interferencia entre las diferentes profundidades evaluadas (McMahon, S., & Jenkins, 2002).

Para evitar los efectos de la fatiga residual, las evaluaciones fueron realizadas al menos 48 horas posteriores a un entrenamiento intenso o competencia. Adicionalmente, para evitar el posible efecto que pudiera tener cada salto sobre el sucesivo, el orden de los saltos para los distintos ángulos fue aleatorizado utilizando una aplicación móvil. Se instruyó a los participantes a realizar cada intento buscando la máxima altura posible. Los saltos fueron medidos con una plataforma de salto marca Kinvent, Modelo K-Deltas XL, 2025, Francia; con una frecuencia de 4000hz y una precisión <0,1%.

Los saltos autogestionados fueron registrados en video en el plano sagital, y posteriormente el ángulo máximo de flexión de rodilla alcanzado fue determinado mediante análisis cuadro a cuadro utilizando el software Kinovea (versión 0.9.5., Kinovea Open Source Project). El ángulo fue calculado trazando segmentos correspondientes al muslo y a la pierna en el instante de máxima flexión previo al cambio de dirección del movimiento.

1.4. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos se expresan como media $\pm$ desvío estándar. Cuando se verificó el supuesto de normalidad de las diferencias entre condiciones (evaluado mediante el test de Shapiro–Wilk), se aplicó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA-RM). Adicionalmente, se evaluó el supuesto de esfericidad mediante el test de Mauchly; en caso de no cumplirse, se aplicó la corrección de Greenhouse–Geisser. Cuando se observaron diferencias estadísticamente significativas entre condiciones, se realizaron comparaciones post hoc utilizando el ajuste de Bonferroni. En caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se utilizó el test no paramétrico de Friedman, acompañado de comparaciones post hoc de Conover con corrección de Bonferroni.

En todos los casos, el tamaño del efecto se estimó mediante el estadístico d de Cohen (o su equivalente basado en rangos, cuando se emplearon pruebas no paramétricas), considerando los siguientes puntos de corte: valores ≤ 0.20 como ausencia de efecto, entre 0.21 y 0.49 como efecto pequeño, entre 0.50 y 0.79 como efecto moderado y ≥ 0.80 como efecto grande (Caycho et al., 2016).

Se adoptó un nivel de significancia de $p < 0.05$. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico libre JASP (versión 0.16.4.0; JASP Team, University of Amsterdam).

2. RESULTADOS.

Todos los jugadores seleccionados ($n=11$; edad= $18,6 \pm 0,5$ años; masa = $78,9 \pm 10,5$ kg; talla = $177,0 \pm 7,2$ cm; IMC= $24,8 \pm 2,8$ kg/m²) completaron satisfactoriamente la totalidad de los test. La temperatura ambiente registrada durante la totalidad de la evaluación osciló entre 15 y 17 grados Celsius con una humedad entre 68% y 72%. El grado de flexión de rodillas observado para la condición autogestionada fue de $91,5 \pm 11,4$ grados.

Los resultados de las evaluaciones se muestran en la tabla 1 y en las figuras 3, 4 y 5, para las variables altura normalizada, fuerza y potencia máximas relativas, respectivamente. Para las tres variables, se verificaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre condiciones. Para el caso de la altura máxima normalizada, el valor más bajo se verificó a los 120°; mientras que con ese grado de flexión los deportistas alcanzaron la máxima fuerza y potencia relativas.

Tabla 1.

Rendimiento del salto en diferentes condiciones de flexión de rodilla

	Autogestionado	80°	120°	Valor p
Altura normalizada	$0,19 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,04$	$< 0,001^*$
Fuerza relativa (N/Kg)	$23,0 \pm 2,1$	$22,6 \pm 2,0$	$25,0 \pm 2,5$	$< 0,001^*$
Potencia relativa (W/Kg)	$50,0 \pm 6,7$	$48,8 \pm 7,4$	$50,9 \pm 7,9$	$< 0,001^*$

Nota: La altura máxima de salto se normalizó por la talla del sujeto. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$; * significa estadísticamente significativo.

Figura 3.

Rendimiento en altura máxima normalizada por la talla en función de diferentes grados de flexión de rodilla en el CMJ.

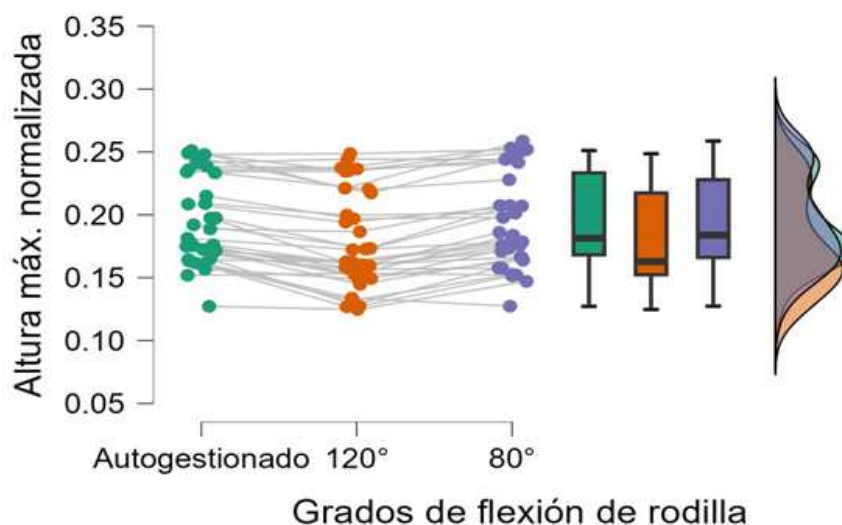


Figura 4.

Rendimiento en fuerza máxima relativa en función de diferentes grados de flexión de rodilla en el CMJ.

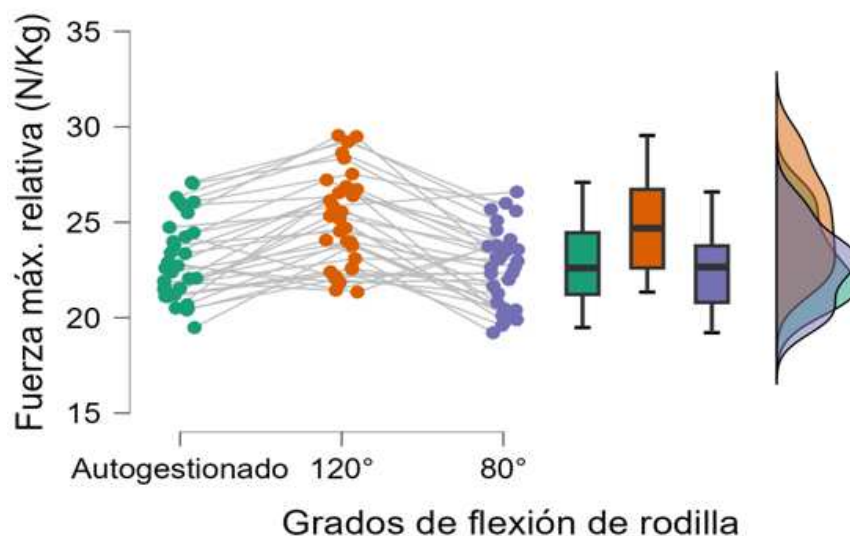
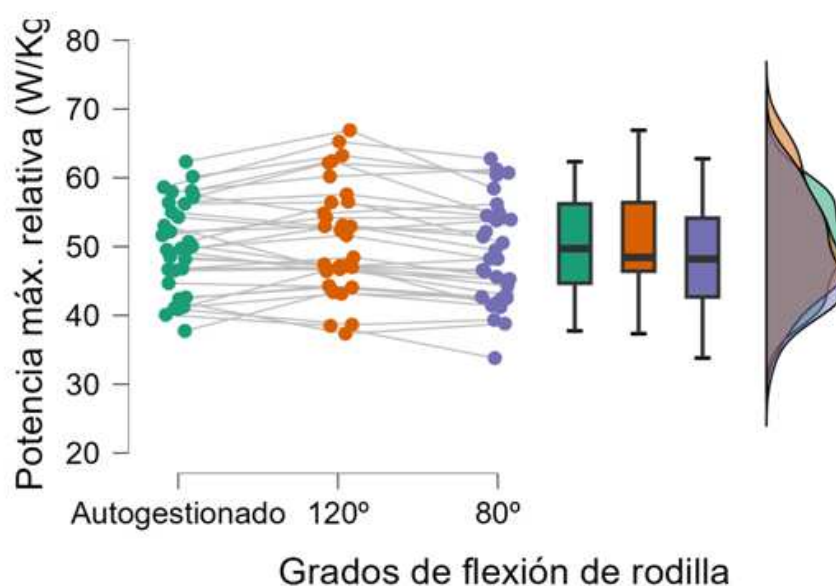


Figura 5.

Rendimiento en potencia máxima relativa en función de diferentes grados de flexión de rodilla en el CMJ.



El análisis Post hoc para las variables altura máxima y fuerza y potencia máximas relativas, se presenta en las tablas 2, 3 y 4 respectivamente. Para el caso de la altura, se observó una diferencia significativa entre las condiciones autogestionada y 120°, y entre 120° y 80°, en ambos casos con un tamaño del efecto grande (> 0.80). En lo que respecta a la fuerza, se encontró una diferencia significativa entre el salto autogestionado y el de 120° y entre el de 120° y el de 80°, en ambos casos con un tamaño del efecto grande ($p > 0.80$). Para el caso de la potencia, se observó una diferencia significativa únicamente entre las condiciones de 120° y 80° (tamaño del efecto pequeño).

Tabla 2.

Análisis Post hoc para la altura máxima de salto normalizada.

	Tamaño del efecto (d)	Valor p
A.G. - 120°	1,10	< 0,001*
A.G. - 80°	0,10	1,0
120° - 80°	-1,20	< 0,001*

Nota: Se realizó un análisis post hoc de Conover con corrección de Bonferroni. El tamaño del efecto se calculó mediante el test d de Cohen equivalente basado en rangos. A.G. = flexión de rodilla autogestionada

Tabla 3.

Análisis Post hoc para la fuerza máxima relativa

	Tamaño del efecto (d)	Valor p
A.G. - 120°	-0,898	< 0,001*
A.G. - 80°	0,189	0,401
120° - 80°	1,087	< 0,001*

*Nota: Se realizó un análisis post hoc de Bonferroni. El tamaño del efecto se calculó mediante el test d de Cohen. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$; * significa estadísticamente significativo. A.G. = flexión de rodilla en condición autogestionada*

Tabla 4.

Análisis Post hoc para la potencia máxima relativa

	Tamaño del efecto (d)	Valor p
A.G. - 120°	-0,128	0,316
A.G. - 80°	0,156	0,056
120° - 80°	0,284	< 0,001*

*Nota: Se realizó un análisis post hoc de Bonferroni. El tamaño del efecto se calculó mediante el test d de Cohen. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$; * significa estadísticamente significativo. A.G. = flexión de rodilla autogestionada*

3. DISCUSIÓN.

El presente estudio tuvo como finalidad analizar el rendimiento del salto CMJ bajo distintas condiciones de flexión de rodilla durante la fase de descenso, considerando como indicadores de rendimiento el pico de fuerza y potencia relativos y la altura máxima del salto normalizada por la talla. Los principales hallazgos fueron que, tanto el pico de fuerza como el de potencia se observaron con las menores profundidades de flexión (120°) mientras que la altura máxima se observó en el ángulo de mayor profundidad (80°), lo que está en concordancia con la hipótesis planteada. El empleo de una plataforma de fuerza (estándar de referencia para la evaluación de variables cinéticas en pruebas de salto vertical) con una frecuencia de muestreo de 4000 Hz fortalece la validez interna de los resultados obtenidos.

Este patrón es coherente con la evidencia previa y puede explicarse a partir de mecanismos biomecánicos y neuromusculares ampliamente documentados. Desde una perspectiva mecánica, la altura de salto (criterio estándar de rendimiento en el CMJ) está determinada por la velocidad vertical del centro de masas en el instante del despegue. Esta velocidad depende directamente del impulso neto aplicado durante la fase propulsiva, es decir, de la integral de la fuerza en el tiempo, y no exclusivamente del valor pico alcanzado. En este sentido, mayores picos de fuerza o de potencia no garantizan necesariamente una mayor altura si no se traducen en una aplicación eficaz y sostenida de fuerza durante la fase de aceleración.

La condición de 120° podría haber favorecido una producción más elevada de fuerza y potencia pico debido a un posicionamiento articular mecánicamente ventajoso para la expresión de fuerza instantánea. Sin embargo, la menor amplitud de flexión podría haber reducido el tiempo disponible para aplicar fuerza y, por ende, el impulso total generado, limitando la velocidad de despegue. Este hallazgo es coherente con el marco conceptual del perfil fuerza-velocidad, que propone que el rendimiento óptimo surge del equilibrio entre la capacidad de producción de fuerza y la capacidad de aceleración, más que del valor máximo aislado de una de estas variables (Jiménez-Reyes et al., 2017; Morin & Samozino, 2016).

Los resultados obtenidos en el presente estudio están en concordancia con lo encontrado por Sánchez-Sixto et al. (2018) en una muestra de 29 jugadores jóvenes de básquetbol y fútbol. En este trabajo se utilizó una plataforma de fuerza para registrar nueve CMJ, siendo tres saltos por condición (autogestionada, a mayor flexión de rodilla que la autogestionada y a menor flexión respectivamente). Dicho estudio reporta que, para la condición de mayor profundidad con respecto a la condición de autoselección, hubo un aumento en la altura de salto y de vuelo ($p \leq 0.043$), además de un impulso neto vertical significativamente mayor ($p \leq 0.001$), debido a un tiempo de aplicación de fuerza más prolongado. Por otro lado, en la condición de menor profundidad la altura fue menor ($p \leq 0.021$).

A raíz de las diferentes profundidades empleadas, los autores argumentan que cuanto mayor sea el contramovimiento, también es mayor el impulso vertical neto. Esto repercute directamente en la velocidad del centro de masa al momento del despegue, lo que explicaría la mayor altura de salto reportada. Esto condice con Dowling y Vamos (1993) y McBridge et al. (2010), quienes sugieren que el

impulso neto vertical relativo sería un mejor indicador de rendimiento en la altura del salto vertical, comparado con otras variables como la potencia pico.

Los resultados del presente trabajo también se relacionan con los obtenidos por Mandić et al. (2014) en una muestra de 11 jugadores de baloncesto, donde la condición de menor profundidad produjo los mayores valores de fuerza y potencia, y la más profunda junto con la autogestionada, la mayor altura. Sin embargo, la comparación debe ser tomada con cautela por las diferencias metodológicas entre ambos estudios. Mandić et al. (2014) definieron la profundidad a partir de un descenso o ascenso lineal de entre 10 y 20 cm respecto a la profundidad preferida en un salto autogestionado, lo que genera variaciones relativas dependientes de la talla. En cambio, en el presente estudio, y al igual que en el de Pérez-Castilla et al. (2020), se controló la profundidad mediante ángulos de flexión de rodilla, un criterio que evita que un mismo descenso lineal implique distintos ángulos articulares. Consideramos que este enfoque angular constituye una ventaja metodológica significativa, especialmente en contextos deportivos donde la comparación entre jugadores de diferentes estaturas es habitual.

En la misma línea, Pérez-Castilla et al. (2020) hallaron que las condiciones de mayor profundidad, aproximadamente 60°, 75° y 90° de flexión, generaron las alturas más elevadas, mientras que las flexiones menores produjeron saltos de menor altura. Aunque su diseño incluyó seis condiciones angulares (y en ese sentido resultó más exhaustivo que el del presente estudio), la muestra estuvo compuesta por estudiantes universitarios de ambos sexos, sin experiencia deportiva específica, lo que reduce la comparabilidad directa con el presente trabajo. Además, la frecuencia de muestreo de su plataforma (1000 Hz) fue inferior a la utilizada en el presente estudio (4000 Hz), lo que confiere a nuestros registros una mayor precisión temporal en la detección de picos de fuerza y potencia.

Por su parte, Gheller et al. (2015) en su estudio con jugadores de voleibol y baloncesto, observaron que las alturas máximas se alcanzaron en las condiciones de mayor descenso (<90°) y en la autogestionada, mientras que los valores más altos de fuerza y potencia máxima se registraron en las condiciones de menor profundidad (>90°), un patrón coincidente con nuestros resultados, donde las posiciones más profundas favorecieron la altura del salto y las menos profundas maximizaron la fuerza y la potencia. Esto se verificó incluso cuando ambos trabajos presentaron una diferencia metodológica relevante. En este sentido, en el estudio de Gheller et al. (2015) la profundidad fue definida mediante categorías angulares muy amplias (<90° y >90°), lo que implicó agrupar dentro de una misma condición saltos con diferencias flexión de rodilla por más que cada condición presentaba un tope de 10° (siendo 80° el tope de la condición <90° y 100° el tope de la condición >90°). Por otro lado, en nuestro trabajo el descenso se controló mediante ángulos específicos, buscando a partir de esta estandarización una evaluación más precisa y biomecánicamente equivalente entre sujetos.

Más allá de estas diferencias, la explicación propuesta por Gheller et al. (2015) aporta insumos para comprender por qué un salto con mayor pico de potencia y de fuerza no resulta necesariamente en un salto de mayor altura. Según los autores, los cambios en la profundidad del contramovimiento modifican la coordinación intersegmental, especialmente el acoplamiento entre muslo-tronco y pierna-muslo. En posiciones más profundas, el acoplamiento muslo-tronco tiende a ser más sincronizado en comparación con la posición de menor profundidad y la

autogestionada, lo que favorece una transmisión más eficiente del impulso vertical y contribuye a una mayor altura alcanzada.

Adicionalmente, según Bobbert et al. (2008), cuando la flexión es menor el tiempo disponible para aplicar fuerza es reducido, lo que obliga al sistema neuromuscular a generar una aceleración mayor y una elevada tasa de desarrollo de fuerza, aumentando los picos de potencia, pero a costa de un patrón coordinativo más asincrónico entre muslo y tronco. Estos autores sostienen que las modificaciones en la postura inicial alteran las longitudes de las unidades músculo-tendinosas y los momentos articulares, generando aceleraciones distintas que afectan la dinámica completa del movimiento. En conjunto, estos elementos sugieren que la influencia del ángulo de flexión de rodilla sobre el rendimiento del CMJ no depende únicamente de la magnitud de la fuerza producida, sino también de la coordinación intersegmental que el sistema emplea para optimizar el salto según el tiempo y el rango de movimiento disponible.

Con esto concuerdan Pommerell et al. (2024), quienes estudiaron la influencia de la profundidad del CMJ en diversas variables del rendimiento tales como el impulso vertical, en 17 atletas de CrossFit®. Acorde con sus resultados, la altura depende de la velocidad vertical del centro de masa en el despegue, influenciada por la coordinación intersegmentaria en la fase concéntrica; por lo que el rendimiento en el salto no radica únicamente en la fuerza y potencia aplicada, sino que también en cómo se acoplan los segmentos del cuerpo y transfieren la energía desde el suelo. La mayor profundidad no solo permite mayor tiempo para aplicar fuerza, sino que además el atleta puede lograr un patrón coordinativo más eficiente, permitiendo que la transmisión del impulso sea más efectiva.

En lo que atañe al posible efecto en el nivel de experticia sobre las variables de salto estudiadas, McMahon et al. (2017) analizaron las diferencias en el rendimiento en CMJ entre jugadores de Rugby senior (mayores de edad) y academy (juveniles) y observaron que los jugadores senior producen un mayor impulso concéntrico relativo. Esto a su vez les permite lograr una mayor velocidad durante la fase concéntrica, especialmente en el despegue. En este sentido, dichos hallazgos resultan coherentes con los del presente estudio, en tanto respaldan la interpretación de que una mayor profundidad en el CMJ proporciona un tiempo más prolongado para aplicar fuerza, favoreciendo así la generación de impulso y, por ende, una mayor altura de salto.

No obstante, es posible que la relativa falta de experiencia de los participantes del presente estudio, al tratarse de deportistas juveniles, haya limitado su capacidad para aprovechar plenamente las ventajas mecánicas asociadas a un mayor rango de movimiento. En consecuencia, podría no haberse logrado traducir esa mayor profundidad en incrementos proporcionales de fuerza o potencia, lo que contribuiría a explicar las divergencias observadas entre las distintas variables analizadas.

El presente trabajo tuvo limitaciones. Por un lado, el tamaño de la muestra era pequeño lo que determina que la extrapolación de los resultados deba ser tomada con cautela. Adicionalmente, la mayoría de los sujetos no contaban con experiencia previa en test de saltos de ningún tipo. Previo a la recolección de datos se les permitió poder realizar algunos saltos de prueba para cada condición para minimizar un posible sesgo de aprendizaje.

Por otro lado, para cada condición los ángulos ya estaban predeterminados lo que puede llegar a interferir con la coordinación intersegmentaria de los deportistas o alterar el objetivo del deportista en el salto al estar más pendiente de lograr descender a la altura requerida a enfocarse en realizar el mejor salto posible. Como sugieren Sánchez-Sixto et al. (2018), al no tener ángulos fijos y que la instrucción sea más simple para el deportista puede contribuir a un mejor rendimiento en el salto, particularmente teniendo en cuenta que los sujetos no contaban con experiencia en CMJ.

4. CONCLUSIONES

Hasta donde alcanza nuestro conocimiento, el presente estudio constituye el primero de estas características en la población de rugby juvenil uruguayo. Los resultados permiten concluir que la profundidad del contramovimiento ejerce un efecto diferencial y significativo sobre las variables de rendimiento neuromuscular en esta población. Se observó que, mientras los ángulos de flexión más profundos (80° y autogestionado) optimizan la altura del salto mediante un mayor tiempo de aplicación de fuerza y un impulso neto superior, los ángulos más abiertos (120°) maximizan la fuerza y potencia pico relativas, favoreciendo una respuesta mecánica más rápida. Esto subraya que el rendimiento en el CMJ no debe interpretarse como una variable única, sino como un perfil dependiente de la angulación empleada.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados sugieren que la profundidad inicial del CMJ debería seleccionarse en función de la variable que se desea enfatizar. Cuando el objetivo es maximizar la altura de salto, resulta más conveniente emplear una mayor profundidad de flexión, ya que favorece una mayor aplicación de impulso y velocidad de despegue. En cambio, si el propósito es enfatizar la producción máxima de fuerza o potencia pico, una menor profundidad de flexión ($\approx 120^\circ$) podría resultar más adecuada, dado que en esta condición se observaron los valores máximos más elevados de estas variables, aunque ello no se tradujera en mayor altura final.

Estos hallazgos refuerzan la idea de que la profundidad del CMJ no es una variable neutra, sino una decisión metodológica y de entrenamiento que debe alinearse con el objetivo específico de rendimiento.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Anicic, Z., Janicijevic, D., Knezevic, O. M., Garcia-Ramos, A., Petrovic, M. R., Cabarkapa, D., & Mirkov, D. M. (2023). Assessment of countermovement jump: What should we report? *Life*, 13(1), 190. <https://doi.org/10.3390/life13010190>
- Asociación Médica Mundial. (2024). *Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas con participantes humanos*. <https://www.wma.net/es/polices-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos>
- Baker, D. G., & Newton, R. U. (2008). Comparison of lower body strength, power, acceleration, speed, agility, and sprint momentum to describe and compare

- playing rank among professional rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(1), 153-158. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f9519>
- Beckham, G., Suchomel, T., & Mizuguchi, S. (2014). Force plate use in performance monitoring and sport science testing. *New Studies in Athletics*, 29(3), 25-37. https://www.researchgate.net/publication/269631495_Force_Plate_Use_in_Performance_Monitoring_and_Sport_Science_Testing
- Bobbert, M. F., Casius, L. J., Sijpkens, I. W. & Jaspers, R. T. (2008). Human adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *Journal of Applied Physiology*, 105(5), 1428-1440. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90571.2008>
- Caycho, T., Ventura-León, J., & Castillo-Blanco, R. (2016). Magnitud del efecto para la diferencia de dos grupos en ciencias de la salud. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 39(3), 459-461.
- Dowling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(2), 95-110. <https://doi.org/10.1123/jab.9.2.95>
- Gheller, R. G., Dal Pupo, J., Ache-Días, J., Detanico, D., Padulo, J., & dos Santos, S. G. (2015). Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. *Human Movement Science*, 42, 71-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2015.04.010>
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7, 677. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Komi, P. V. (2000). *Strength and power in sport*. 2da Edición. Blackwell Science.
- Mandic, R., Jakovljevic, S., & Jaric, S. (2014). Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25(2), 265-272. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.11.001>
- McHugh, M. P., Cohen, J. A., Orishimo, K. F., & Kremenich, I. J. (2024). Effect of countermovement depth on the neuromechanics of a vertical jump. *Translational Sports Medicine*, 2024, 7113900. <https://doi.org/10.1155/2024/7113900>
- McBride, J. M., Kirby, T. J., Haines, T. L., & Skinner, J. (2010). Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 84-96. <https://doi.org/10.1123/ijspp.5.4.484><https://doi.org/10.1123/ijspp.5.4.484>
- McMahon, J. J., Lake, J. P., Dos' Santos, T., Jones, P. A., Thomasson, M. L., & Comfort, P. (2022). Countermovement jump standards in rugby league: what is a "good" performance?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(6), 1691-1698. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003697>

- McMahon, S., & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Medicine*, 32(12), 761-784. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232120-00002>
- McMahon, J. J., Murphy, S., Rej, S. J., & Comfort, P. (2017). Countermovement-jump-phase characteristics of senior and academy rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(6), 803-811. <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0467>
- Morin, J. B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(2), 267-272. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0638>
- Pérez-Castilla, A., Weakley, J., García-Pinillos, F., Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2020). Influence of countermovement depth on the countermovement jump-derived reactive strength index modified. *European Journal of Sport Science*, 21(12), 1606–1616. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1845815>
- Pommerell, F., Boyas, S., Samozino, P., Morel, B., Begue, J., Rahmani, A., & Peyrot, N. (2024). Influence of countermovement depth on net force, push-off time, vertical impulse and performance during jumping. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 79, 102945. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2024.102945>
- Pommerell, F., Boyas, S., Samozino, P., Morel, B., Begue, J., Rahmani, A., & Peyrot, N. (2025). How does push-off distance influence force-velocity profile and performance during vertical jumping? *Journal of Applied Biomechanics*, 41(2), 161–166. <https://doi.org/10.1123/jab.2024-0194>
- Roe, G., Darrall-Jones, J., Till, K., Phibbs, P., Read, D., Weakley, J., & Jones, B. (2016). Between-days reliability and sensitivity of common fatigue measures in rugby players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 581–586. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0413>
- Sánchez-Sixto, A., Harrison, A. J., & Floría, P. (2018). Larger countermovement increases the jump height of countermovement jump. *Sports*, 6(4), 131. <https://doi.org/10.3390/sports6040131>
- Unión de Rugby del Uruguay. (2025). *Unión de Rugby del Uruguay*. <https://uru.org.uy/>
- World Rugby (2025) World Rugby. <https://passport.world.rugby/media/k2ekxsmo/2501en-world-rugby-laws-2025-compressed.pdf>

Fecha de recepción: 9/1/2026
 Fecha de aceptación: 11/3/2026