

VARIABILIDAD DEL ATERRIZAJE CON Y SIN FEEDBACK VISUAL Y SU EFECTO EN EL CONTROL NEUROMUSCULAR POST-LCA LANDING VARIABILITY WITH AND WITHOUT VISUAL FEEDBACK AND ITS EFFECT ON POST-ACL NEUROMUSCULAR CONTROL

Autores: ¹Kevin Vinicio Moposita Torres y ²Christian Fernando Morales Arcos.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-3359-0769>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9245-5721>

¹E-mail de contacto: kevin.mopositorres6960@upse.edu.ec

²E-mail de contacto: christian.morales@casagrande.edu.ec

Afiliación: ¹²Universidad Estatal Península de Santa Elena, (Ecuador).

Artículo recibido: 4 de Agosto del 2026.

Artículo revisado: 6 de Agosto del 2026.

Artículo aprobado: 6 de Agosto del 2026.

¹Licenciado en Terapia Física, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, (Ecuador). Docente de Educación Superior y experiencia en rehabilitación física deportiva.

²Abogado, graduado de la Universidad Metropolitana, (Ecuador). Magíster en Derecho Deportivo de la Universidad Bolivariana del Ecuador, (Ecuador). Especializado en derecho del fútbol, asesor jurídico en materia de derecho del fútbol, (Ecuador).

Resumen

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) presenta altas tasas de re-lesión en el fútbol debido a déficits persistentes de control neuromuscular posquirúrgico. Ante la persistencia de estos déficits y la limitación de los enfoques tradicionales de rehabilitación estática, surge el problema de consolidar patrones compensatorios nocivos al momento de aterrizar. Por ello, resulta relevante diseñar y validar entrenamientos neuromusculares dinámicos que contribuyan a reducir la brecha clínico-deportiva. El objetivo de este estudio fue evaluar el control neuromuscular de la rodilla en jóvenes tras la aplicación de un programa de aterrizajes dirigido a la mejora del rendimiento, analizando su incidencia con y sin feedback visual. Metodológicamente, se empleó un diseño experimental cruzado (cross-over) con enfoque cuantitativo en 8 futbolistas masculinos (18-21 años) con antecedentes de reconstrucción de LCA. Durante 8 semanas, los participantes ejecutaron aterrizajes bajo condiciones de variabilidad alternando dos escenarios: Con Feedback Visual (CFV) y Sin Feedback Visual (SFV), evaluados mediante el Y Balance Test (YBT). Los resultados indicaron que la condición CFV mostró un incremento del 11.9% en el Score Compuesto del YBT, superando al 4.2% obtenido en la condición SFV ($p < 0.001$). Se concluye que la variabilidad de la práctica favorece el control

neuromuscular, observándose mayores beneficios al incluir retroalimentación visual. Estos hallazgos sugieren la utilidad de integrar tecnologías de biofeedback visual en los procesos de readaptación deportiva.

Palabras clave: Control neuromuscular, LCA, Feedback visual, Fútbol.

Abstract

Anterior cruciate ligament (ACL) rupture presents high re-injury rates in soccer due to persistent post-surgical neuromuscular control deficits. Given the persistence of these deficits and the limitations of traditional static rehabilitation approaches, the problem of consolidating harmful compensatory patterns upon landing arises. Therefore, it is relevant to design and validate dynamic neuromuscular training programs that contribute to reducing the clinical-sports gap. The objective of this study was to evaluate knee neuromuscular control in young athletes following the implementation of a landing program aimed at performance improvement, analyzing its impact with and without visual feedback. Methodologically, a quantitative cross-over experimental design was employed with 8 male soccer players (aged 18-21 years) with a history of ACL reconstruction. Over 8 weeks, participants executed landings under variable conditions, alternating two scenarios: Visual Feedback (VF) and No Visual Feedback (NVF), assessed using the Y Balance Test

(YBT). Results indicated that the VF condition showed an 11.9% increase in the YBT Composite Score, significantly surpassing the 4.2% obtained in the NVF condition ($p < 0.001$). It is concluded that practice variability favors neuromuscular control, with greater benefits observed when including visual feedback. These findings suggest the utility of integrating visual biofeedback technologies into sports rehabilitation processes.

Keywords: Neuromuscular control, ACL, Visual feedback, Soccer.

Sumário

A ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) apresenta altas taxas de recidiva de lesão no futebol devido a déficits persistentes de controle neuromuscular pós-cirúrgico. Diante da persistência desses déficits e da limitação das abordagens tradicionais de reabilitação estática, surge o problema de consolidar padrões compensatórios nocivos no momento da aterrissagem. Por isso, torna-se relevante projetar e validar treinamentos neuromusculares dinâmicos que contribuam para reduzir a lacuna clínico-esportiva. O objetivo deste estudo foi avaliar o controle neuromuscular do joelho em jovens após a aplicação de um programa de aterrissagens voltado para a melhoria do desempenho, analisando sua incidência com e sem feedback visual. Metodologicamente, empregou-se um desenho experimental cruzado (cross-over) com abordagem quantitativa em 8 jogadores de futebol do sexo masculino (18-21 anos) com histórico de reconstrução do LCA. Durante 8 semanas, os participantes executaram aterrissagens sob condições de variabilidade alternando dois cenários: Com Feedback Visual (CFV) e Sem Feedback Visual (SFV), avaliados por meio do Y Balance Test (YBT). Os resultados indicaram que a condição CFV apresentou um incremento de 11,9% no Escore Composto do YBT, superando os 4,2% obtidos na condição SFV ($p < 0,001$). Conclui-se que a variabilidade da prática favorece o controle neuromuscular, observando-se maiores benefícios ao incluir retroalimentação visual. Estes achados sugerem a utilidade de integrar

tecnologias de biofeedback visual nos processos de readaptação esportiva.

Palavras-chave: Controle neuromuscular, LCA, feedback visual, futebol.

Introducción

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) se consolida como una de las lesiones musculoesqueléticas más graves, costosas y recurrentes dentro del fútbol a nivel mundial (Salazar et al., 2026; Brumitt et al., 2020). Este fenómeno se asocia directamente a las demandas biomecánicas de la disciplina deportiva, la cual exige de forma continua ejecuciones de pivote, desaceleraciones rápidas, saltos y cambios de dirección intempestivos. La literatura reporta de forma consistente que la incidencia de esta lesión ha incrementado notablemente en futbolistas jóvenes y adolescentes, convirtiéndose en un problema prioritario de salud pública y rendimiento deportivo debido al prolongado tiempo de baja y los altos costos de su manejo clínico (Gornitzky et al., 2016).

A pesar de los avances significativos en las técnicas de reconstrucción quirúrgica y en los protocolos de fisioterapia, el retorno exitoso al nivel competitivo previo (RTS, por sus siglas en inglés) sigue siendo un desafío complejo. Los datos epidemiológicos demuestran de manera alarmante que únicamente entre el 55% y el 65% de los futbolistas que sufren esta lesión logran retornar a su nivel de competencia anterior, mientras que una proporción considerable de atletas de nivel aficionado o recreativo abandona la práctica formal debido al miedo a una nueva lesión o a déficits funcionales residuales (Arder et al., 2014). Esta baja tasa de éxito evidencia que la simple restauración anatómica del ligamento mediante cirugía es insuficiente para garantizar la funcionalidad y la seguridad biológica de la articulación de la rodilla en gestos de alta

exigencia competitiva. El origen principal de las tasas elevadas de re-lesión y del descenso en el rendimiento funcional radica en la persistencia de déficits de control neuromuscular que no se resuelven de forma espontánea tras la cirugía (Martínez et al., 2025). Posterior a una reconstrucción de LCA, los atletas desarrollan de manera sistemática alteraciones en los patrones de activación muscular, retraso en la contracción de los isquiotibiales respecto a los cuádriceps (coactivación deficiente) y asimetrías significativas en la distribución de la carga entre la extremidad lesionada y la sana (Huwiler y Curdy, 2022; Gokeler et al., 2020). Estas compensaciones subconscientes alteran la propiocepción y debilitan la capacidad del sistema nervioso central para estabilizar de forma activa la rodilla durante las fuerzas de cizallamiento e impacto.

Dentro del espectro biomecánico del fútbol, la fase de aterrizaje tras un salto vertical o multidireccional representa el escenario donde ocurre la mayor parte de las lesiones de LCA sin contacto directo. Durante este instante de milisegundos, si el deportista exhibe una técnica deficiente caracterizada por una escasa flexión de rodilla, aducción de cadera y valgo dinámico excesivo, la articulación absorbe fuerzas de impacto multidireccionales que superan la resistencia estructural de la plastia ligamentosa (Hewett et al., 2016). Por consiguiente, evaluar y entrenar la calidad del aterrizaje se ha convertido en el pilar fundamental para predecir el riesgo de recidiva y determinar la aptitud funcional para el retorno seguro al terreno de juego (Flórez, 2025). Históricamente, los programas de prevención y readaptación física se han enfocado de manera casi exclusiva en el entrenamiento de fuerza analítica, estabilidad estática sobre superficies inestables y ejercicios de flexibilidad de corte tradicional. Si bien estas intervenciones logran incrementar el torque

muscular máximo en condiciones de laboratorio, muestran una transferencia muy limitada cuando el atleta se enfrenta a la naturaleza caótica, reactiva y veloz de un partido de fútbol (Massot, 2025; Benjaminse et al., 2019). Esta brecha metodológica resalta la necesidad de implementar estrategias de aprendizaje motor más contemporáneas que preparen al sistema musculoesquelético para responder ante situaciones imprevistas de juego.

Para subsanar las limitaciones de los entrenamientos repetitivos y predecibles, la teoría del aprendizaje motor introduce el concepto de la variabilidad de la práctica. Entrenar bajo condiciones variables implica alterar deliberadamente y de forma sistemática la altura del salto, la dirección del aterrizaje, la presencia de estímulos perturbadores y la velocidad de ejecución (Menain, 2025). Esta variabilidad deliberada obliga al sistema nervioso a explorar diferentes soluciones de movimiento (sinergias motoras), lo cual genera un patrón de control más robusto, adaptable y resiliente ante las perturbaciones inesperadas características del fútbol real (Sarvestan y Fakhraei Rad, 2025).

Paralelamente, la incorporación de tecnologías de retroalimentación inmediata, o biofeedback visual, ha transformado los procesos de readaptación funcional al acelerar la curva de aprendizaje del atleta. A través de la visualización de cámaras de alta velocidad en tiempo real, pantallas táctiles o proyecciones de su propio valgo dinámico (por ejemplo, mediante sistemas interactivos), el futbolista recibe información extrínseca inmediata sobre la calidad de su movimiento. Este estímulo visual permite que el cerebro modifique conscientemente la alineación articular y el plano de apoyo en las fases iniciales del

entrenamiento, facilitando una rápida transición hacia la automatización subconsciente de un patrón motor protector (Queen et al., 2021).

Sin embargo, la interacción entre la variabilidad de la práctica y la presencia o ausencia de feedback visual constituye un vacío científico que aún requiere mayor exploración en la literatura deportiva. Cuando los deportistas entrenan bajo condiciones de variabilidad, pero carecen de una guía visual, existe el riesgo de que el sistema nervioso consolide y automatice patrones compensatorios ineficientes, ralentizando el aprendizaje técnico seguro (Schmidt et al., 2023). En contraste, la combinación de la variabilidad con el feedback visual inmediato podría actuar de manera sinérgica: la variabilidad desafía la adaptabilidad del deportista, mientras que el feedback visual establece el límite de seguridad biomecánica al permitir la corrección de desviaciones riesgosas.

En este contexto, el presente estudio busca aportar evidencia para diseñar metodologías de entrenamiento neuromuscular dinámico que trasciendan los ejercicios estáticos y reduzcan la brecha entre la clínica de fisioterapia y el campo deportivo. Disminuir las tasas de re-lesión del LCA no solo impacta positivamente en la salud integral del futbolista, sino que proporciona a los profesionales del deporte un protocolo estructurado que mejore la toma de decisiones al momento de otorgar el alta médica (Wohl et al., 2024; Llurda, 2020). A partir de la necesidad de esclarecer cómo interactúan estas estrategias metodológicas durante la fase de aterrizaje, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo incide la variabilidad del aterrizaje con y sin feedback visual en el control neuromuscular de rodilla en futbolistas jóvenes con antecedentes de lesión de LCA? Para dar respuesta a esta interrogante, la investigación

tiene como objetivo evaluar el control neuromuscular de la rodilla en jóvenes tras la aplicación de un programa de aterrizajes dirigido a la mejora del rendimiento funcional, analizando específicamente su incidencia en escenarios con y sin retroalimentación visual.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, utilizando mediciones numéricas y análisis estadísticos para evaluar los cambios en las variables de estudio. El tipo de investigación fue aplicada y de alcance explicativo, puesto que buscó determinar el efecto directo de la manipulación de la variable independiente (condiciones de feedback visual durante el entrenamiento con variabilidad) sobre la variable dependiente (control neuromuscular).

El diseño de la investigación fue experimental de medidas repetidas contrabalanceado (diseño cross-over o cruzado). Este diseño metodológico permitió que todos los participantes experimentaran ambas condiciones de intervención, actuando cada sujeto como su propio control. Para mitigar el efecto de arrastre, la muestra fue dividida aleatoriamente en dos secuencias de intervención mediante un software de aleatorización, intercalando un periodo de lavado (washout period) de dos semanas entre los bloques de entrenamiento. La población de estudio estuvo conformada por futbolistas de la provincia de Pichincha que contaban con antecedente quirúrgico de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA).

La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, quedando constituida por ocho futbolistas masculinos ($N = 8$) con edades comprendidas entre los 18 y 21 años, pertenecientes a clubes filiales formativos de la región. El tamaño muestral ($N = 8$) se

justifica metodológicamente por la alta especificidad y rigurosidad de los criterios de inclusión, los cuales delimitaron una población clínica muy específica. Adicionalmente, el diseño cruzado compensa esta limitación: al actuar cada participante como su propio control,

se reduce significativamente la varianza del error interindividual, lo que proporciona la potencia estadística adecuada para detectar diferencias intra-sujeto válidas en pruebas de medidas repetidas.

Tabla 1. Criterios de elegibilidad.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Deportistas que padecieron LCA	Deportistas que no han padecido LCA
Futbolistas de 18 a 21 años de edad	Futbolistas fuera del rango de edad de 18 a 21 años.
Futbolistas pertenecientes a clubes filiales y federados	Futbolistas autónomos o que no pertenecen a clubes filiales
Sujetos que acceden a participar de forma voluntaria	Sujetos que se niegan a participar

Fuente: Elaboración propia.

El estudio se desarrolló en estricto apego a los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos establecidos en la Declaración de Helsinki. Previo al inicio de las evaluaciones, todos los participantes fueron informados detalladamente sobre los objetivos, la metodología, los posibles riesgos y los beneficios del estudio. Cada deportista firmó un documento de consentimiento informado, garantizando la confidencialidad de sus datos y su derecho a retirarse de la investigación en cualquier momento sin penalización alguna.

Se ejecutó un programa de entrenamiento neuromuscular con una duración total de ocho semanas efectivas, estructurado en dos bloques de cuatro semanas cada uno, separados por un periodo de lavado de dos semanas (semanas 5 y 6). Las sesiones se realizaron con una frecuencia de tres días por semana, integrando un total de 24 sesiones de 45 minutos. Cada sesión incluyó 10 minutos de calentamiento dinámico, 30 minutos de fase central y 5 minutos de vuelta a la calma. La fase central consistió en 4 ejercicios pliométricos ejecutados en 3 series de 6 a 8 repeticiones, con pausas de 90 segundos entre series para evitar la alteración

técnica por fatiga periférica. -Bloque 1 (Semanas 1 a 4): El Subgrupo 1 ejecutó el protocolo bajo la condición Con Feedback Visual (CFV). El biofeedback se proporcionó mediante una cámara configurada a 60 fps que transmitía en tiempo real el plano frontal del deportista hacia un monitor de 32 pulgadas, ubicado a 2 metros frente a la zona de aterrizaje. Esto permitió corregir desviaciones articulares al instante. El Subgrupo 2 ejecutó el mismo protocolo Sin Feedback Visual (SFV), sin espejos ni monitores, basándose únicamente en su propiocepción. Los ejercicios incluyeron saltos desde cajones pliométricos (20 a 40 cm de altura), variando aleatoriamente la dirección de caída, la altura del cajón, la velocidad del despegue y la anticipación del estímulo motor.

-Periodo de Lavado (Semanas 5 y 6): Los participantes suspendieron el protocolo experimental y mantuvieron exclusivamente su entrenamiento táctico convencional. -Bloque 2 (Semanas 7 a 10): Se aplicó el contrabalanceo. El Subgrupo 1 entrenó SFV, mientras que el Subgrupo 2 pasó a entrenar CFV, manteniendo las mismas variables de volumen, intensidad y progresiones aplicadas en el primer bloque.

Para cuantificar la mejora funcional y la estabilidad dinámica de la extremidad inferior, se empleó el Y Balance Test (YBT). La elección de este instrumento se fundamenta en su extensa validación dentro de la literatura científica deportiva para la evaluación del control postural dinámico y la asimetría neuromuscular en poblaciones posquirúrgicas. El YBT posee propiedades psicométricas robustas, reportando altos índices de fiabilidad test-retest e inter-evaluador (Coeficiente de Correlación Intraclass [CCI] > 0.85).

La prueba evaluó la distancia máxima alcanzada por el futbolista al movilizar la extremidad libre en tres direcciones vectoriales (anterior, posteromedial y posterolateral) manteniendo el apoyo unipodal estricto. El Score Compuesto se calculó promediando los tres alcances máximos normalizados respecto a la longitud real de la extremidad inferior de cada sujeto (desde la espina ilíaca anterosuperior hasta el maléolo medial). Se registraron tres intentos válidos por cada dirección de forma estandarizada, descartando ejecuciones donde se perdía el equilibrio o el pie de alcance tocaba fuertemente el suelo.

Los datos crudos se organizaron en matrices de Microsoft Excel y el análisis inferencial se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SPSS. Se aplicaron pruebas descriptivas para calcular las medias y desviaciones estándar. Debido al tamaño muestral (N=8), se verificó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Al confirmarse que los datos presentaron una distribución normal ($p > 0.05$), se empleó estadística paramétrica. Se aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas a fin de realizar la comparación intra-sujeto del desempeño cinemático, contrastando el delta de cambio (Posttest - Pretest) bajo la condición CFV frente al delta alcanzado en la condición

SFV. El nivel de significancia se estableció en $\alpha = 0.05$.

Resultados y Discusión

Posterior a la aplicación del programa, se procesaron los datos correspondientes a los alcances máximos en las tres direcciones (anterior, posteromedial y posterolateral) y al Score Compuesto global del Y Balance Test (YBT). Los resultados se presentan diferenciando el impacto del entrenamiento bajo la condición Con Feedback Visual (CFV) frente a la condición Sin Feedback Visual (SFV). Es así que, se detallan las características antropométricas y clínicas iniciales de los ocho futbolistas que completaron el estudio, asegurando la homogeneidad del grupo antes de comenzar las fases de intervención.

La Tabla 2 presenta las características sociodemográficas y clínicas iniciales de los ocho participantes incluidos en el estudio. La edad promedio fue de $18,8 \pm 1,8$ años, con valores comprendidos entre 16 y 21 años, lo que evidencia una muestra relativamente homogénea en cuanto a edad y correspondiente principalmente a adolescentes tardíos y adultos jóvenes. Respecto a las características antropométricas, la masa corporal media fue de $69,4 \pm 4,7$ kg, con un rango entre 61,8 y 75,1 kg, mientras que la estatura promedio fue de $1,73 \pm 0,05$ m, variando entre 1,65 y 1,80 m. Las desviaciones estándar relativamente reducidas indican que no existieron diferencias marcadas entre los participantes en estas variables al inicio del estudio.

En relación con las características clínicas, se observó una distribución equilibrada de la extremidad afectada, ya que cuatro participantes presentaron afectación en la extremidad derecha y cuatro en la izquierda, lo que corresponde al 50 % de la muestra en cada

caso. Esta distribución permite señalar que no existió predominio de lateralidad dentro del grupo estudiado. Por tanto, la extremidad comprometida no muestra inicialmente una concentración hacia alguno de los lados que pudiera caracterizar de manera particular a la muestra. El tiempo transcurrido desde la intervención quirúrgica presentó una media de $7,5 \pm 0,9$ meses, con valores que oscilaron entre 6,5 y 9,0 meses. La limitada dispersión observada en esta variable evidencia que los participantes se encontraban en etapas postquirúrgicas relativamente similares al momento de iniciar el estudio. Esta característica resulta importante, debido a que el tiempo de recuperación posterior a una cirugía

puede influir sobre variables funcionales como la fuerza muscular, la estabilidad, la movilidad y el desempeño físico. En términos generales, los resultados iniciales muestran una muestra con características antropométricas y clínicas relativamente homogéneas, particularmente en edad, estatura y tiempo postquirúrgico. Asimismo, la distribución equitativa de la extremidad afectada contribuye a una caracterización balanceada de los participantes. No obstante, debido al reducido tamaño muestral ($N = 8$), estos resultados deben interpretarse principalmente como una descripción de las condiciones basales del grupo y no como características generalizables a una población más amplia

Tabla 2. Características sociodemográficas y clínicas de los participantes al inicio del estudio ($N=8$).

Sujeto	Edad (años)	Masa Corporal (kg)	Estatura (m)	Extremidad Afectada	Tiempo Postquirúrgico (meses)
1	19	72.5	1.76	Derecha	7.5
2	21	68.0	1.72	Izquierda	8.0
3	17	64.3	1.69	Derecha	6.5
4	20	75.1	1.80	Derecha	9.0
5	16	61.8	1.65	Izquierda	7.0
6	18	70.4	1.74	Izquierda	8.5
7	19	73.9	1.78	Derecha	6.5
8	21	69.2	1.71	Izquierda	7.0
Media $\pm$ DE	18.8 ± 1.8	69.4 ± 4.7	1.73 ± 0.05	-	7.5 ± 0.9

Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar la hipótesis de investigación, se analizaron los puntajes del Score Compuesto del YBT (expresados en porcentaje respecto a la longitud de la extremidad) obtenidos en el pretest y posttest de cada bloque experimental. La Figura 1 muestra el desarrollo del pretest

mediante el Y Balance Test, empleado para valorar el equilibrio dinámico, el control postural y la estabilidad funcional de la extremidad inferior. Durante la ejecución se observa al participante manteniendo el apoyo unipodal mientras realiza alcances con la

extremidad contralateral en las diferentes direcciones establecidas por el protocolo, conservando el control del centro de gravedad sobre la base de sustentación. Asimismo, la prueba se realiza bajo supervisión profesional, lo que permite controlar la correcta ejecución del movimiento y reducir posibles compensaciones durante la evaluación. Esta

valoración inicial permite identificar posibles limitaciones en la estabilidad, propiocepción, coordinación neuromuscular y control de la extremidad de apoyo, además de servir como referencia para posteriores comparaciones con los resultados obtenidos después de la intervención.



Figura 1. *Pretest*

Fuente: Elaboración propia, representación gráfica de la toma del Y Balance Test.

La Figura 2 muestra la aplicación del Y Balance Test durante el postest, permitiendo valorar el equilibrio dinámico y el control postural después de la intervención. Su aplicación

facilita la comparación con los resultados iniciales y permite determinar posibles mejoras en la estabilidad y el control neuromuscular de las extremidades inferiores.

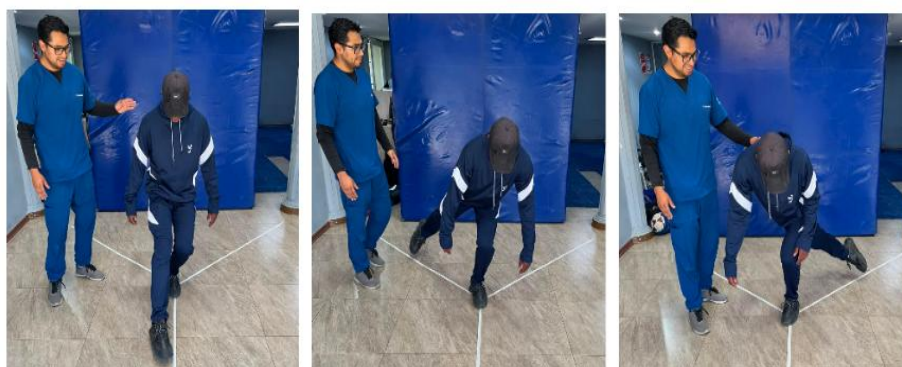


Figura 2. *Postest.*

Fuente: *Elaboración propia, representación gráfica de la toma del Y Balance Test.*

La Tabla 3 muestra de forma individualizada y grupal el rendimiento de los atletas. Se observa que el entrenamiento basado en la variabilidad produjo mejoras en ambas condiciones; sin

embargo, el incremento fue notablemente superior cuando se integró el feedback visual inmediato.

Tabla 3. Puntajes del Score Compuesto global del Y Balance Test (%) en las fases pretest y posttest por condición

Sujeto	Condición Con Feedback Visual (CFV)		Condición Sin Feedback Visual (SFV)	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	82.3%	94.1%	83.1%	87.5%
2	79.5%	91.8%	80.2%	84.1%
3	85.1%	96.4%	84.6%	89.0%
4	88.0%	98.2%	87.1%	91.3%
5	76.4%	89.5%	77.3%	81.2%
6	81.0%	92.7%	81.5%	85.8%
7	83.6%	95.0%	83.0%	86.9%
8	80.1%	93.3%	79.9%	84.5%
Media $\pm$ DE	82.0% $\pm$ 3.6%	93.9% $\pm$ 2.7%	82.1% $\pm$ 3.1%	86.3% $\pm$ 3.1%

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el comportamiento multidireccional por vectores (Tabla 4), el vector anterior (que genera una alta exigencia en el control del valgo dinámico y la flexión de rodilla durante el cambio de dirección) reflejó la mayor diferencia significativa en favor de la condición CFV.

Tabla 4. Alcances máximos normalizados por dirección vectorial del YBT (% de longitud de pierna).

Vector Analizado	Pre-CFV	Post-CFV	Pre-SFV	Post-SFV
Anterior	68.4% $\pm$ 4.1%	79.8% $\pm$ 3.2%	68.7% $\pm$ 3.9%	71.5% $\pm$ 3.6%
Posteromedial	87.2% $\pm$ 3.8%	99.1% $\pm$ 2.9%	87.5% $\pm$ 3.5%	92.1% $\pm$ 3.4%
Posterolateral	90.4% $\pm$ 4.2%	102.8% $\pm$ 3.1%	90.1% $\pm$ 4.0%	95.3% $\pm$ 3.8%

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de Shapiro-Wilk confirmó la distribución normal de las diferencias de los puntajes del Score Compuesto entre el posttest y el pretest para ambas condiciones ($W = 0.94$, $p = 0.58$). Al aplicar la prueba t de Student para muestras relacionadas para comparar la ganancia neta o delta de aprendizaje (Posttest -

Pretest), se hallaron diferencias estadísticamente significativas en favor del uso de retroalimentación extrínseca. La ganancia media en el Score Compuesto bajo la condición Con Feedback Visual fue de 11.9% $\pm$ 1.4%, mientras que bajo la condición Sin Feedback Visual fue de solo 4.2% $\pm$ 0.7%. El análisis inferencial determinó que esta diferencia de mejora entre ambas modalidades de entrenamiento neuromuscular fue altamente significativa ($t(7) = 13.84$, $p < 0.001$, con un tamaño del efecto grande medido a través de la d de Cohen). Esto demuestra objetivamente que asociar el biofeedback visual a la práctica variable acelera y potencia el control neuromuscular estables en acciones de corte y giros específicos del fútbol.

Los resultados del presente estudio indican que un programa de entrenamiento neuromuscular basado en la variabilidad del aterrizaje produce mejoras en el control neuromuscular dinámico de futbolistas jóvenes con antecedentes de reconstrucción de LCA. La magnitud de estos beneficios fue superior cuando la práctica variable se complementó con un sistema de

feedback visual inmediato (CFV), logrando un incremento medio del 11.9% en el Score Compuesto del Y Balance Test (YBT), frente al 4.2% alcanzado bajo la condición sin retroalimentación visual (SFV). Estos datos sugieren que, aunque la exposición a tareas cambiantes estimula la exploración motora, el sistema nervioso central requeriría un marco de referencia extrínseco para consolidar patrones de movimiento seguros de forma acelerada.

La superioridad observada en la condición CFV concuerda con las investigaciones recientes de alto impacto desarrolladas por Vargas et al. (2026) y Queen et al. (2021). Estos autores reportaron que el uso de biofeedback interactivo en tiempo real reduce factores de riesgo biomecánicos de re-lesión, como el valgo dinámico de rodilla, en poblaciones adolescentes que retornan al deporte poscirugía. La retroalimentación visual actuaría como catalizador del aprendizaje motor al proporcionar un foco de atención externo, mecanismo que facilita la retención y transferencia hacia situaciones caóticas de juego, según Benjaminse et al. (2019). Al contrastar nuestros hallazgos con estos estudios, se refuerza la premisa de que el estímulo visual inmediato previene la dependencia exclusiva de estrategias de compensación propioceptiva defectuosas.

En contraste, el menor progreso en la condición SFV abre un debate metodológico fundamental. Autores como Schmidt et al. (2023) sostienen que el entrenamiento neuromuscular y la práctica variada promueven la adaptabilidad tisular. Sin embargo, nuestros hallazgos demuestran que la variabilidad sin guía correctiva externa puede ser insuficiente para modificar alteraciones cinemáticas arraigadas. Las posibles causas de estas diferencias radican en la naturaleza clínica de la muestra; mientras

que los deportistas sanos pueden beneficiarse de la variabilidad exploratoria autónoma, los pacientes con reconstrucción de LCA sufren una desaferenciación propioceptiva (pérdida de mecanorreceptores) que limita severamente su capacidad de autocorrección. Al entrenar sin referencias visuales, los futbolistas tienden a automatizar estrategias subconscientes, coincidiendo con Gokeler et al. (2020), quienes advierten que la variabilidad a ciegas puede cronificar asimetrías latentes e incrementar el riesgo de recidiva.

Al analizar los componentes multidireccionales del YBT, el vector anterior exhibió las mayores diferencias estadísticas. Este alcance exige una gran estabilidad lumbopélvica, flexión dorsal del tobillo y control del plano frontal de la rodilla. Los resultados se alinean con los hallazgos de Wohl et al. (2024), quienes demostraron que las intervenciones con feedback visual benefician prioritariamente el plano frontal en tareas de desaceleración y apoyo unipodal. Dado que el cambio de dirección en el fútbol demanda vectores de fuerza similares, la mejora en el alcance anterior bajo CFV respalda la utilidad clínica de combinar variabilidad tridimensional con corrección visual.

Desde una perspectiva neurofisiológica, los efectos sinérgicos de la condición CFV pueden explicarse mediante la plasticidad cortical post-lesión. Tras la cirugía, las vías aferentes se alteran, forzando al cerebro a depender mayoritariamente de la corteza visual para coordinar el movimiento (Rivera y Mayorga, 2026; Rodríguez et al., 2025; Grooms et al., 2017). Al proveer un entorno con variabilidad y sumar feedback visual explícito, el protocolo se adaptó al estado neurocognitivo posquirúrgico (Guevara-Cisneros et al., 2026; Cares et al., 2025). Esta coincidencia metodológica

explicaría por qué los atletas lograron reorganizar sus sinergias musculares más rápidamente mediante los estímulos de pantalla. El uso del YBT para medir el control neuromuscular demostró ser una herramienta sensible a los cambios del entrenamiento. Estos hallazgos concuerdan con Clagg et al. (2020), donde déficits de simetría y un Score Compuesto inferior al 94% se asociaron con mayor probabilidad de lesión de extremidad inferior. Alcanzar una media grupal del 93.9% en la condición CFV valida la utilidad del programa para posicionar a los futbolistas en una zona de menor vulnerabilidad antes de su reincorporación competitiva.

A pesar del diseño experimental cruzado, resulta necesario reconocer ciertas limitaciones que restringen la generalización de los resultados. El tamaño muestral ($N=8$) es reducido para extrapolar los hallazgos a futbolistas femeninas o categorías infantiles. Asimismo, la ausencia de electromiografía de superficie (EMG) o plataformas de fuerza limitó el análisis a variables clínicas y cinemáticas, dejando fuera parámetros cinéticos críticos.

En cuanto a las implicaciones prácticas, los resultados sugieren un cambio de paradigma en la fisioterapia deportiva: la readaptación del LCA en jóvenes debería evolucionar desde enfoques estáticos hacia entornos con variabilidad controlada y enriquecida tecnológicamente (Romeo y Salgado, 2024; Zopollettoz, 2025). Clínicamente, se recomienda a fisioterapeutas y readaptadores físicos incorporar de forma proactiva espejos, monitores y retroalimentación interactiva durante las fases de saltos y cambios de dirección, transformando el estímulo visual en una herramienta de entrenamiento activo y no solo de evaluación. Futuras líneas de investigación deberían incorporar muestras

amplias, evaluaciones de seguimiento a largo plazo para verificar la tasa de retención real, y tecnologías portátiles (sensores inerciales o realidad virtual) que permitan trasladar el biofeedback visual directamente a los campos de césped natural.

Conclusiones

La investigación determinó que la variabilidad del aterrizaje ejerce un efecto diferencial sobre el control neuromuscular de la rodilla en futbolistas jóvenes con antecedentes de lesión de LCA, el cual depende de la presencia o ausencia de retroalimentación extrínseca. A partir de los datos, se concluye que, aunque la variabilidad de la práctica estimula la exploración de nuevas sinergias de movimiento, los mayores niveles de efectividad y seguridad biomecánica se asocian de manera directa a la incorporación de feedback visual en tiempo real.

El entrenamiento de aterrizajes variables acompañado de feedback visual inmediato (CFV) produce una mejora significativa y clínicamente relevante en el control neuromuscular dinámico de la extremidad inferior. Los resultados muestran que este enfoque incrementa la distancia de alcance global en el Y Balance Test (YBT), evidenciando un aumento del $11.9\% \pm 1.4\%$. Además, los registros indican una disminución en los patrones biomecánicos asociados al riesgo de recidiva del LCA, como el valgo dinámico de rodilla y la asimetría de carga plantar, los cuales se presentan con frecuencia durante la ejecución de cambios de dirección. Por otro lado, cuando la práctica de aterrizajes con variabilidad se ejecuta sin la guía de retroalimentación visual (SFV), el efecto observado sobre el control neuromuscular es menor, registrándose un incremento del $4.2\% \pm 0.7\%$ en el Score Compuesto del YBT. Los

datos obtenidos sugieren que la falta de un marco de referencia extrínseco limita la corrección oportuna de las desviaciones articulares durante la ejecución, lo que podría facilitar que el sistema nervioso central consolide patrones compensatorios ineficientes al carecer de información visual que complemente la propiocepción alterada tras la cirugía.

Finalmente, los datos empíricos de este estudio aportan evidencia que fundamenta la actualización de las metodologías empleadas en los procesos de readaptación física dentro del fútbol formativo. En función de los resultados, orientados a favorecer un retorno seguro al deporte, se sugiere evitar la prescripción del entrenamiento con variabilidad de forma aislada. En su lugar, se evidencia la utilidad de integrar herramientas tecnológicas de biofeedback visual en la fase final de la recuperación, con el propósito de que la exploración motora del deportista se desarrolle sistemáticamente dentro de los márgenes de alineación y biomecánica requeridos para el alto rendimiento deportivo.

Referencias Bibliográficas

- Ardern, C., Taylor, N., Feller, J., & Webster, K. E. (2014). Fifty-five per cent of patients return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including 7556 patients. *British Journal of Sports Medicine*, 48(21), 1543-1552. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093390>
- Benjaminse, A., Gokeler, A., Dowling, A. V., Faigenbaum, A., Myer, G. D., Sherman, D. A., ... & DiCesare, C. A. (2019). Optimization of the anterior cruciate ligament injury prevention paradigm: novel approaches to design, delivery, and implementation. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 49(10), 712-722. <https://doi.org/10.2519/jospt.2019.8519>
- Brumitt, J., Heiderscheit, B. C., & Manske, R. C. (2020). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer players: a systematic review of systematic reviews. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(5), 650-664. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200650>
- Cares, S., Retamal, H., Petignari, A., y Valdebenito, L. (2025). Control neuromuscular de extremidad inferior, como factor de riesgo en la lesión de ligamento cruzado anterior en jugadores de baloncesto. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (68), 964-976. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10232115>
- Clagg, S., Warnock, A., & Thomas, J. S. (2020). Predictive validity of the Y-Balance Test for lower extremity injury in high school soccer athletes. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(6), 711-717. <https://doi.org/10.1123/jsr.2019-0112>
- Flórez Cupitra, J. M. (2025). Factores biomecánicos y de control neuromuscular en riesgo de lesión en ligamento cruzado anterior en jugadoras de fútbol: Una revisión sistemática. *Universidad de Ciencias Aplicadas*. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/6599>
- Guevara-Cisneros, R. S., Vasco-Aguilera, A. S., Yanzapanta-Garcés, S. D., & Marín-Delgado, L. D. (2026). Comparación de la cinemática de aterrizaje en basquetbolistas adolescentes con y sin historial de LCA. *Innova Science Journal*, 4(2), 690-712. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v4/n2/306>
- Gokeler, A., Neuhaus, D., Benjaminse, A., Grooms, D. R., & Baumeister, J. (2020). Principles of motor learning to support neuroplasticity after ACL injury: implications for clinical practice. *Sports Medicine*, 50(5), 905-915. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01258-0>
- Gornitzky, A. L., Lott, A., Yellin, J. L., Fabricant, P. D., Lawrence, J. T. R., &

- Ganley, T. J. (2016). Sport-specific yearly risk and incidence of anterior cruciate ligament tears in high school athletes: a systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(10), 2716-2723. <https://doi.org/10.1177/0363546515617742>
- Grooms, D. R., Page, S. J., & Onate, J. A. (2017). Brain activation for knee movement after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Athletic Training*, 52(11), 1001-1008. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-52.10.12>
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Paterno, M. V., & Quatman, C. E. (2016). Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut-and-dried or complex and multi-factorial?. *Sports Medicine*, 46(1), 9-21. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0414-2>
- Huwiler, C., & Curdy, M. (2022). Optimisation de la réhabilitation post-ptg par une recherche d'exercices physiques dans le but de perfectionner le protocole bfr du travail de pasquini et durand. <https://folia.unifr.ch/global/documents/322973>
- Llurda-Almuzara, L. (2020). Relación de la función neuromuscular con el control del valgo en sujetos sanos y físicamente activos: implicaciones para la lesión de ligamento cruzado anterior. Estudio observacional. *Arxiu Digital*. <https://hdl.handle.net/20.500.12328/1583>
- Martínez Minaya, J. C., Reales Chacon, L. J., Santacruz Carrión, B. J., & Salinas Lascano, E. I. (2025). Programas fisioterapéuticos en recuperación funcional y retorno al ejercicio tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior en deportista. *Maestro Y Sociedad*, 22 (1), 745-753. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6855>
- Memain, G. (2024). Évaluation et suivi du contrôle neuromoteur des footballeurs de haut-niveau lors d'un countermovement-jump. Application à la réathlétisation et à la prophylaxie des pathologies des membres inférieurs [Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay]. <https://dx.doi.org/10.70675/882368d3z74d5z44d2z8eabzb2f682b59401>
- Massot, A. C. (2025). Impacts et étapes clés de l'intervention ostéopathique dans une prise en charge pluridisciplinaire de rééducation post rupture du ligament croisé antérieur perturbée par un flessum. <https://santeosteo.com/wp-content/uploads/2025/11/Memoire.pdf>
- Queen, R. M., Gladin, A., Walter, A., & Garrett, W. E. (2021). Interactive biofeedback reduces ACL re-injury risk factors in adolescent patients returning to sport. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(8), 1758-1765. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002635>
- Rivera Blanco, C. A., & Mayorga Bacca, M. P. (2026). Programa de prevención de riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior. *E-docUr*. https://doi.org/10.48713/10336_47904
- Rodriguez, F., Primo, A., Garcia, M., Martin, S., & Asinari, J. (2025). Guía Clínica de Rehabilitación del LCA. *Revista AKD*, 28, N103. https://www.researchgate.net/publication/403913067_Guia_clinica_de_rehabilitacion_d_el_LCA
- Romeo Gabín, P., & Salgado Cuenca, A. (2024). Beneficios del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en readaptación de lesiones del LCA. <https://hdl.handle.net/20.500.12880/7838>
- Salazar Silva, N. N., Oviedo Siguelnitzky, L. E., Calani Limachi, E. P., & Poca Silvestre, N. (2026). Ejercicios de propiocepción y control neuromuscular en la rehabilitación de lesión del ligamento cruzado anterior. *Fisioterapia Ciencia del Movimiento*, 7(1), 36-51. <https://www.uab.edu.bo/ojs/index.php/fcdm/article/view/266>
- Sarvestan, J., & Fakhraei Rad, M. (2025). The effects of motor learning-based training protocols on lower limb kinematics during landing tasks: A systematic review. *Journal of Motor Learning and Development*, 13(1),

44-59. <https://doi.org/10.1123/jmld.2024-0012>

Schmidt, M., Alt, T., & Woll, A. (2023). Positive influence of neuromuscular training on knee injury risk biomechanics in elite youth female athletes. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 53(1), 45–55. <https://doi.org/10.1007/s12662-022-00851-w>

Vargas-Pino, J. R., Moreno-Arias, R. M., & Quinteros-Urgiles, P. S. (2026). Efectos del entrenamiento excéntrico sobre la fuerza muscular y la prevención de lesiones en deportistas: una revisión sistemática. RICEAFS. *Revista De Investigación En Ciencias De La Educación, Actividad Física Y Salud*, 4(1), 126-148. <https://doi.org/10.64905/riceafs.v4n1.2>

Wohl, S., Costamagna, P., & Filomía, H. (2024). Efficacy of visual feedback interventions in neuromuscular landing training of soccer players: a randomized controlled trials review. *Physical Therapy in Sport*, 66, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2024.01.008>

ZOPPELLETTO, A. (2025). Prevenzione dell'infortunio al legamento crociato anteriore (ACL): analisi del movimento e prospettive biomeccaniche. <https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/91759>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Kevin Vinicio Moposita Torres y Christian Fernando Morales Arcos.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT).

Kevin Vinicio Moposita Torres: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, curación de datos, redacción del borrador original del manuscrito, visualización y administración del proyecto, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Christian Fernando Morales Arcos: supervisión académica, validación metodológica, revisión crítica del contenido científico, revisión y edición de manuscrito, asesoría durante el desarrollo de la investigación, aprobación final del manuscrito

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.

