

Reconstrucción primaria de ligamento cruzado anterior usando botón autoajustable, autobloqueante. Resultados clínicos y radiológicos luego de un seguimiento mínimo de 36 meses

Horacio Rivarola¹, Cristian Collazo¹, Marcos Palanconi¹, Marcos Meninato¹,
Francisco Endara Urresta², Lorena Michel¹, Bautista Rivarola¹

1. Departamento de Cirugía Artroscópica de Rodilla, Hospital Universitario Austral. Buenos Aires, Argentina

2. Departamento de Traumatología y Ortopedia, Clínica Arthros. Quito, Ecuador

RESUMEN

Introducción: la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) depende en gran medida de la estabilidad inicial del injerto y del método de fijación femoral utilizado. Los sistemas ajustables convencionales pueden presentar elongación del lazo bajo carga cíclica (*loop creep*), con riesgo de pérdida de tensión y ensanchamiento del túnel óseo.

Objetivos: evaluar los resultados clínicos y radiológicos obtenidos con el uso de un botón femoral ajustable autobloqueante en la reconstrucción primaria del ligamento cruzado anterior con seguimiento mínimo de 36 meses.

Material y métodos: se realizó un estudio ambispectivo (nivel de evidencia IV) que incluyó 50 pacientes consecutivos sometidos a reconstrucción primaria del LCA con autoinjerto de isquiotibiales y fijación femoral con botón autobloqueante. Se analizaron las escalas IKDC, Lysholm y Tegner, además de la evolución radiológica (tamaño del túnel, posición del botón) y la resonancia magnética a los 9 meses. El seguimiento mínimo fue de 36 meses.

Resultados: los puntajes IKDC, Lysholm y Tegner mejoraron significativamente (58.2→94.8; 62.4→93.7; 3.1→6.8; $p < 0.001$). No se registraron fallas del injerto, complicaciones ni ensanchamiento del túnel ($\Delta < 0.3$ mm). La resonancia magnética demostró ligamentización completa y consolidación ósea en el 100 % de los casos. El retorno deportivo promedio fue de 8.5 meses, con recuperación funcional total.

Conclusión: el botón femoral ajustable autobloqueante proporcionó fijación estable, ausencia de complicaciones y resultados clínicos reproducibles a 36 meses, constituyendo una alternativa confiable a los sistemas de lazo fijo tradicionales.

Palabras clave: Ligamento cruzado anterior; Fijación femoral; Botón cortical ajustable; Resultados clínicos; Artroscopia; TenZ®

Nivel de evidencia: IV. Estudio de Cohorte Ambispectivo

Autor de correspondencia: Horacio Rivarola, horaciorivarola@hotmail.com

Recibido: 19/12/2025 Aceptado: 5/03/2026 Publicado: 1/08/2026

DOI: <https://doi.org/10.63403/re.v33i2.477>

Cómo citar: Rivarola H, Collazo C, Palanconi M, Meninato M, Endara Urresta F, Michel L, Rivarola B. Reconstrucción primaria de ligamento cruzado anterior usando botón autoajustable, autobloqueante. Resultados clínicos y radiológicos luego de un seguimiento mínimo de 36 meses. Relart 2026;33(2): 115-124.

Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using a Self-adjusting, Self-locking Button. Clinical and Radiological Results After a Minimum Follow-up of 36 Months

ABSTRACT

Introduction: anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction depends largely on the initial stability of the graft and the femoral fixation method used. Conventional adjustable systems can exhibit loop creep under cyclic loading, with a risk of loss of tension and widening of the bone tunnel.

Objectives: to evaluate the clinical and radiological outcomes obtained with the use of a self-locking, adjustable femoral button in primary ACL reconstruction with a minimum follow-up of 36 months.

Material and methods: an ambispective cohort study (Level of evidence IV) included 50 consecutive patients undergoing primary ACL reconstruction with hamstring autograft and femoral fixation using the self-locking button. Clinical outcomes (IKDC, Lysholm, Tegner), radiographic tunnel assessment, and 9-month MRI findings were analyzed over a minimum 36-month follow-up.

Results: IKDC, Lysholm, and Tegner scores improved significantly (58.2→94.8; 62.4→93.7; 3.1→6.8; $p < 0.001$). No graft failures, complications, or tunnel widening were observed ($\Delta < 0.3$ mm). MRI confirmed complete ligamentization and bone integration in all cases. Mean time to unrestricted sports return was 8.5 months, with full functional recovery.

Conclusion: the self-locking adjustable femoral button provided stable fixation, no complications, and reproducible clinical outcomes at 36 months, supporting its reliability as an alternative to traditional fixed-loop systems.

Keywords: Anterior cruciate ligament; Femoral fixation; Adjustable cortical button; Clinical outcomes; Arthroscopy; TenZ®

Level of evidence: IV. Ambispective Cohort Study

INTRODUCCIÓN

La reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) constituye uno de los procedimientos más frecuentes en la cirugía ortopédica y del deporte. Su finalidad es restaurar la estabilidad anteroposterior y rotacional de la rodilla, prevenir la degeneración articular secundaria y permitir el retorno seguro a la práctica deportiva. A pesar de la estandarización técnica alcanzada en las últimas décadas, el resultado final continúa dependiendo de múltiples factores: la elección del injerto, la precisión anatómica de los túneles óseos, la tensión inicial del injerto y, de manera decisiva, el método de fijación empleado. Entre estos elementos, la fijación femoral desempeña un papel crítico durante las fases iniciales de integración biológica, período en el que la rigidez constructiva y la resistencia a la elongación determinan el éxito mecánico y funcional del injerto.¹⁻³

En las reconstrucciones con autoinjerto de isquiotibiales, la fijación cortical femoral mediante sistemas de suspensión progresivamente se ha impuesto sobre los tornillos interferenciales, debido a su elevada resistencia a la carga y menor morbilidad del túnel. Los dispositivos de suspensión permiten una inserción mínimamente invasiva, con menor riesgo de divergencia del tornillo y mejor control de la orientación anatómica del injerto. Sin embargo, dentro de este grupo existen dos grandes configuraciones: los sistemas

de lazo fijo (*fixed-loop*) y los de lazo ajustable (*adjustable-loop*). Los primeros se asocian a un comportamiento mecánico predecible, pero su longitud no modificable obliga a una planificación milimétrica del túnel y, con frecuencia, a perforaciones adicionales o a maniobras de sobreperforación para lograr el volteo del botón cortical. Por el contrario, los sistemas ajustables permiten modificar intraoperatoriamente la longitud del lazo y retensionar el injerto una vez posicionada la cortical, lo que simplifica la técnica y mejora la adaptabilidad intraoperatoria.²⁻⁴

A pesar de estas ventajas, diversos estudios biomecánicos han documentado que los dispositivos ajustables presentan una vulnerabilidad potencial: la elongación progresiva del lazo bajo carga cíclica, fenómeno conocido como *loop creep*, que podría traducirse en pérdida de tensión del injerto, micromovimientos dentro del túnel y su eventual ensanchamiento. Esta elongación, aunque mínima en condiciones experimentales, puede adquirir relevancia clínica en deportistas o pacientes jóvenes con altas demandas funcionales. La inestabilidad secundaria y el ensanchamiento del túnel constituyen hallazgos descritos en series a mediano plazo, atribuidos a la fricción repetitiva entre el injerto y las paredes óseas durante la fase de ligamentización.⁵⁻⁷

Con el propósito de superar estas limitaciones, se han desarrollado recientemente dispositivos ajustables

de bloqueo automático o *self-locking*, que combinan la versatilidad de los sistemas ajustables con la rigidez estructural de los de lazo fijo. El diseño del botón femoral TenZ® (Fergus Medical, Córdoba, Argentina) incorpora un mecanismo de triple sutura que permite realizar una tracción secuencial, un giro de bloqueo y una fijación definitiva, eliminando la posibilidad de deslizamiento posterior del lazo. Desde el punto de vista biomecánico, esta configuración transforma el dispositivo en un sistema híbrido, capaz de mantener una tensión constante sobre el injerto incluso bajo cargas repetidas, y de minimizar la microtraslación en la interfaz tendón-hueso. Además, su mecanismo de bloqueo progresivo facilita el llenado completo del túnel femoral, optimizando la superficie de contacto para la osteointegración.

Pese a que las pruebas mecánicas iniciales han demostrado resultados alentadores, la literatura clínica sobre este tipo de fijación es aún limitada. La mayoría de los estudios disponibles presentan seguimientos cortos, generalmente inferiores a 24 meses, lo que impide establecer conclusiones sólidas respecto al comportamiento biológico y radiológico a mediano plazo. Existe, por tanto, una brecha de conocimiento en torno al desempeño clínico de los botones ajustables autobloqueantes en condiciones reales de práctica quirúrgica. En ese contexto, la hipótesis planteada sostiene que este sistema mantiene la tensión inicial del injerto a lo largo del tiempo, evitando la elongación del lazo y el ensanchamiento del túnel femoral, con resultados funcionales equivalentes o superiores a los dispositivos de fijación convencionales. El objetivo fue evaluar los resultados clínicos y radiológicos obtenidos con el uso de un botón femoral ajustable autobloqueante en la reconstrucción primaria del ligamento cruzado anterior con seguimiento mínimo de 36 meses.^{8,9}

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se realizó un estudio ambispectivo de cohorte única. Se trata de un estudio observacional descriptivo sin grupo comparativo directo, diseñado para evaluar los resultados clínicos y radiológicos de la reconstrucción primaria del ligamento cruzado anterior (LCA) utilizando un sistema de fijación femoral ajustable autobloqueante (TenZ®, Fergus Medical, Córdoba, Argentina). El protocolo fue conducido en el Servicio de Ortopedia y Traumatología del Hospital Universitario Austral (Buenos Aires, Argentina), se incluyeron pacientes operados entre junio de 2021 y marzo de 2022, garantizando un seguimiento mínimo de 36 meses al momento del cierre de la base de datos (abril de 2025). Según la clasificación del Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, corresponde con un nivel de evidencia IV.

La base de datos se alimentó de manera prospectiva a partir del registro institucional de cirugías de rodilla, complementada con revisión retrospectiva de historias clínicas y estudios por imágenes. La

investigación fue desarrollada conforme a los principios de la Declaración de Helsinki y a las normas nacionales de investigación biomédica.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron de forma consecutiva todos los pacientes que cumplieron los siguientes criterios:

- Diagnóstico de rotura completa del LCA confirmada mediante exploración clínica (test de Lachman y *Pivot shift* positivos) y resonancia nuclear magnética (RNM).
- Reconstrucción realizada con autoinjerto de isquiotibiales (semitendinoso y *gracilis*).
- Fijación femoral con botón ajustable autobloqueante TenZ®.
- Fijación tibial con tornillo interferencial de PEEK.
- Edad comprendida entre 18 y 60 años.
- Actividad deportiva recreacional o competitiva previa a la lesión.
- Seguimiento clínico y radiológico completo ≥ 36 meses.

Se excluyeron los pacientes con:

- Cirugías previas sobre la misma rodilla o reconstrucciones de revisión.
- Lesiones multiligamentarias, roturas meniscales radiales o de raíz que requirieran túnel adicional.
- Fracturas periarticulares u osteotomías concomitantes.
- Trastornos metabólicos óseos, enfermedades inflamatorias articulares o infecciones activas.
- Datos incompletos o pérdida del seguimiento.

Tras aplicar los criterios de elegibilidad, se incluyeron 50 pacientes consecutivos (28 hombres y 22 mujeres), con edad media de 36 años (rango, 18-58). Todos los procedimientos fueron realizados por el mismo equipo quirúrgico siguiendo un protocolo estandarizado.

Técnica quirúrgica

Las cirugías se efectuaron bajo anestesia raquídea, con el paciente posicionado en decúbito supino y un manguito de isquemia neumática en el muslo proximal. Se emplearon portales anterolateral y anteromedial estándar. En todos los casos se efectuó una artroscopia diagnóstica inicial para confirmar la rotura del LCA y descartar lesiones asociadas. Las meniscompatías parciales fueron tratadas con menissectomía o sutura artroscópica según el tipo de desgarró.

El injerto fue obtenido mediante una incisión longitudinal de 3 cm sobre la cara anteromedial de la tibia, 3 a 4 cm distal a la interlínea articular. Los tendones semitendinoso y *gracilis* fueron identificados y extraídos con un extractor cerrado, liberando las expansiones fasciales accesorias. Tras la limpieza del tejido muscular residual, los extremos fueron trenzados con sutura reabsorbible trenzada número 1 y el injerto se dobló para conformar un haz cuádruple o quíntuple, dependiendo de la longitud disponible, procurando un diámetro mínimo de 8 mm. El extremo femoral fue

conectado al sistema TenZ®, y el extremo tibial preparado para fijación con tornillo interferencial de PEEK.

El túnel femoral se confeccionó por portal antero-medial con la rodilla en flexión máxima (120°-130°), orientando la guía al centro anatómico de la huella femoral. El túnel tibial se perforó a 55° de inclinación con guía transtibial, asegurando la alineación con la salida femoral. Mediante sutura pasante, el botón fue traccionado hasta exteriorizarse sobre la cortical lateral del fémur, verificando su volteo por visión artroscópica directa. Posteriormente se aplicó tensión secuencial sobre las 3 suturas del dispositivo (tracción, rotación y bloqueo final) hasta lograr el completo llenado del túnel femoral y una tensión homogénea del injerto. La fijación tibial se efectuó con un tornillo interferencial PEEK de diámetro igual al injerto, introducido con la rodilla a 15° de flexión. Finalmente, se realizó una retensión manual en extensión completa para eliminar holguras residuales.

El tiempo quirúrgico promedio fue de 68 minutos (rango, 55-82). No se registraron dificultades técnicas ni necesidad de conversión a sistemas alternativos de fijación.

Protocolo de rehabilitación

Todos los pacientes siguieron un programa de rehabilitación fisiokinésica estandarizado, bajo supervisión institucional. Se permitió apoyo parcial desde el primer día postoperatorio, con ortesis articulada bloqueada en extensión durante las 2 primeras semanas. Los ejercicios isométricos de cuádriceps y bombeo plantar se iniciaron de inmediato. La movilidad pasiva asistida comenzó al control de la primera semana, progresando hacia amplitud completa a las 4-6 semanas. El trote lineal fue autorizado a partir del tercer mes, y el fortalecimiento cerrado de cadena cinética se inició tras recuperar la extensión completa. Las actividades deportivas de pivoteo se reintrodujeron progresivamente entre los 8 y 9 meses, tras demostrar simetría de fuerza y control neuromuscular.

Evaluación clínica

La valoración funcional se efectuó en los períodos preoperatorio y a los 6, 12, 24 y 36 meses postoperatorios, utilizando los siguientes instrumentos:

- IKDC subjetivo (International Knee Documentation Committee).
- Escala de Lysholm para la función de rodilla.
- Escala de actividad Tegner para cuantificar el nivel deportivo.

Las pruebas de Lachman, cajón anterior y *Pivot shift* se aplicaron en cada control por el mismo cirujano senior, con el objetivo de minimizar la variabilidad interobservador. Se consideró estabilidad completa cuando los 3 test resultaban negativos y la diferencia anteroposterior manual era <2 mm.

El retorno deportivo se registró en meses y se clasificó según la recuperación del nivel previo de práctica (igual, inferior o superior al prelesional).

Evaluación radiológica

Se realizaron radiografías anteroposteriores y laterales de rodilla al primer control postoperatorio (1 semana) y posteriormente a los 6, 9 y 36 meses. El diámetro de los túneles femoral y tibial se midió digitalmente en el punto medio del trayecto, utilizando *software* calibrado (PACS institucional). El ensanchamiento del túnel se definió como un aumento ≥ 1 mm respecto a la medida inicial.

Las resonancias magnéticas (RNM) se efectuaron a los 9 meses en todos los pacientes. Se valoró la continuidad y la señal del injerto, el grado de ligamentización (comparación con el ligamento cruzado posterior), la integración ósea en los túneles y la ausencia de fluido o edema peritendinoso. Todas las imágenes fueron interpretadas por un mismo radiólogo musculoesquelético, ciego a los resultados clínicos.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron con el *software* IBM SPSS® Statistics v27 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.). Las variables continuas se expresaron como media $\pm$ desviación estándar, y las categóricas como frecuencias o porcentajes.

La normalidad de distribución se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Las comparaciones entre valores preoperatorios y postoperatorios (IKDC, Lysholm, Tegner y diámetro de túnel) se realizaron mediante prueba t de Student para muestras apareadas. Se consideró significación estadística para valores de $p < 0.05$.

No se realizó cálculo previo de tamaño muestral, dado el carácter descriptivo y exploratorio del estudio.

Aspectos éticos y conflicto de interés

El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación. Todos los pacientes firmaron un consentimiento informado para la utilización anónima de sus datos clínicos y de imagen.

El dispositivo TenZ® se empleó dentro del marco de la práctica quirúrgica habitual, sin financiamiento externo ni relación comercial con el fabricante.

RESULTADOS

Características demográficas

Se analizaron 50 pacientes consecutivos sometidos a reconstrucción primaria del ligamento cruzado anterior (LCA) utilizando fijación femoral con botón ajustable autobloqueante TenZ® y fijación tibial con tornillo interferencial de PEEK. La cohorte incluyó 28 hombres (56 %) y 22 mujeres (44 %), con una edad media de 36.0 ± 9.7 años (rango, 18-58). Todos los casos correspondieron a lesiones deportivas o recreacionales, las actividades más frecuentes fueron fútbol (46 %), esquí (18 %), *running* (12 %), básquet (9 %) y otras disciplinas de pivoteo (15 %).

Durante el período de inclusión se evaluaron 54 pacientes. Cuatro fueron excluidos por no cumplir criterios de seguimiento mínimo. No se registraron pérdidas durante el seguimiento.

El intervalo medio entre la lesión y la cirugía fue de 3.8 ± 1.2 meses, y en ningún caso se documentaron cirugías previas sobre la rodilla afectada. En todos los pacientes se utilizó un autoinjerto de semitendinoso y *gracilis*, con un diámetro promedio de 8.4 ± 0.3 mm; en 42 casos (84 %) se confeccionó un injerto cuádruple y en 8 (16 %), uno quíntuple, de acuerdo con la longitud disponible. No se observaron diferencias significativas por sexo en edad, tiempo hasta la cirugía ni tipo de injerto utilizado ($p > 0.05$).

Resultados funcionales

La evolución funcional evidenció una mejoría significativa y sostenida en todas las escalas de valoración. El puntaje IKDC subjetivo aumentó de 58.2 ± 7.5 en el preoperatorio a 94.8 ± 3.1 a los 36 meses ($p < 0.001$). La escala de Lysholm mostró un incremento de 62.4 ± 8.9 a 93.7 ± 3.8 ($p < 0.001$), mientras que la escala de actividad Tegner pasó de 3.1 ± 0.7 a 6.8 ± 1.2 ($p < 0.001$).

El 87 % de los pacientes alcanzó un IKDC > 90 en el primer año, cifra que se elevó al 94 % a los 24 meses y al 100 % al final del seguimiento. La estabilidad clínica fue completa en todos los casos: los test de Lachman, *Pivot shift* y cajón anterior resultaron negativos, sin diferencias mayores a 2 mm entre la rodilla operada y la contralateral. No se detectaron déficits de extensión, dolor residual ni rigidez significativa.

Evaluación radiográfica

El análisis radiográfico seriado mostró mantenimiento absoluto del diámetro de los túneles óseos a lo largo del seguimiento. A la semana postoperatoria, el diámetro medio del túnel femoral fue de 8.6 ± 0.4 mm y el del tibial de 8.7 ± 0.5 mm, valores concordantes con las brocas utilizadas. A los 36 meses, las mediciones comparativas no mostraron

diferencias estadísticamente significativas ($\Delta < 0.3$ mm; $p = 0.41$).

En todos los casos el botón cortical se mantuvo firmemente apoyado sobre la cortical lateral del fémur, sin desplazamiento, radiolucidez ni signos de reacción ósea. Tampoco se evidenció migración del tornillo tibial ni cambios en la alineación de los túneles. Las radiografías de control ilustran la estabilidad morfológica obtenida (Fig. 1).

Resonancia magnética

La resonancia nuclear magnética (RNM) realizada entre el octavo y noveno mes postoperatorio demostró continuidad completa del injerto en el 100 % de los pacientes, con señal homogénea de baja intensidad, equivalente a la del ligamento cruzado posterior, lo que indica una ligamentización avanzada.

Los túneles femoral y tibial presentaron contornos regulares, sin halo de fluido ni ensanchamiento. No se observaron colecciones, edema óseo ni signos de necrosis. En la totalidad de los estudios, la interfase tendón-hueso mostró un patrón hipointenso continuo, indicativo de consolidación cortical y progresiva integración biológica (Fig. 2).

Retorno deportivo

La totalidad de los pacientes (100 %) retomó la práctica deportiva en el primer año tras la cirugía. El tiempo promedio de retorno a la actividad sin restricciones fue de 8.5 ± 1.1 meses (rango, 7-10 meses). Cuarenta y uno (82 %) regresaron al mismo nivel competitivo o recreativo previo a la lesión, mientras que 9 (18 %) optaron por disminuir la intensidad deportiva por motivos personales, no relacionados con limitaciones funcionales. Ninguno refirió episodios de inestabilidad, dolor durante la actividad ni sensación de falla del injerto.

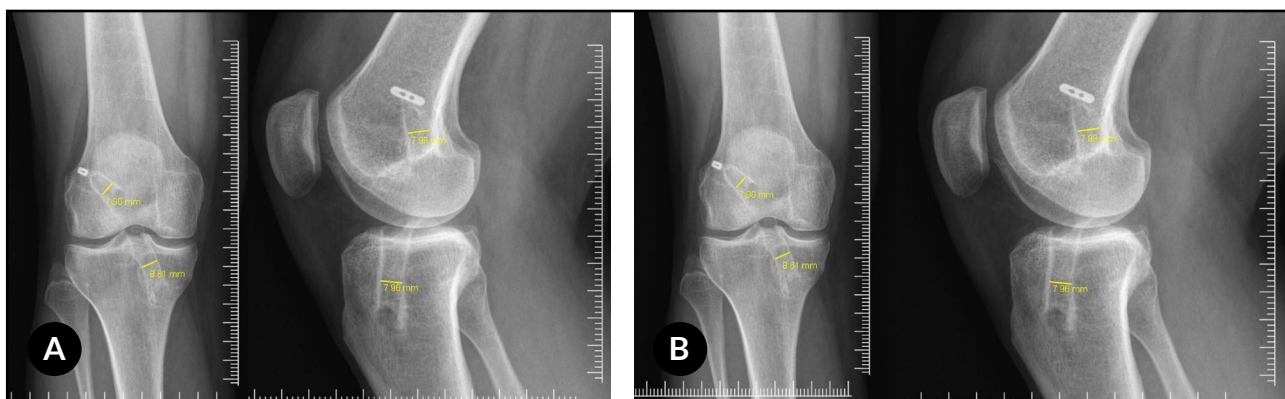


Figura 1. Radiografías de rodilla a la semana (A) y a los 36 meses postoperatorios (B). Se observa el botón cortical autobloqueante (TenZ®) correctamente apoyado sobre la cortical lateral del fémur y el tornillo interferencial de PEEK en la tibia proximal, sin signos de migración, reacción ósea ni radiolucidez. Los diámetros femoral y tibial permanecen invariables, confirmando la estabilidad del túnel y la ausencia de ensanchamiento óseo durante el seguimiento.

Complicaciones

Durante todo el seguimiento no se registraron complicaciones intraoperatorias ni postoperatorias. No hubo casos de rotura del injerto, aflojamiento del botón, infección, sinovitis, trombosis venosa profunda ni lesiones neurovasculares. Tampoco se requirieron reintervenciones por falla de fijación o síntomas residuales. El análisis global evidenció una tasa de supervivencia del injerto del 100 % a los 36 meses.

DISCUSIÓN

El presente estudio constituye, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, una de las primeras series clínicas latinoamericanas que evalúan de manera prospectiva los resultados a mediano plazo de un sistema de fijación femoral ajustable autobloqueante en reconstrucción primaria del ligamento cruzado anterior (LCA). Los hallazgos obtenidos a 36 meses confirman que el botón autobloqueante TenZ® ofrece una fijación mecánicamente estable, libre de elongación del lazo, con una evolución funcional sobresaliente y sin complicaciones asociadas.¹⁰⁻¹³

La ausencia total de ensanchamiento de los túneles óseos y la integridad completa del injerto en resonancia magnética sugieren que la tensión inicial aplicada al momento de la fijación se mantuvo constante a lo largo del proceso de ligamentización, evitando la microtraslación tendón-hueso que se ha descrito en algunos sistemas ajustables de generaciones anteriores. Asimismo, los puntajes medios de IKDC (94.8) y Lysholm (93.7), junto con el retorno deportivo del 100 %, reflejan una recuperación funcional homogénea y reproducible en una cohorte amplia, sin casos de rerrotura o falla del constructo.¹²⁻¹⁴



Figura 2. Resonancia magnética sagital a los 9 meses postoperatorios. El injerto del ligamento cruzado anterior muestra continuidad completa, orientación anatómica y señal homogénea de baja intensidad, indicativa de ligamentización avanzada. Los túneles femoral y tibial presentan integración ósea progresiva, sin colecciones, edema ni halo de fluido en la interfase tendón-hueso.

Estos resultados confirman la hipótesis inicial del trabajo: el mecanismo autobloqueante del sistema analizado logra preservar la tensión del injerto durante el seguimiento, manteniendo la estabilidad articular y evitando cambios morfológicos en los túneles óseos.

Los resultados del presente estudio fueron equiparables o superiores a los reportados en series internacionales que evaluaron dispositivos ajustables o fijos para la fijación femoral en la reconstrucción del LCA. En los trabajos de Choi *et al.* (2017) y Ahn *et al.* (2019), el puntaje IKDC medio osciló entre 91 y 92 a los 24 meses, con tasas de ensanchamiento del túnel de 4-5 %. En el plano clínico, los autores analizaron cohortes de 80 y 100 pacientes, respectivamente, comparando dispositivos ajustables convencionales frente a fijos. Ambos estudios reportaron mejoras funcionales significativas sin diferencias en laxitud residual ni en tasas de rerrotura, aunque documentaron una incidencia de ensanchamiento de túnel femoral entre el 4 y el 6 %, atribuida a fenómenos de micromovimiento del injerto durante la carga repetida.¹²⁻¹⁶

En comparación, nuestra cohorte alcanzó un IKDC promedio de 94.8 y ausencia absoluta de ensanchamiento o fallas mecánicas. Estos hallazgos refuerzan la eficacia del mecanismo autobloqueante del TenZ®, capaz de mantener la tensión del injerto y prevenir la microelongación que caracteriza a algunos sistemas ajustables de generaciones previas.

La controversia en torno al método óptimo de fijación femoral en la reconstrucción del LCA se ha centrado históricamente en la comparación entre sistemas de lazo fijo y ajustable.¹³⁻¹⁵ Los botones de lazo fijo (por ejemplo, EndoButton CL) han demostrado excelente rigidez y resistencia cíclica, pero su limitación radica en la imposibilidad de ajustar la longitud intraoperatoriamente. En contraste, los sistemas ajustables permiten un control más preciso de la posición del injerto, pero su comportamiento bajo carga dinámica ha sido motivo de debate.

En 2018, Chang *et al.* realizaron un estudio biomecánico comparativo entre dispositivos ajustables y fijos, demostrando diferencias mínimas en la rigidez final, aunque con ligera ventaja para los lazos fijos en cuanto a desplazamiento cíclico inicial. Por su parte, Cheng *et al.* observaron resultados similares en términos de carga máxima y elongación, concluyendo que las discrepancias reportadas entre ambos sistemas probablemente carecen de significación clínica si la técnica quirúrgica es correcta.¹²⁻¹⁶

El presente estudio no evidenció ningún caso de ensanchamiento ni desplazamiento del botón cortical en los controles seriados. Este hallazgo representa una mejoría objetiva respecto a las tasas publicadas en series previas, probablemente relacionada con el sistema de bloqueo secuencial que caracteriza el diseño TenZ®.

Los resultados clínicos también se ubican en el extremo superior del rango reportado en la literatura: el IKDC medio de 94.8 supera el promedio de 91-92

reportado por Ahn y Choi, y la supervivencia del injerto (100 %) es superior a las tasas del 98-99 % comunicadas por cohortes europeas y asiáticas. Estas diferencias, aunque modestas, adquieren relevancia clínica al corroborar la eficacia de un dispositivo con desarrollo regional, bajo condiciones de práctica quirúrgica rutinaria.¹⁷⁻²⁰

El comportamiento del sistema TenZ® puede explicarse desde una perspectiva biomecánica: a diferencia de los botones ajustables convencionales, que dependen del fraccionamiento por fricción entre las suturas de tracción y la apertura del botón, el dispositivo autobloqueante incorpora 3 vías de sutura independientes (de tracción, rotación y cierre) que actúan de forma secuencial. Durante la tracción inicial, el injerto se introduce completamente en el túnel femoral; posteriormente, el giro de rotación fija la longitud final del lazo y, finalmente, la sutura de bloqueo ancla el sistema mediante un nudo interno irreversible.²⁰⁻²²

Este bloqueo mecánico progresivo elimina la posibilidad de deslizamiento residual del lazo bajo carga repetitiva, fenómeno conocido como *loop creep*, descrito por Smith *et al.* (2018) y Nye *et al.* (2017) como la principal causa de pérdida de rigidez secundaria. En ensayos de laboratorio, la elongación acumulada en dispositivos ajustables sin bloqueo definitivo puede alcanzar hasta 1.5-2.0 mm tras 1000 ciclos de carga submáxima, suficiente para generar laxitud perceptible o micromovimiento intraóseo.

La arquitectura autobloqueante transforma este comportamiento en una respuesta análoga a la de un sistema de lazo fijo, manteniendo la tensión inicial constante y minimizando el movimiento relativo entre el injerto y las paredes del túnel. Este efecto se traduce, en la práctica clínica, en la ausencia de ensanchamiento óseo y en una ligamentización más rápida y homogénea, tal como evidenció la resonancia magnética en todos los casos.²³⁻²⁷ Además, el llenado completo del túnel favorece la osteointegración, al evitar zonas de vacío o estrés concentrado en el margen cortical.

Desde el punto de vista del cirujano, la principal ventaja del botón autobloqueante radica en su versatilidad intraoperatoria. Al eliminar la necesidad de calcular con exactitud la longitud del túnel femoral, se reduce la posibilidad de errores de posicionamiento o de fallas en el volteo del botón. Esto simplifica la curva de aprendizaje y acorta los tiempos quirúrgicos, especialmente en túneles cortos o en fémures pequeños donde los dispositivos de lazo fijo pueden resultar técnicamente desafiantes.²⁸⁻³⁰

La posibilidad de retensionar el injerto antes del bloqueo final permite corregir holguras residuales y optimizar el contacto entre el tendón y el hueso. Este control preciso de la tensión inicial, combinado con la rigidez posterior al autobloqueo, ofrece una solución híbrida que une la comodidad de los sistemas ajustables con la confiabilidad de los de lazo fijo.²⁹⁻³¹

En términos de resultados clínicos, la estabilidad

articular completa, el retorno deportivo universal y la ausencia de complicaciones validan la reproducibilidad del método. Además, la inexistencia de ensanchamiento radiológico a 3 años sugiere que la carga funcional transmitida al túnel femoral es más uniforme, disminuyendo el riesgo de micromovimiento y estrés cortical. Esto podría tener implicancias a largo plazo en la preservación ósea y en la facilidad de eventuales revisiones, al mantener túneles con diámetro anatómico y paredes corticales íntegras.³²⁻³⁵

El uso de este tipo de dispositivo también posee una relevancia regional: la fabricación local reduce los costos y facilita la disponibilidad en sistemas de salud latinoamericanos, sin comprometer la calidad biomecánica ni los resultados clínicos. Esto permite incorporar tecnología de alta performance dentro de un contexto económico más accesible, favoreciendo la adopción generalizada en hospitales públicos y privados.

A la luz de los resultados obtenidos, se abren diversas líneas de investigación para consolidar la evidencia sobre los botones autobloqueantes: en primer lugar, resulta prioritario desarrollar estudios multicéntricos latinoamericanos, que incluyan un número mayor de pacientes y permitan validar los hallazgos en diferentes entornos quirúrgicos, ampliando la representatividad de la muestra. En segundo término, se propone la realización de ensayos comparativos directos frente a dispositivos de lazo fijo o ajustable convencional, utilizando criterios estandarizados de estabilidad, retorno deportivo y análisis radiológico cuantitativo. Estos trabajos podrían determinar con precisión la magnitud del beneficio clínico y biomecánico del mecanismo autobloqueante. Desde el punto de vista experimental, la aplicación de modelos de elementos finitos (FEA, las siglas por su nombre en inglés) y simulaciones dinámicas permitiría cuantificar la distribución de tensiones en el túnel femoral y el comportamiento del sistema ante cargas cíclicas. Además, estudios biomecánicos en cadáver fresco podrían corroborar los resultados clínicos mediante medición directa del desplazamiento y rigidez del injerto tras el autobloqueo. Por último, la implementación de tecnologías de seguimiento digital y plataformas de registro institucional podría facilitar la recolección sistemática de datos a largo plazo, contribuyendo a la creación de un registro regional de reconstrucción de LCA que integre variables quirúrgicas, radiológicas y funcionales.

En conjunto, los resultados de este estudio confirman que la fijación femoral con botón ajustable autobloqueante TenZ® proporciona una solución técnica eficaz y reproducible, capaz de mantener la tensión del injerto y evitar la elongación del lazo. Su desempeño clínico y radiológico a 3 años es comparable, e incluso superior, al de los sistemas de fijación convencionales, con la ventaja adicional de simplificar el procedimiento quirúrgico y reducir los riesgos de error técnico.

El mecanismo de bloqueo secuencial constituye una innovación biomecánica relevante que podría redefinir el estándar de fijación suspensoria en reconstrucción del LCA, especialmente en contextos donde se prioriza la estabilidad temprana y la preservación ósea. La consolidación de estos hallazgos mediante estudios comparativos y multicéntricos permitirá establecer con mayor solidez el rol de los dispositivos autobloqueantes en la cirugía reconstructiva del LCA moderna.

Limitaciones del estudio

Este trabajo presenta algunas limitaciones que deben reconocerse al interpretar los resultados. En primer lugar, se trata de un estudio de cohorte sin grupo control, por lo que la comparación con otros métodos de fijación se realizó en forma indirecta, a través de la literatura. Aunque los resultados superan los reportes previos, solo un ensayo controlado aleatorizado podría confirmar con mayor solidez la superioridad del sistema autobloqueante. En segundo lugar, el seguimiento se limitó a 36 meses, período suficiente para evaluar la estabilidad mecánica y la ligamentización, pero insuficiente para conocer el comportamiento del túnel y del injerto a largo plazo (≥ 5 años). Futuros seguimientos prolongados permitirán determinar si la estabilidad observada se mantiene en el tiempo. En tercer lugar, la evaluación de la laxitud residual fue clínica, mediante pruebas manuales (Lachman y *Pivot shift*), sin medición instrumentada con artrometría KT-1000 o KT-2000. Aunque los resultados clínicos fueron inequívocos, la incorporación de mediciones objetivas aumentaría la precisión del análisis cuantitativo. La ausencia de fallas podría estar influenciada por criterios de selección estrictos y por el carácter monocéntrico del estudio. Finalmente, todos los pacientes fueron operados por un mismo equipo experimentado en una institución de referencia, lo cual asegura homogeneidad técnica pero puede limitar la generalización a centros con menor volumen o experiencia.

CONCLUSIÓN

El botón femoral ajustable autobloqueante proporcionó fijación estable, ausencia de complicaciones y resultados clínicos reproducibles a 36 meses, constituyendo una alternativa confiable a los sistemas de lazo fijo tradicionales.

Contribuciones de autoría: Conceptualización (HR, CC). Metodología (HR, CC, FE). Curación de datos (MP, MM). Software (FE). Validación (FE). Redacción – borrador original (FE). Visualización (LM). Supervisión (BR).

Conflictos de intereses: los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con este estudio.

Financiamiento: los autores declaran que no hubo financiamiento para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

1. Schützenberger S, Keller F, Grabner S, et al. ACL reconstruction with femoral and tibial adjustable versus fixed-loop suspensory fixation: a retrospective cohort study. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):244. doi: <https://www.doi.org/10.1186/s13018-022-03128-y>.
2. Smith PA, Stannard JP, Pfeiffer FM, Kuroki K, Bozynski CC, Cook JL. Suspensory Versus Interference Screw Fixation for Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Translational Large-Animal Model. *Arthroscopy.* 2016;32(6):1086-97. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.026>.
3. Colombet P, Graveleau N, Jambou S. Incorporation of Hamstring Grafts Within the Tibial Tunnel After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Magnetic Resonance Imaging of Suspensory Fixation Versus Interference Screws. *Am J Sports Med.* 2016;44(11):2838-2845. doi: <https://www.doi.org/10.1177/0363546516656181>.
4. Tomihara T, Ohashi H, Yo H. Comparison of direct and indirect interference screw fixation for tendon graft in rabbits. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(1):26-30. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00167-006-0118-6>.
5. Tibor L, Chan PH, Funahashi TT, Wyatt R, Maletis GB, Inacio MC. Surgical Technique Trends in Primary ACL Reconstruction from 2007 to 2014. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(13):1079-89. doi: <https://www.doi.org/10.2106/JBJS.15.00881>.
6. Lawhorn KW, Howell SM. Principles for using hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2007;26(4):567-85. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.csm.2007.07.002>.
7. Robindro P, Latchumi NVK, Kanthimathi BD. To Study the Functional Outcome of Arthroscopic ACL Reconstruction Using Hamstring Graft Fixed with Endobutton for Femur and Interference Screw and Suture Post for Tibial Fixation. *Int J Med Dental Sci.* 2016;5:978-983.
8. Smith TO, Davies L, Hing CB. Early versus delayed surgery for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18(3):304-11. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00167-009-0965-z>.
9. Eystuoy NH, Nissen KA, Nielsen T, Lind M. The Influence of Graft Fixation Methods on Revision Rates After Primary Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2018;46(3):524-530. doi: <https://www.doi.org/10.1177/0363546517748924>.
10. Sonnery-Cottet B, Rezende FC, Martins Neto A, Fayard JM, Thaunat M, Kader DF. Arthroscopically confirmed femoral button deployment. *Arthrosc Tech.* 2014;3(3):e309-12. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.eats.2014.01.007>.
11. Mayr R, Smekal V, Koidl C, et al. ACL reconstruction with adjustable-length loop cortical button fixation results in less tibial tunnel widening compared with interference screw fixation. *Knee Surg*

Sports Traumatol Arthrosc. 2020;28(4):1036-1044. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00167-019-05642-9>.

12. Jin C, Paluvadi SV, Lee S, Yoo S, Song EK, Seon JK. Biomechanical comparisons of current suspensory fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop*. 2018;42(6):1291-1296. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00264-018-3780-7>. Erratum in: *Int Orthop*. 2018;42(4):977. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00264-018-3849-3>.

13. Chang MJ, Bae TS, Moon YW, Ahn JH, Wang JH. A Comparative Biomechanical Study of Femoral Cortical Suspension Devices for Soft-Tissue Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Adjustable-Length Loop Versus Fixed-Length Loop. *Arthroscopy*. 2018;34(2):566-572. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.arthro.2017.08.294>.

14. Nye DD, Mitchell WR, Liu W, Ostrander RV. Biomechanical Comparison of Fixed-Loop and Adjustable-Loop Cortical Suspensory Devices for Metaphyseal Femoral-Sided Soft Tissue Graft Fixation in Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using a Porcine Model. *Arthroscopy*. 2017;33(6):1225-1232.e1. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.arthro.2016.12.014>.

15. Smith PA, Piepenbrink M, Smith SK, Bachmaier S, Bedi A, Wijdicks CA. Adjustable- Versus Fixed-Loop Devices for Femoral Fixation in ACL Reconstruction: An In Vitro Full-Construct Biomechanical Study of Surgical Technique-Based Tibial Fixation and Graft Preparation. *Orthop J Sports Med*. 2018;6(4):2325967118768743. doi: <https://www.doi.org/10.1177/2325967118768743>.

16. Ahn HW, Seon JK, Song EK, Park CJ, Lim HA. Comparison of Clinical and Radiologic Outcomes and Second-Look Arthroscopic Findings After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Using Fixed and Adjustable Loop Cortical Suspension Devices. *Arthroscopy*. 2019;35(6):1736-1742. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.arthro.2019.01.051>.

17. Boyle MJ, Vovos TJ, Walker CG, Stabile KJ, Roth JM, Garrett WE Jr. Does adjustable-loop femoral cortical suspension loosen after anterior cruciate ligament reconstruction? A retrospective comparative study. *Knee*. 2015;22(4):304-8. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.knee.2015.04.016>.

18. Choi NH, Yang BS, Victoroff BN. Clinical and Radiological Outcomes After Hamstring Anterior Cruciate Ligament Reconstructions: Comparison Between Fixed-Loop and Adjustable-Loop Cortical Suspension Devices. *Am J Sports Med*. 2017;45(4):826-831. doi: <https://www.doi.org/10.1177/0363546516674183>.

19. Heijne A, Fleming BC, Renstrom PA, Peura GD, Beynon BD, Werner S. Strain on the anterior cruciate ligament during closed kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(6):935-41. doi: <https://www.doi.org/10.1249/01.mss.0000128185.55587.a3>.

20. Houck DA, Kraeutler MJ, McCarty EC, Bravman JT. Fixed-Versus Adjustable-Loop Femoral Cortical Suspension Devices for Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Biomechanical Studies. *Orthop J Sports*

Med. 2018;6(10):2325967118801762. doi: <https://www.doi.org/10.1177/2325967118801762>.

21. Jin C, Paluvadi SV, Lee S, Yoo S, Song EK, Seon JK. Biomechanical comparisons of current suspensory fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop*. 2018;42(6):1291-1296. doi: [10.1007/s00264-018-3780-7](https://www.doi.org/10.1007/s00264-018-3780-7). Erratum in: *Int Orthop*. 2018 Apr;42(4):977. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00264-018-3849-3>.

22. Johnson JS, Smith SD, LaPrade CM, Turnbull TL, LaPrade RF, Wijdicks CA. A biomechanical comparison of femoral cortical suspension devices for soft tissue anterior cruciate ligament reconstruction under high loads. *Am J Sports Med*. 2015;43(1):154-60. doi: <https://www.doi.org/10.1177/0363546514553779>.

23. Kawakami H, Shino K, Hamada M, et al. Graft healing in a bone tunnel: bone-attached graft with screw fixation versus bone-free graft with extra-articular suture fixation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004;12(5):384-90. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00167-003-0484-2>.

24. Noonan BC, Dines JS, Allen AA, Altchek DW, Bedi A. Biomechanical Evaluation of an Adjustable Loop Suspensory Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Fixation Device: The Value of Retensioning and Knot Tying. *Arthroscopy*. 2016;32(10):2050-2059. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.arthro.2016.02.010>.

25. Pasquali M, Plante MJ, Monchik KO, Spenciner DB. A comparison of three adjustable cortical button ACL fixation devices. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(5):1613-1616. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00167-015-3711-8>.

26. Nag HL, Gupta H. Seating of TightRope RT Button Under Direct Arthroscopic Visualization in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction to Prevent Potential Complications. *Arthrosc Tech*. 2012;1(1):e83-5. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.eats.2012.03.003>.

27. Kamien PM, Hydrick JM, Replogle WH, Go LT, Barrett GR. Age, graft size, and Tegner activity level as predictors of failure in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Am J Sports Med*. 2013;41(8):1808-12. doi: <https://www.doi.org/10.1177/0363546513493896>.

28. Ranjan R, Gaba S, Goel L, et al. In vivo comparison of a fixed loop (EndoButton CL) with an adjustable loop (TightRope RT) device for femoral fixation of the graft in ACL reconstruction: A prospective randomized study and a literature review. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2018;26(3):2309499018799787. doi: <https://www.doi.org/10.1177/2309499018799787>.

29. Khan RM, Prasad V, Gangone R, Kinmont JC. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients over 40 years using hamstring autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010;18(1):68-72. doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00167-009-0888-8>.

30. Xu Y, Li F, Lu H. [Reconstruction of anterior cruciate ligament with different grafts under arthroscope in 68 cases]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2007;21(11):1163-6. Chinese.

31. Ibrahim SA, Al-Kussary IM, Al-Misfer AR, Al-Mutairi HQ, Ghafar SA, El Noor TA. Clinical evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus gracilis and semitendinosus autograft. *Arthroscopy*. 2000;21(4):412-7. doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.arthro.2004.12.002>.
32. Tomita F, Yasuda K, Mikami S, Sakai T, Yamazaki S, Tohyama H. Comparisons of intraosseous graft healing between the doubled flexor tendon graft and the bone-patellar tendon-bone graft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2001;17(5):461-76. doi: <https://www.doi.org/10.1053/jars.2001.24059>.
33. Wise BT, Patel NN, Wier G, Labib SA. Outcomes of ACL Reconstruction With Fixed Versus Variable Loop Button Fixation. *Orthopedics*. 2017;40(2):e275-e280. doi: <https://www.doi.org/10.3928/01477447-20161116-04>.
34. Kilinc BE, Kara A, Celik H, Oc Y, Camur S. Evaluation of the accuracy of Lachman and Anterior Drawer Tests with KT1000 in the follow-up of anterior cruciate ligament surgery. *J Exerc Rehabil*. 2016;12(4):363-7. doi: <https://www.doi.org/10.12965/jer.1632622.311>.
35. Shahpari O, FallahKezabi M, Kalati HH, Bagheri F, Ebrahimzadeh MH. Clinical Outcome of Anatomical Transportal Arthroscopic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with Hamstring Tendon Autograft. *Arch Bone Jt Surg*. 2018;6(2):130-139.