

LFT. Victor Emmanuel Torres Pineda.

Comparación de la fuerza flexo-extensora de rodilla en adultos jóvenes con genu recurvatum fisiológico.

2026



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Enfermería

Licenciatura en Fisioterapia

Título del tema de Tesis

Comparación de la fuerza flexo-extensora de rodilla en adultos jóvenes con genu recurvatum fisiológico.

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Licenciado en Fisioterapia.

Presenta:

Victor Emmanuel Torres Pineda

Dirigido por:

Dra. Nadia Edith García Medina

Co-Director:

Mtra. Karina Gonzalez Zuñiga

Querétaro, Qro. a 25/05/2026

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro.

Facultad de Enfermería.

Licenciatura en Fisioterapia.

“Comparación de la fuerza flexo-extensora de rodilla en adultos jóvenes con genu recurvatum fisiológico.”

Tesis individual.

Que como requisitos para obtener el título de licenciado en Fisioterapia

Presenta:

Victor Emmanuel Torres Pineda.

Dirigido por:

Dra. en C. Nadia Edith García Medina.

Co-dirigido por:

M. CEE Karina González Zuñiga.

Dra. en C. Nadia Edith García Medina.

Directora.

M.CEE Karina González Zuñiga.

Secretaria.

M.D.G.S Obed Melquiades Rangel Aguado

Vocal.

MCE. Andrea Emireth Ramírez Arteaga.

Suplente

LFT. María Guadalupe Monroy Padilla.

Suplente

Resumen

Introducción: El genu recurvatum fisiológico (GRF) puede influir en la estabilidad articular y el control neuromuscular; sin embargo, la evidencia sobre su relación con la fuerza muscular de rodilla en adultos jóvenes es limitada. **Objetivo:** Comparar la fuerza flexo-extensora de rodilla y el coeficiente flexor/extensor (H/Q) entre estudiantes universitarios con y sin GRF. **Material y métodos:** Estudio cuantitativo, analítico, transversal y comparativo en adultos jóvenes universitarios de 18–30 años. Los participantes fueron clasificados mediante goniometría universal en grupo sin GRF ($<5^\circ$) y con GRF (5° – 20°). La fuerza muscular flexora y extensora se evaluó mediante dinamometría isométrica, registrando el torque máximo voluntario normalizado al peso corporal (Nm/kg). El análisis estadístico incluyó prueba de Shapiro-Wilk y prueba t de Student para muestras independientes ($p < 0.05$). **Resultados:** No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos en el torque isométrico flexor, extensor ni en el coeficiente H/Q. Ambos grupos presentaron valores comparables de fuerza muscular relativa y equilibrio agonista-antagonista. **Conclusiones:** El genu recurvatum fisiológico no se asoció con alteraciones medibles en la fuerza isométrica de rodilla ni en el equilibrio muscular. Los hallazgos sugieren que las contracciones isométricas realizadas en rangos articulares controlados representan una estrategia segura y biomecánicamente estable para la evaluación y entrenamiento de sujetos con hiperextensión leve asintomática.

Palabras clave: genu recurvatum fisiológico; fuerza muscular; torque isométrico; rodilla; dinamometría; adultos jóvenes universitarios.

Summary

Introduction: Physiological genu recurvatum (PGR) may influence joint stability and neuromuscular control; however, evidence regarding its relationship with knee muscle strength in young adults remains limited. **Objective:** To compare knee flexor-extensor strength and the hamstring/quadriceps (H/Q) ratio between university students with and without PGR. **Methods:** A quantitative, analytical, cross-sectional comparative study was conducted in university students aged 18–30 years. Participants were classified using universal goniometry into groups without PGR ($<5^\circ$) and with PGR (5° – 20°). Knee flexor and extensor strength were assessed through isometric dynamometry, recording maximal voluntary torque normalized to body mass (Nm/kg). Statistical analysis included Shapiro–Wilk testing and independent samples Student’s t-test ($p < 0.05$). **Results:** No statistically significant differences were observed between groups in isometric flexor torque, extensor torque, or H/Q ratio. Both groups demonstrated comparable muscle performance and agonist-antagonist balance. **Conclusions:** Physiological genu recurvatum was not associated with measurable alterations in isometric knee strength or muscular balance. The findings suggest that isometric contractions performed within controlled joint ranges represent a safe and biomechanically stable strategy for the assessment and training of individuals with mild asymptomatic hyperextension.

Key words: genu recurvatum; knee strength; isometric dynamometry; knee joint; university students.

Dedicatorias

Sin duda, como Fisioterapeuta, agradezco día con día mis capacidades para poder moverme, pensar y sentir; por ende le dedicó a la naturaleza misma, al universo o dios por haberme ofrecido estas ventajas, con las cuales pude culminar una carrera.

Sobre todo dedico este trabajo a todas aquellas personas que si bien pueden o no estar presentes en mi vida actual, me ayudaron a llegar hasta este punto, como mi familia quienes son mi hermana y madre, los docentes que me han guiado y enseñado a lo largo de estos años. Así como a mis amigos que tengo la dicha de contar con los dedos de mis manos.

También dedicar a los pacientes que han forjado mi camino, que han permitido yo intervenir cuando sabían mi inexperiencia, y que con su dedicación me han motivado a seguir creciendo en esta carrera.

Agradecimientos

Agradezco a Maria refugio Pineda Camacho, y a Karla Torres Pineda, mi familia principal; sin ustedes, esta carrera, y lo que estoy haciendo actualmente serían imposibles. Las amo con todo mi ser.

Dra. Nadia Edith García Medina y Dr. Angel Salvador Xequé Morales. Tengo una deuda con ustedes, y sé que todo lo que han hecho es por su voluntad y dedicación, pero brindar tiempo en la actualidad, y más con sus cargos y roles familiares, para mi es un regalo invaluable.

Paulina Trejo Muñoz, tendrás tus razones de seguir por otro camino, pero sin ti, este trabajo no hubiera sido posible; también agradecer tu escuchar, y las palabras brindadas, te juro que intento esforzarme siempre el doble.

Técnico Horacio y Licenciada Sonia G. mis dos maestros del servicio social. Sony, gracias por exigirme, y también por hablarme con franqueza, muchas veces se omiten comentarios para no herir, pero si no se habla con sinceridad, se sigue con ilusiones falsas. Y Horacio, tan poco tiempo que te conocí, y lo mucho que moviste en mi ser, sin duda eres un hombre preciso con las palabras.

Bryan Paramo Aguilar. Probablemente ni leas el agradecimiento, bueno a menos que te diga que estás aquí. Tan diferentes somos, pero a la vez de los pocos que me entienden. A veces nos fastidiamos, pero espero nunca dejar de ser tu hermano de otra madre.

A mi padre Carlos Torres Pineda, y mi entrenador Luis Marroquin, que descansen en paz. A mi padre, que con poco tiempo de conciencia, hiciste en mí un ser sensible, no sabes cuanto te extraño, y desearía que pudieras haber visto quien soy. Y Marro, ojalá supieras lo mucho que me motivaste a esforzarme y estudiar, porque déjame recordarte que me sugeriste esta carrera y la universidad; te llevo en cada paso siempre que corro o troto.

Índice

Resumen	iii
Summary	iv
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Índice	vii
Índice de cuadros	ix
Índice de figuras	x
Abreviaturas y siglas	xi
I. Introducción	12
II. Antecedentes	14
II.1 Definición, rangos de movimiento y prevalencia del genu recurvatum.	14
II.2 Implicaciones biomecánicas de la extensión de rodilla.	16
II.3 Balance muscular flexor-extensor y relación H/Q.	18
II.4 Evaluación de la fuerza de los músculos flexores y extensores de rodilla.	20
II.5 Fuerza flexo-extensora de la rodilla en población adulta joven.	22
II. 6 Vacíos de conocimiento y justificación del estudio	24
III. Fundamentación teórica	26
III.1 Biomecánica de la articulación tibiofemoral en el plano sagital.	26
III.2 Conceptualización del genu recurvatum.	27
III.3 Fisiología de la producción de fuerza muscular de la rodilla	29
III.4 Dinamometría isométrica como modelo de evaluación del torque	31
III.5 Modelo teórico de interacción entre alineación sagital y producción de fuerza.	33
IV. Hipótesis	36
IV.1 Hipótesis general.	36
IV.2 Hipótesis específica.	36
V. Objetivos	37
V.1 Objetivo general.	37
V.2 Objetivos específicos.	37
VI. Material y métodos	38
VI.1 Tipo de investigación.	38
VI.2 Población o unidad de análisis	38
VI.3 Muestra y tipo de muestreo .	39
VI.4 Criterios de selección.	39
VI.4.1 Criterios de inclusión.	39
VI.4.2 Criterios de exclusión.	40
VI.4.3 Criterios de eliminación.	40
VI.5 Variables estudiadas	41
VI.6 Técnicas e instrumentos	42

VI.6.1 Consentimiento informado e historia clínica.	42
VI.6.2 Goniómetro.	43
VI.6.3 Evaluación antropométrica (peso, estatura e IMC)	44
VI.6.4 Dinamómetro Primus.	44
VI.7 Procedimientos generales del estudio.	46
VI.7.1 Desarrollo del procedimiento	47
VI.7.2 Control metodológico y estandarización	49
VI.8 Análisis estadístico.	50
VI.9 Consideraciones éticas	51
VII. Resultados	53
VII.1 Variables clínicas y demográficas.	53
VII.2 Variables biomecánicas	54
VII.2 Cuestionario	55
VII.3 Torque isométrico relativo y relación H/Q	56
VIII. Discusión	59
IX. Conclusiones	64
X. Bibliografía	69
XI. Anexos	75
XI.1 Carta de consentimiento informado.	75
XI.2 Hoja de recolección de datos (historia clínica).	76
XI.3 Zona de goniometría.	77
XI.4 Báscula SECA 813.	78
XI.5 Estadímetro SECA 213.	78
XI.6 Dinamómetro PRIMUS RS.	79
XI.7 Posicionamiento del voluntario en el dinamómetro	79
XI.8 Solicitud uso del laboratorio.	80

Índice de tablas

tabla		Página
1	Matriz de operacionalización de variables	41
2	Variables clínicas y demográficas	53
3	Variables biomecánicas	54
4	Cuestionario	55
5	Torque relativo isométrico y relación H/Q	56

Índice de figuras

Figura		Página
1	Diagrama de flujo del procedimiento general.	49
2	Comparación del torque flexor relativo entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo control.	57
3	Comparación del torque Extensor relativo entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo control.	58
4	Comparación del cociente flexor/extensor isométrico (H/Q) entre grupos.	59

Abreviaturas y siglas

Abreviatura	Significado
FC	Frecuencia cardiaca
FR	Frecuencia respiratoria
GRF	Genu recurvatum fisiológico
H/Q	Coefficiente flexor/extensor
IMC	Índice de masa corporal
MVIC	Maximum voluntary isometric contraction
Nm	Newton-metro
Nm/kg	Newton-metro por kilogramo de peso corporal
PCSA	Physiological cross-sectional area
SpO ₂	Saturación periférica de oxígeno
TAD	Tensión arterial diastólica
TAS	Tensión arterial sistólica
UAQ	Universidad Autónoma de Querétaro

I. Introducción

El *genu recurvatum* fisiológico (GRF), definido como una hiperextensión de rodilla igual o mayor a 5 grados, bilateral y asintomático, constituye una alteración en el plano sagital que puede modificar la alineación del miembro inferior y la distribución de cargas sobre la articulación tibiofemoral. Aunque en población adulta joven puede considerarse una variante anatómica, su presencia puede influir en la estabilidad de la rodilla debido a cambios en los mecanismos de control muscular y en la tensión de las estructuras capsuloligamentarias posteriores.

La estabilidad funcional es la capacidad de mantener el equilibrio de un sistema o estructura ante las perturbaciones (Dufort et al, 2018). En la rodilla, los músculos flexores y extensores participan en la estabilidad en general; participan en la alineación en posición neutra, además de ser un estabilizador activo en la marcha. La producción de torque articular, cuantificable mediante dinamometría isométrica, permite estimar de manera objetiva la capacidad funcional de estos grupos musculares. En este sentido, el análisis de la fuerza flexo-extensora constituye una herramienta útil para valorar posibles alteraciones biomecánicas asociadas a la hiperextensión de rodilla.

En la literatura reciente se ha descrito la importancia del balance muscular para mantener la integridad articular y prevenir sobrecargas mecánicas. Sin embargo, en población adulta joven universitaria existe limitada evidencia que relacione específicamente la presencia de GRF con la producción de torque muscular de rodilla. Esta ausencia de información dificulta determinar si dicha condición representa únicamente una variación anatómica o si se asocia con modificaciones funcionales cuantificables.

La relevancia social del estudio radica en que este grupo poblacional constituye un grupo etario activo, en el cual la identificación temprana de posibles alteraciones biomecánicas puede contribuir a la implementación de estrategias preventivas. Desde el punto de vista clínico, establecer si existen diferencias en la fuerza flexora y extensora entre estudiantes

con y sin *genu recurvatum fisiológico* (GRF) puede aportar fundamentos para la toma de decisiones en el ámbito fisioterapéutico.

En el ámbito teórico, el trabajo contribuye a ampliar el conocimiento sobre la relación entre alineación articular y fuerza muscular en población adulta joven aparentemente sana. En el ámbito metodológico, el estudio permite valorar la factibilidad del uso de dinamometría isométrica como herramienta objetiva de medición en este grupo poblacional.

Por lo anterior, el objetivo general del presente estudio fue determinar la comparación entre la fuerza flexo-extensora de rodilla en adultos jóvenes universitarios con y sin GRF de la licenciatura en Fisioterapia de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

La presente tesis se estructura de la siguiente manera: en el capítulo II se exponen los antecedentes y el estado actual del conocimiento; en el capítulo III se desarrolla la fundamentación teórica; posteriormente se presentan la hipótesis y los objetivos; en el capítulo VI se describe el material y los métodos empleados; los resultados se muestran en el capítulo VII; finalmente, en los capítulos VIII y IX se discuten los hallazgos y se establecen las conclusiones y propuestas derivadas del estudio.

II. Antecedentes

El análisis del *genu recurvatum* fisiológico (GRF) y su posible relación con la fuerza flexo-extensora de rodilla requiere una revisión integral de la literatura que aborde el rango de movimiento articular, la biomecánica de la extensión terminal, el balance muscular y la evidencia reciente sobre fuerza y control neuromuscular en individuos con hiperextensión. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes reportados en estudios clásicos y contemporáneos.

II.1 Definición, rangos de movimiento y prevalencia del genu recurvatum.

El GRF, también denominado hiperextensión de rodilla, se define como la extensión de la articulación tibiofemoral más allá de la extensión neutra (generalmente $\geq 5^\circ$), y está asociado con alteraciones de la alineación y función del miembro inferior. La articulación tibiofemoral en adultos sanos posee un rango de movimiento que abarca desde la extensión completa (0°) hasta alrededor de 135° de flexión, y variaciones posteriores en la extensión se consideran desviaciones biomecánicas relevantes para la investigación clínica (Mishra et al., 2023). El rango de movimiento de la rodilla en extensión presenta variaciones fisiológicas entre individuos sanos. Se ha descrito que la extensión completa corresponde a 0° , aunque algunos sujetos pueden presentar hiperextensión leve sin manifestar sintomatología clínica (Soucie et al., 2011). Estas variaciones pueden depender de factores como edad, sexo, laxitud ligamentaria y características estructurales individuales.

El GR se suele describir como una deformidad, una alteración; C.J. With (2005), a través de la recolección de información, y hablando desde un entorno médico, lo clasifica en 3 categorías; el idiopático, aquel donde su origen es desconocido; el postraumático, el más común, que se caracteriza por esguinces o fracturas severas de rodilla o extremidad inferior, provocando inestabilidad articular; y el neurológico, donde enfermedades como la poliomielitis afecta la biomecánica por las alteraciones neurológicas y posturales que provocan en el individuo.

G. Demery et al. (2014), explica que el genu recurvatum es aquel que sobrepasa los 180° de extensión de rodilla. Lo clasifica como constitucional (familiar), que es aquel bilateral,

simétrico e idiopático; menciona que se relaciona con la hiperlaxitud ligamentaria, así como ser prevalente en la población (40%). Considera los rangos 5°-15° de extensión para esta definición, pero a su vez menciona que se puede estar en parámetros de 20° asintomático, sin deficiencias relacionadas. Menciona el congénito, donde pueden ser de igual manera cuestiones de hiperlaxitud, o bien condiciones neuromusculares relacionadas con la genética, o cuestiones perinatales. Así como ser adquirido (origen óseo, ligamentoso o mixto).

El Dr. Axayacatl en 2009, realizó una tesis llamada “Técnicas para la corrección de genu recurvatum de etiología adquirida. Procedimiento, técnica quirúrgica y comparación con la literatura”. En esta obra retrata hechos históricos relacionados con este término y el tratamiento médico. El genu recurvatum puede ser congénito o adquirido, y tiene relevancia clínica posterior a los 15° independiente del origen. Desde 1918 se han realizado osteotomías y colgajos; en 1930 se empezó a realizar procedimientos de reconstrucción ligamentaria, así como cirugías más drásticas como artrodesis, la cual ya queda descartada por las limitaciones y restricciones severas que conlleva para la persona.

El GR ha sido de relevancia médica debido a que está asociado a deficiencias en torno a la estabilidad articular de la rodilla. La biomecánica de esta deformidad implica no solo cambios en los rangos articulares sino también en la coordinación cinemática de la marcha y en los patrones de carga a través de las estructuras óseas y blandas de la articulación de la rodilla (Dierick et al., 2021).

Estudios recientes han comparado sujetos con y sin GRF en población joven, encontrando que esta condición no necesariamente implica dolor, pero sí puede asociarse con diferencias en parámetros funcionales y neuromusculares (Upadhyay et al., 2025; Gencel y Öksüz, 2024). Esto sugiere que la hiperextensión debe analizarse no solo como una característica estructural, sino también desde una perspectiva funcional.

La prevalencia del GRF en población general sana continúa estando insuficientemente caracterizada en la literatura, en parte debido a la heterogeneidad de los criterios diagnósticos y a la ausencia de estudios poblacionales amplios con estandarización angular clara. No obstante, investigaciones recientes enfocadas en alteraciones posturales en

adultos jóvenes sanos sugieren que la hiperextensión de rodilla puede ser un hallazgo relativamente frecuente cuando se evalúa mediante examen físico sistematizado.

En un estudio transversal realizado en adultos jóvenes saludables, la hiperextensión de rodilla fue la alteración postural más prevalente, observándose en el 54.1% de los participantes. Asimismo, se reportó una mayor frecuencia en mujeres (68.2%) en comparación con hombres (48.2%), con diferencias estadísticamente significativas en parámetros corporales asociados ($p < 0.05$) (Moltó et al., 2022). Estos hallazgos sugieren que el GRF leve podría constituir una variante postural frecuente en adultos jóvenes aparentemente sanos, particularmente en población femenina.

Si bien muchos trabajos sobre *genu recurvatum* se han centrado en contextos clínicos específicos (como población post-ictus o pacientes con afecciones neuromusculares), la evidencia más reciente ha reforzado la necesidad de comprender la interacción entre la alineación articular, la cinemática de marcha y la fuerza muscular de los grupos flexores y extensores de rodilla. Esto es particularmente importante en poblaciones aparentemente sanas con hiperextensión funcional, donde las adaptaciones biomecánicas pueden ser sutiles pero clínicamente relevantes en términos de control dinámico y riesgo de disfunción musculoesquelética futura (Dierick et al., 2021).

II.2 Implicaciones biomecánicas de la extensión de rodilla.

La estabilidad de la rodilla en extensión depende de un equilibrio entre estructuras pasivas (ligamentos cruzados, cápsula posterior, estructuras capsuloligamentarias) y estructuras activas (principalmente cuádriceps e isquiotibiales). Durante la extensión terminal ocurre el mecanismo de “screw-home”; Hall (2022) describe el mecanismo de rotación automática femorotibial —también conocido como mecanismo de tornillo— como el movimiento que ocurre en los últimos grados de extensión de la rodilla, generado por la asimetría de los cóndilos femorales y el aumento progresivo de la tensión ligamentaria. Este fenómeno permite que la articulación alcance su posición de máxima congruencia y estabilidad en extensión terminal (Neumann, 2010).

Este mecanismo desempeña un papel importante en la extensión terminal de la rodilla. Durante los últimos 30 grados de extensión, la tibia (cadena abierta) o fémur (cadena

cerrada) debe rotar interna o externamente respectivamente, unos 10 grados. Esta ligera rotación se debe a la desigualdad de la superficie articular de los cóndilos fémures; la superficie articular del cóndilo medial del fémur es mayor que la superficie articular del cóndilo lateral.

El mecanismo screw-home se completa durante los últimos grados de extensión de la rodilla, aproximadamente entre 15° y 0°, momento en el cual se alcanza la posición de máxima congruencia articular (close-packed position). Más allá de este rango, en condiciones de hiperextensión fisiológica o patológica, no se produce una rotación automática adicional; en su lugar, predomina la tensión pasiva de las estructuras capsuloligamentarias posteriores, particularmente del ligamento cruzado anterior y la cápsula posterior. Esto genera un incremento del estrés anterior tibial y de las fuerzas de compresión femorotibial. Por lo tanto, la hiperextensión no constituye una prolongación del mecanismo screw-home, sino una condición de sobrecarga pasiva que puede alterar la cinemática rotacional normal de la articulación (Hall, 2022; Neumann, 2017; Freeman & Pins Kerova, 2005).

En actividades funcionales como la marcha, la rodilla alcanza la extensión máxima durante la fase de apoyo, donde la estabilidad se logra por la interacción entre control muscular y tensión ligamentaria (Perry y Burnfield, 2010). Cuando existe hiperextensión estructural, el eje mecánico de carga puede desplazarse posteriormente, generando mayor tensión en la cápsula posterior y modificando el patrón de activación muscular.

Desde el análisis biomecánico, se ha demostrado que la alineación del miembro inferior influye en las fuerzas compresivas y de cizallamiento que actúan sobre la articulación (Escamilla, 2001). En presencia de hiperextensión, podrían alterarse las demandas mecánicas, particularmente si existe un desequilibrio en la producción de fuerza muscular.

Noble Vava Chan et al (2023), realizó un estudio comparativo de 174 hombres jóvenes, donde la mitad contaba con *genu recurvatum* bilateral, y el otro era grupo control; El resultado del estudio sugiere que la hipermovilidad patelar medial es más común en individuos con *genu recurvatum*.

Investigaciones recientes en atletas con rodillas hiperextendidas han observado modificaciones en la relación de torque flexor-extensor, lo que sugiere posibles adaptaciones

o desequilibrios musculares asociados a esta condición (Vasudevan et al., 2024). Aunque estos estudios se desarrollaron en población físicamente activa, aportan evidencia relevante sobre la interacción entre alineación y fuerza muscular.

II.3 Balance muscular flexor-extensor y relación H/Q.

El equilibrio entre la musculatura extensora y flexora de la rodilla constituye un componente esencial para la estabilidad funcional en el plano sagital (Neumann, 2010; Powers, 2010). Desde una perspectiva biomecánica, el cuádriceps femoral actúa como principal generador del momento extensor, participando en la absorción de cargas durante la fase de apoyo y en el control de la extensión terminal (Escamilla, 2001; Neumann, 2010). Por su parte, los isquiotibiales desempeñan una función estabilizadora posterior, contribuyendo al control de la traslación anterior tibial y limitando la hiperextensión excesiva mediante acción excéntrica (Aagaard et al., 1998; Blackburn y Padua, 2009).

La interacción funcional entre ambos grupos musculares se ha conceptualizado mediante la relación flexor/extensor, conocida como ratio H/Q (hamstrings/quadriceps). Este cociente representa el equilibrio relativo entre el torque generado por los músculos flexores y extensores y ha sido utilizado como indicador del balance muscular dinámico (Aagaard et al., 1998). Tradicionalmente, su determinación se ha realizado mediante dinamometría isocinética, particularmente en contracciones concéntricas a velocidades angulares estandarizadas, donde se han propuesto valores de referencia aproximados entre 0.50 y 0.70 en población joven sana, dependiendo de la velocidad evaluada.

No obstante, el significado biomecánico del ratio flexor/extensor (H/Q) trasciende la modalidad de medición empleada. Desde un punto de vista teórico, este coeficiente expresa la capacidad relativa de los músculos flexores de rodilla —principalmente los isquiotibiales— para contrarrestar el momento extensor generado por el cuádriceps, contribuyendo al equilibrio dinámico y a la estabilidad articular (Aagaard et al., 1998; Donald A. Neumann, 2010). Más allá de su uso en contextos deportivos, el ratio H/Q se interpreta como un indicador del balance funcional entre estabilizadores activos antagonistas, particularmente en rangos cercanos a la extensión terminal.

En condiciones de hiperextensión estructural, como el GRF, esta relación adquiere especial relevancia biomecánica, ya que el control activo de los últimos grados de extensión depende en gran medida de la acción moduladora excéntrica de los isquiotibiales y de su capacidad para limitar el momento extensor anterior de la rodilla. Por ello, alteraciones en el cociente H/Q podrían reflejar adaptaciones neuromusculares asociadas a cambios en la alineación sagital.

Estudios en modalidad isocinética han explorado esta asociación. Lee et al. (2019) evaluaron sujetos con GRF y observaron que un menor cociente H/Q se correlacionan con mayores ángulos de hiperextensión durante la marcha, sugiriendo que un desequilibrio muscular podría influir en el control dinámico de la rodilla. De manera similar, Bascevan et al. (2024) reportaron variaciones en la relación H/Q a diferentes velocidades angulares en individuos con hiperextensión, lo que indica que la manifestación del desequilibrio puede depender del contexto dinámico evaluado.

Sin embargo, en población adulta joven aparentemente sana, los hallazgos no son concluyentes. Upadhyay et al. (2025) señalaron que la fuerza absoluta del cuádriceps puede no diferir significativamente entre sujetos con y sin *genu recurvatum*, aunque sí pueden observarse variaciones en parámetros de coordinación neuromuscular y desempeño funcional. Estos resultados sugieren que la hiperextensión no necesariamente implica un déficit cuantitativo de fuerza extensora, sino que podría relacionarse con alteraciones en la relación flexor/extensor (H/Q) o en la modulación activa del movimiento

Es importante señalar que la mayoría de los estudios que han establecido valores de referencia para la relación flexor/extensor (H/Q) se han desarrollado bajo condiciones dinámicas mediante dinamometría isocinética, particularmente a velocidades angulares estandarizadas (Aagaard et al., 1998; Andrade et al., 2020). Sin embargo, algunos estudios han incorporado también la evaluación isométrica del cociente, calculado a partir del torque máximo obtenido en contracciones estáticas controladas, generalmente como el valor medio de múltiples repeticiones. En este sentido, se ha descrito que el H/Q isométrico puede determinarse dividiendo el torque máximo de los músculos flexores entre el de los extensores, bajo condiciones estandarizadas de medición. No obstante, el cálculo del cociente en condiciones isométricas requiere controlar variables como el ángulo articular, la estabilización del segmento y la modalidad de contracción (Maffiuletti et al., 2016; Šarabon et

al., 2020). En este contexto, la relación flexor/extensor isométrica representa el equilibrio relativo de producción máxima de torque en condiciones estáticas controladas, permitiendo el análisis comparativo entre grupos sin la influencia de la velocidad angular, variable característica de los protocolos isocinéticos (Andrade et al., 2020). La evidencia actual presenta resultados heterogéneos y limitados en población universitaria no deportiva evaluada mediante dinamometría isométrica. La mayoría de los estudios sobre la relación flexor/extensor han sido desarrollados en contextos deportivos y bajo modalidades isocinéticas, lo que restringe la extrapolación de sus hallazgos a poblaciones jóvenes aparentemente sanas y con niveles variables de actividad física (Andrade et al., 2020; Šarabon et al., 2020). Asimismo, las investigaciones que han explorado la asociación entre alineación sagital de rodilla y producción de torque han mostrado inconsistencias metodológicas en cuanto a ángulos de evaluación, normalización del torque y criterios de definición de hiperextensión (Mizner et al., 2021).

En consecuencia, esta limitación sustenta la pertinencia de investigar si el genu recurvatum fisiológico (GRF) se asocia con variaciones cuantificables en el balance muscular flexor-extensor bajo condiciones isométricas estandarizadas. La evaluación del cociente H/Q en este contexto permite analizar la producción máxima de torque en un entorno mecánicamente controlado, sin la influencia de la velocidad angular propia de los protocolos dinámicos, y con base en procedimientos que han demostrado ser reproducibles mediante el uso de valores promedio de múltiples repeticiones (Šarabon et al., 2020). Este enfoque contribuye a esclarecer si la hiperextensión de rodilla constituye únicamente una variante estructural o si se asocia con modificaciones funcionales objetivamente medibles en términos de equilibrio muscular en población adulta joven universitaria.

II.4 Evaluación de la fuerza de los músculos flexores y extensores de rodilla.

La evaluación objetiva de la fuerza muscular de la rodilla constituye un componente esencial en el análisis funcional y biomecánico del miembro inferior. La cuantificación del torque generado por los músculos extensores (principalmente cuádriceps femoral) y flexores (isquiotibiales) permite establecer parámetros comparativos entre individuos y grupos, así como identificar posibles desequilibrios musculares asociados a alteraciones estructurales o posturales.

En el ámbito de la investigación contemporánea, la dinamometría instrumentalizada se ha consolidado como uno de los métodos más utilizados para la medición de fuerza muscular debido a su capacidad para ofrecer datos reproducibles, objetivos y cuantificables (Drouin et al., 2004). La medición del torque articular permite analizar no sólo la magnitud de la fuerza generada, sino también la relación funcional entre grupos musculares antagonistas.

Diversos estudios recientes han comparado las modalidades isocinética e isométrica en población joven. Feiring et al. (2021) reportaron que la evaluación isométrica del torque máximo voluntario presenta alta confiabilidad intra e interevaluador, además de menor complejidad técnica y menor demanda logística en comparación con protocolos isocinéticos completos. Los autores enfatizan que la modalidad isométrica resulta particularmente útil en estudios observacionales y transversales, donde el objetivo principal es cuantificar la capacidad máxima de producción de fuerza en condiciones controladas.

Asimismo, estudios que evaluaron la fuerza isométrica de extensores y flexores de rodilla a distintos ángulos articulares han demostrado que las mediciones pueden revelar variaciones en los valores de torque y en la relación H/Q, así como posibles asimetrías entre miembros. Por ejemplo, Krishnan y Williams observaron que el ángulo de flexión de la rodilla influye significativamente en los ratios de fuerza y en la simetría inter miembro durante pruebas isométricas, lo que respalda la utilidad metodológica de la dinamometría isométrica para analizar el equilibrio muscular alrededor de la rodilla (Krishnan & Williams, 2014).

Diversos autores han señalado que, aunque la dinamometría isocinética continúa siendo ampliamente utilizada para el análisis del torque muscular en condiciones dinámicas, la evaluación isométrica presenta ventajas metodológicas cuando el objetivo es cuantificar la fuerza máxima bajo condiciones estáticas estandarizadas. Este tipo de medición permite controlar variables como la velocidad angular y reducir la influencia de factores externos sobre la producción de fuerza, lo que facilita la comparación entre individuos y entre grupos experimentales. Asimismo, estudios que han analizado la fuerza isométrica de rodilla a distintos ángulos articulares han demostrado que este enfoque permite evaluar de manera consistente el torque muscular y las relaciones de fuerza entre miembros, lo cual resulta particularmente útil en investigaciones biomecánicas y clínicas orientadas al análisis del equilibrio muscular alrededor de la rodilla (Krishnan y Williams, 2014; Neumann, 2010).

En el contexto del GRF, la cuantificación del torque flexor-extensor adquiere especial relevancia, ya que la hiperextensión estructural podría modificar la distribución de cargas y el patrón de activación muscular en la extensión terminal. La medición objetiva de la fuerza permite establecer si existen diferencias cuantificables en la producción de torque entre individuos con y sin hiperextensión de rodilla, contribuyendo a esclarecer si el genu recurvatum representa únicamente una variante estructural o si se asocia con modificaciones funcionales detectables.

II.5 Fuerza flexo-extensora de la rodilla en población adulta joven.

La población adulta joven universitaria ha adquirido creciente relevancia en la investigación musculoesquelética debido a los cambios en los patrones de actividad física y comportamiento sedentario característicos de esta etapa académica. Diversos estudios han documentado altos niveles de sedentarismo y reducción de actividad física estructurada en estudiantes universitarios, asociados a demandas académicas prolongadas y tiempo extendido en sedestación (Castro et al., 2020; Pengpod y Peltzer, 2021).

El comportamiento sedentario sostenido se ha relacionado con alteraciones posturales, disminución del rendimiento muscular y cambios en la mecánica del miembro inferior, incluso en ausencia de sintomatología clínica manifiesta (Silva et al., 2022; Czaplewski et al., 2018). Estas modificaciones subclínicas pueden influir en la distribución de cargas articulares y en la capacidad de control muscular durante actividades funcionales.

En este contexto, la evaluación de la fuerza flexo-extensora de rodilla constituye una herramienta clave para identificar desequilibrios musculares tempranos. Diversos estudios han señalado que alteraciones en la relación de fuerza entre isquiotibiales y cuádriceps pueden presentarse incluso en individuos asintomáticos, reflejando variaciones en el equilibrio muscular alrededor de la rodilla. El cociente H/Q se ha utilizado ampliamente como indicador funcional del balance agonista-antagonista y de la capacidad de los isquiotibiales para modular el momento extensor generado por el cuádriceps, especialmente en rangos cercanos a la extensión terminal (Aagaard et al., 1998; Neumann, 2010).

Diversos estudios han analizado la relación entre la fuerza muscular de la rodilla y la estabilidad funcional del complejo femorotibial. Se ha señalado que una menor capacidad

relativa de los isquiotibiales para generar torque puede reducir su función moduladora sobre el momento extensor producido por el cuádriceps, particularmente en los últimos grados de extensión. En este contexto, el equilibrio entre flexores y extensores adquiere relevancia para el control activo de la extensión terminal y la estabilidad dinámica de la rodilla (Aagaard et al., 1998; Neumann, 2010).

Dentro del estudio de la función musculoesquelética de la rodilla, la cuantificación de la fuerza de los músculos flexores y extensores mediante dinamometría constituye una herramienta ampliamente utilizada para evaluar el equilibrio muscular en población sana. En este contexto, diversos estudios han establecido valores de referencia para la fuerza isométrica de rodilla en adultos jóvenes.

Diversos estudios han establecido valores de referencia para la fuerza isométrica de los músculos flexores y extensores de rodilla, los cuales se expresan comúnmente en relación con el peso corporal (Nm/kg) para permitir comparaciones entre individuos. En este sentido, un metaanálisis reciente que integró 13,893 participantes provenientes de 411 estudios reportó valores normativos de fuerza isométrica en población sana, considerando variables como sexo, grupo muscular y ángulo articular de evaluación. En hombres adultos, los intervalos de confianza del 95% (IC 95%) para la fuerza de extensión de rodilla oscilaron entre 1.34 y 2.23 Nm/kg en posiciones cercanas a la extensión completa, mientras que la fuerza de los músculos flexores se situó en rangos inferiores, aproximadamente entre 0.84 y 1.55 Nm/kg. En mujeres adultas, los valores reportados fueron menores en ambos grupos musculares, con intervalos aproximados de 1.01 a 1.79 Nm/kg para los extensores y de 0.63 a 1.16 Nm/kg para los flexores. Estos resultados confirman que los músculos extensores presentan consistentemente una mayor capacidad de producción de torque en comparación con los flexores, así como diferencias atribuibles al sexo. Asimismo, la variabilidad observada resalta la influencia de factores metodológicos y biológicos, lo que subraya la importancia de estandarizar las condiciones de evaluación y de emplear la normalización al peso corporal para una interpretación más precisa del rendimiento muscular en población adulta joven (Šarabon et al., 2021).

En términos de equilibrio muscular, el cociente flexor/extensor (H/Q) ha sido ampliamente utilizado como indicador de la relación funcional entre los músculos isquiotibiales y el cuádriceps. Diversos estudios han reportado valores fisiológicos cercanos a 0.50 -- 0.65 en

población sana; sin embargo, estos rangos provienen principalmente de evaluaciones isocinéticas. No obstante, el cociente también puede calcularse en condiciones isométricas, a partir del torque máximo de los músculos flexores y extensores obtenido en contracciones estáticas estandarizadas, lo que permite analizar el equilibrio muscular en ausencia de la influencia de la velocidad angular. En este contexto, el H/Q isométrico representa la capacidad relativa de los isquiotibiales para modular el momento extensor generado por el cuádriceps, constituyendo un indicador útil para la identificación de posibles desequilibrios funcionales en población joven aparentemente sana.

II. 6 Vacíos de conocimiento y justificación del estudio

A pesar del incremento de investigaciones orientadas a la evaluación de la fuerza muscular de la rodilla en adultos jóvenes, persisten vacíos relevantes en la literatura científica. En primer lugar, la mayoría de los estudios se han centrado en poblaciones deportivas o en sujetos con patología musculoesquelética establecida, mientras que existe menor evidencia enfocada específicamente en estudiantes universitarios sin diagnóstico previo.

En segundo lugar, aunque algunos trabajos han explorado la relación entre la alineación del miembro inferior y la producción de fuerza, son limitados aquellos que analizan de manera directa la asociación entre el genu recurvatum fisiológico, definido mediante criterios clínicos específicos ($\geq 5^\circ$ de hiperextensión), y el comportamiento del torque flexo-extensor evaluado mediante dinamometría isométrica. Esta limitación metodológica dificulta establecer con claridad si la hiperextensión corresponde únicamente a una variación estructural o si se asocia con modificaciones funcionales objetivamente cuantificables en la producción de fuerza.

Adicionalmente, aunque el cociente flexor/extensor (H/Q) ha sido ampliamente utilizado como indicador del equilibrio muscular, su análisis se ha desarrollado principalmente en condiciones isocinéticas. En contraste, la evaluación del H/Q en modalidad isométrica ha sido menos estudiada y presenta una menor estandarización en aspectos como el ángulo articular, el número de repeticiones y los criterios para la obtención del torque máximo. Asimismo, no existe consenso respecto a los puntos de corte clínicamente relevantes para este cociente en población no deportista, ni sobre la magnitud de diferencia de torque que

podría considerarse funcionalmente significativa en sujetos jóvenes asintomáticos. La variabilidad en los protocolos de medición y en los métodos de normalización del torque (valores absolutos vs. relativos al peso corporal) contribuye a esta inconsistencia.

Estas limitaciones justifican la necesidad de estudios observacionales que emplean métodos de evaluación objetivos, reproducibles y seguros, aplicables al contexto universitario. En este sentido, la dinamometría isométrica representa una herramienta pertinente, ya que permite la cuantificación del torque máximo voluntario en condiciones mecánicamente controladas, reduciendo la influencia de la velocidad angular y otras variables dinámicas.

Por lo tanto, la presente investigación busca contribuir a la comprensión biomecánica del genu recurvatum fisiológico en estudiantes universitarios, analizando la relación entre la fuerza flexo-extensora de rodilla y la presencia de hiperextensión estructural. Los hallazgos derivados podrían fortalecer el sustento científico de intervenciones preventivas en fisioterapia, orientadas a la promoción de la salud musculoesquelética en población adulta joven.

III. Fundamentación teórica

III.1 Biomecánica de la articulación tibiofemoral en el plano sagital.

La articulación tibiofemoral es una estructura sinovial de tipo gínglimo modificado que permite predominantemente movimientos de flexión y extensión en el plano sagital, acompañados de componentes rotacionales accesorios que contribuyen a la estabilidad funcional de la rodilla (Neumann, 2021; Koo y Andriacchi, 2021). Desde una perspectiva biomecánica, la rodilla opera como un sistema de palanca de tercer grado, en el cual el cuádriceps femoral genera el momento extensor principal mediante la transmisión de fuerza a través del tendón rotuliano, mientras que los isquiotibiales actúan como antagonistas funcionales, modulando el movimiento y contribuyendo a la estabilidad posterior dinámica (Escamilla et al., 2020; Blackburn et al., 2020).

En condiciones de carga, el equilibrio en el plano sagital depende de la interacción entre el momento externo generado por la fuerza de reacción del suelo y el momento interno producido por la contracción muscular. Durante la fase de apoyo en bipedestación o marcha, el vector de reacción del suelo puede desplazarse anteriormente al eje articular, generando un momento extensor externo que debe ser controlado por la actividad coordinada del cuádriceps y los isquiotibiales (Koo y Andriacchi, 2021). Esta interacción es fundamental para mantener la estabilidad mecánica y evitar sobrecargas en las estructuras capsuloligamentarias posteriores.

En los últimos grados de extensión ocurre el denominado mecanismo de tornillo (screw-home mechanism), caracterizado por una rotación externa automática de la tibia respecto al fémur en cadena cinética abierta, o una rotación interna femoral en cadena cerrada. Este fenómeno biomecánico aumenta la congruencia articular, tensa las estructuras capsuloligamentarias y optimiza la estabilidad pasiva durante la bipedestación (Neumann, 2021; Willinger et al., 2020). La activación muscular disminuye progresivamente en extensión terminal debido al incremento de la estabilidad estructural proporcionada por este mecanismo.

En condiciones fisiológicas, la extensión activa de rodilla alcanza aproximadamente 0° , aunque puede observarse una hiperextensión leve considerada variante anatómica dentro de límites funcionales (Souza et al., 2022). No obstante, cuando la extensión excede los márgenes estructurales habituales, se modifica la alineación sagital del miembro inferior, alterando la posición del eje tibiofemoral y la distribución de cargas articulares. Esta alteración puede generar un aumento del momento extensor pasivo y una disminución relativa de la demanda muscular activa, modificando la línea de acción de los momentos internos y externos que actúan sobre la articulación (Koo y Andriacchi, 2021; Willinger et al., 2020).

Desde una perspectiva mecánica, estas variaciones en la alineación pueden influir en la eficiencia del brazo de palanca muscular y en la producción de torque, lo que sustenta la relevancia de analizar la fuerza flexo-extensora en sujetos con patrones de hiperextensión estructural.

III.2 Conceptualización del genu recurvatum.

El genu recurvatum se define como una hiperextensión estructural de la articulación tibiofemoral que sobrepasa el rango neutro fisiológico de extensión, comúnmente establecido en 0° , y que puede cuantificarse clínicamente cuando excede los 5° de extensión pasiva (Souza et al., 2022; Willinger et al., 2020). Desde el punto de vista mecánico, esta condición implica un desplazamiento posterior relativo del eje tibial respecto al eje femoral durante la carga en bipedestación, modificando la alineación sagital del miembro inferior y la distribución de fuerzas articulares.

Desde el punto de vista etiológico, el genu recurvatum puede comprenderse como una alteración de la alineación sagital de la rodilla cuya presentación varía desde variantes anatómicas constitucionales hasta deformidades patológicas. Diversos autores han descrito que esta condición puede originarse por factores estructurales, neuromusculares o del desarrollo, y han propuesto clasificaciones basadas tanto en su origen etiológico como en el grado de hiperextensión articular (Wirth, 2001; Bellemans et al., 2012).

En términos generales, puede distinguirse entre genu recurvatum fisiológico y patológico. El genu recurvatum fisiológico corresponde a una variante constitucional observada en

individuos sanos, particularmente en sujetos con mayor laxitud ligamentaria o características morfológicas específicas del miembro inferior, en quienes la hiperextensión suele ser leve y asintomática (Neumann, 2017; Magee, 2021). Algunos autores han propuesto rangos angulares orientativos para su interpretación clínica, considerando extensión de 0–5° como ausencia de genu recurvatum, de 5–10° como hiperextensión leve, de 10–15° como recurvatum acentuado y de 15–20° como hiperextensión clínicamente relevante. Cuando la hiperextensión supera aproximadamente los 20°, con frecuencia comienza a considerarse dentro de un espectro patológico debido al aumento del estrés capsuloligamentario posterior y a las alteraciones biomecánicas que puede generar en la articulación tibiofemoral (Wirth, 2001).

Por otro lado, el genu recurvatum patológico se asocia a alteraciones estructurales o funcionales que modifican la mecánica normal de la rodilla y la distribución de cargas articulares (Bellemans et al., 2012; Noyes et al., 2016). En este grupo pueden distinguirse diferentes orígenes etiológicos, entre ellos: el recurvatum postraumático, relacionado con lesiones ligamentosas, fracturas o secuelas quirúrgicas; el recurvatum congénito, observado en deformidades del desarrollo; y el recurvatum neurológico, frecuentemente asociado a trastornos del control motor como parálisis cerebral, lesiones neurológicas centrales o debilidad muscular significativa. Estas condiciones suelen producir hiperextensión más marcada y pueden alterar de manera relevante la estabilidad articular y la mecánica del miembro inferior.

Desde una perspectiva biomecánica, también se han descrito diferentes mecanismos que contribuyen a la aparición del genu recurvatum. Entre ellos destacan factores estructurales, asociados a laxitud capsuloligamentaria posterior, alteraciones en la pendiente tibial o variaciones morfológicas óseas; factores neuromusculares, relacionados con déficit de control activo, alteraciones en el reclutamiento muscular o debilidad relativa de los estabilizadores dinámicos; y factores compensatorios, derivados de adaptaciones posturales proximales (cadera, pelvis) o distales (tobillo), que modifican el eje mecánico global del miembro inferior (Willinger et al., 2020; Koo & Andriacchi, 2021; Neumann, 2017).

En el plano sagital, la hiperextensión modifica la relación entre el vector de la fuerza de reacción del suelo y el eje de rotación de la rodilla. Cuando este vector se posiciona anteriormente al centro articular durante la bipedestación, se genera un momento extensor

externo pasivo que puede reducir la demanda de activación del cuádriceps para mantener la postura erguida (Koo y Andriacchi, 2021). Esta aparente ventaja mecánica disminuye la necesidad de producción activa de torque extensor en condiciones estáticas.

Sin embargo, esta redistribución del momento articular puede incrementar la tensión sobre las estructuras capsuloligamentarias posteriores y alterar la función estabilizadora de los isquiotibiales, quienes cumplen un rol fundamental en el control excéntrico de la extensión terminal y en la limitación de la traslación anterior tibial (Blackburn et al., 2020). La reducción relativa de la demanda activa del cuádriceps podría modificar los patrones de coactivación muscular y el equilibrio dinámico entre estabilizadores pasivos y activos.

Desde una perspectiva teórica integradora, el genu recurvatum puede entenderse como una alteración del balance entre estabilizadores pasivos (cápsula posterior, ligamento cruzado anterior, estructuras posteriores) y estabilizadores activos (cuádriceps e isquiotibiales). Este desequilibrio potencial fundamenta la necesidad de analizar la producción máxima de torque flexo-extensor en sujetos que presentan hiperextensión estructural, con el objetivo de determinar si dicha condición se asocia con modificaciones funcionales cuantificables bajo condiciones mecánicas controladas.

III.3 Fisiología de la producción de fuerza muscular de la rodilla

La fuerza muscular de la rodilla se define como la capacidad del sistema neuromuscular para generar tensión a nivel de la articulación tibiofemoral frente a una resistencia externa o interna, como resultado de la interacción entre mecanismos neurales y propiedades mecánicas del tejido muscular (Maffioletti et al., 2016; Del Vecchio et al., 2019). En este contexto, la producción de fuerza se expresa funcionalmente como torque articular, el cual depende tanto de la magnitud de la fuerza muscular como de factores biomecánicos asociados al sistema de palancas..

Entre los principales determinantes fisiológicos se encuentran:

- Sección transversal fisiológica del músculo (PCSA), que se correlaciona directamente con la capacidad de generación de fuerza máxima debido al número de sarcómeros en paralelo (Lieber y Fridén, 2000; Handsfield et al., 2022).

- Reclutamiento de unidades motoras, regulado por el principio de tamaño de Henneman, donde las unidades motoras de mayor umbral se activan progresivamente conforme aumenta la demanda de fuerza (Del Vecchio et al., 2019).
- Frecuencia de descarga neural (rate coding), que incrementa la tensión muscular mediante la sumación temporal de potenciales de acción (Maffiuletti et al., 2016).
- Longitud muscular al momento de la contracción, determinada por la relación longitud-tensión, la cual establece que la producción máxima de fuerza ocurre en longitudes intermedias donde existe superposición óptima de filamentos de actina y miosina (Herzog, 2019).
- Ángulo articular, que influye tanto en la longitud muscular como en el brazo de palanca, modificando la magnitud del momento generado (Koo y Andriacchi, 2021).

En la articulación de la rodilla, el torque (momento articular) generado durante una contracción isométrica puede describirse mecánicamente mediante la ecuación:

$$M=F \times d.$$

Donde M representa el momento o torque, F la fuerza muscular producida y d el brazo de palanca perpendicular al eje de rotación. El brazo de momento varía según el ángulo articular, lo que explica por qué la estandarización del ángulo de evaluación es fundamental en protocolos isométricos, ya que pequeñas variaciones pueden modificar significativamente el torque registrado (Koo y Andriacchi, 2021).

En la articulación de la rodilla, se ha descrito que tanto el cuádriceps como los isquiotibiales alcanzan valores elevados de producción de torque en ángulos intermedios de flexión, generalmente entre 60° y 70° de flexión de rodilla, donde convergen condiciones favorables de longitud muscular y brazo de palanca (Herzog, 2019; Koo y Andriacchi, 2021). En estas posiciones, la producción de fuerza es más estable y representativa de la capacidad máxima del músculo bajo condiciones isométricas, lo que reduce la variabilidad asociada a cambios extremos en la longitud muscular o en la eficiencia mecánica.

La relación longitud-tensión y la variación del brazo de palanca justifican la elección de ángulos intermedios para la evaluación de la fuerza isométrica, dado que en estas posiciones se favorece una producción de torque más cercana al máximo fisiológico (Herzog, 2019).

Esta consideración es particularmente relevante en estudios comparativos donde se pretende minimizar la influencia de variables mecánicas externas.

Dentro de este marco fisiológico, la relación flexor/extensor (H/Q) constituye un indicador funcional del equilibrio relativo entre los grupos musculares antagonistas de la rodilla. Este cociente ha sido ampliamente utilizado en la literatura bajo diferentes enfoques metodológicos, incluyendo el cociente convencional (contracción concéntrica de flexores/concéntrica de extensores), el cociente funcional (excéntrica de flexores/concéntrica de extensores) y, más recientemente, su evaluación en condiciones isométricas, lo que refleja la diversidad del concepto en función del tipo de contracción y del contexto de medición (Aagaard et al., 1998; Croisier, 2004). Aunque tradicionalmente evaluada en modalidad isocinética, su fundamento biomecánico radica en la capacidad de los isquiotibiales para contrarrestar el momento extensor generado por el cuádriceps, especialmente en los últimos grados de extensión, donde el control excéntrico posterior adquiere relevancia para limitar la hiperextensión y contribuir a la estabilidad articular (Aagaard et al., 1998; Blackburn et al., 2020).

En condiciones isométricas, el cociente H/Q puede determinarse a partir de la relación entre el torque máximo generado por los músculos flexores y extensores bajo un ángulo articular estandarizado, conforme a la siguiente expresión:

$$H/Q = \text{Torque flexor máximo (Nm)} / \text{Torque extensor máximo (Nm)}$$

Este cálculo se basa en valores promedio obtenidos de múltiples repeticiones de contracción máxima voluntaria, lo que permite reducir la variabilidad de la medición y obtener una estimación más estable de la capacidad de producción de fuerza. En este contexto, el H/Q isométrico representa el equilibrio relativo de producción de torque en condiciones estáticas controladas, eliminando la influencia de la velocidad angular y permitiendo comparaciones más directas entre individuos o grupos (Maffiuletti et al., 2016).

Alteraciones en este equilibrio pueden modificar la distribución de cargas articulares y la estabilidad dinámica, lo que respalda la pertinencia de analizar el torque isométrico máximo y la relación flexor/extensor en sujetos con patrones estructurales de hiperextensión.

III.4 Dinamometría isométrica como modelo de evaluación del torque

La dinamometría isométrica constituye un método instrumentalizado para cuantificar el torque máximo voluntario (MVIC, maximum voluntary isometric contraction) bajo condiciones estáticas controladas. En esta modalidad, el ángulo articular permanece constante durante la contracción, lo que permite medir la producción máxima de momento sin desplazamiento angular y, por tanto, sin influencia de la velocidad o aceleración del segmento evaluado (Maffiuletti et al., 2016; Šarabon et al., 2020).

A diferencia de la dinamometría isocinética, donde la velocidad angular es una variable controlada pero presente, la evaluación isométrica elimina la componente cinemática del movimiento, reduciendo la variabilidad asociada a la coordinación intersegmentaria y al control dinámico. Esta característica favorece una mayor estandarización metodológica en estudios observacionales y comparativos, particularmente cuando el objetivo es analizar la capacidad máxima de generación de torque en condiciones mecánicas homogéneas (Andrade et al., 2020).

Desde una perspectiva fisiológica, la medición isométrica del torque refleja la activación máxima voluntaria alcanzada en un ángulo articular específico, integrando factores neurales (reclutamiento y frecuencia de descarga de unidades motoras) y mecánicos (longitud muscular y brazo de palanca) (Del Vecchio et al., 2019). Debido a la dependencia del torque respecto al ángulo articular, la estandarización de la posición de evaluación resulta fundamental para garantizar la comparabilidad intra e intersujeto (Koo y Andriacchi, 2021).

La cuantificación del torque muscular en dinamometría se fundamenta en principios biomecánicos clásicos que describen el momento articular como el producto de la fuerza generada por el músculo y la distancia perpendicular al eje de rotación, expresado como $M = F \times d$, concepto ampliamente desarrollado en la literatura de biomecánica musculoesquelética (Neumann, 2017; Herzog, 2019). En este contexto, el torque se reporta en unidades de Newton-metro (Nm), representando la capacidad absoluta de generación de fuerza del sistema neuromuscular en una articulación específica. Con el objetivo de permitir comparaciones más precisas entre individuos, diversos autores han propuesto la normalización del torque al peso corporal, expresándose en Nm/kg, lo que permite ajustar la interpretación del rendimiento muscular en función del tamaño del sujeto y controlar el efecto de variables antropométricas (Maffiuletti et al., 2016;). Metodológicamente, se calcula dividiendo dicho valor entre el peso corporal del participante ($\text{Nm/kg} = \text{Nm} / \text{kg}$). Este

procedimiento permite integrar tanto la magnitud de la fuerza generada como su relación con las características antropométricas del individuo, proporcionando una interpretación más completa del rendimiento muscular. En el contexto de investigaciones que comparan grupos con diferencias estructurales, como la presencia o ausencia de genu recurvatum, la dinamometría isométrica ofrece una ventaja conceptual: permite evaluar la producción máxima de torque minimizando la influencia de variables dinámicas externas. Esto resulta particularmente pertinente cuando se pretende aislar el componente estructural de alineación sagital y explorar si dicha condición se asocia con variaciones cuantificables en la capacidad contráctil máxima.

El torque máximo voluntario obtenido bajo estas condiciones representa la expresión mecánica de la fuerza muscular multiplicada por el brazo de palanca correspondiente al ángulo evaluado. Por lo tanto, cualquier modificación en la alineación estructural que altere la relación geométrica entre el eje articular y la línea de acción muscular podría influir en la magnitud del momento generado. En este sentido, la evaluación isométrica permite explorar posibles cambios en la eficiencia mecánica asociados a variaciones en la alineación sagital de la rodilla, sin la interferencia de la velocidad angular característica de los protocolos isocinéticos (Šarabon et al., 2020).

Adicionalmente, el análisis conjunto del torque isométrico y del cociente flexor/extensor (H/Q) permite una interpretación más integral del rendimiento muscular. Mientras el torque describe la magnitud de la fuerza generada, el H/Q expresa el equilibrio relativo entre los músculos antagonistas, lo que resulta especialmente relevante en condiciones donde la estabilidad articular depende de la coactivación muscular.

En el presente estudio, la cuantificación del torque isométrico en el miembro dominante bajo un ángulo estandarizado, así como su expresión en valores absolutos y relativos, busca garantizar consistencia metodológica y permitir la comparación interna entre sujetos con y sin hiperextensión estructural.

III.5 Modelo teórico de interacción entre alineación sagital y producción de fuerza.

Desde una perspectiva biomecánica integradora, la alineación sagital de la rodilla constituye un determinante estructural que puede influir en la mecánica de producción de

torque. En presencia de GRF, la relación geométrica entre el eje tibiofemoral y la línea de acción de los músculos flexores y extensores puede verse modificada, generando potenciales cambios en la eficiencia mecánica del sistema músculo-esquelético (Koo y Andriacchi, 2021).

El modelo teórico propuesto plantea que el GRF podría influir en la producción de torque flexo-extensor a través de los siguientes mecanismos:

- **Modificación del brazo de palanca muscular:** El torque articular depende directamente del brazo de momento. Alteraciones en la alineación sagital pueden modificar la distancia perpendicular entre la línea de acción muscular y el eje de rotación, afectando la magnitud del momento generado aun cuando la fuerza muscular intrínseca permanezca constante (Koo y Andriacchi, 2021).
- **Alteración en la posición de longitud inicial del músculo:** La relación longitud-tensión establece que la capacidad máxima de producción de fuerza ocurre en longitudes musculares intermedias. Una posición estructural de hiperextensión podría desplazar el punto inicial de trabajo del cuádriceps o de los isquiotibiales fuera de su rango óptimo de superposición actina-miosina, modificando el torque máximo alcanzable en condiciones isométricas (Herzog, 2019).
- **Cambios en la activación neuromuscular durante la extensión terminal:** El control de la extensión terminal requiere activación coordinada entre cuádriceps e isquiotibiales. Alteraciones estructurales pueden inducir adaptaciones en los patrones de activación, particularmente en la función excéntrica estabilizadora de los isquiotibiales (Blackburn et al., 2020; Del Vecchio et al., 2019).
- **Reducción de la demanda muscular activa en bipedestación:** En sujetos con hiperextensión estructural, el vector de la fuerza de reacción del suelo puede generar un momento extensor pasivo que disminuye la necesidad de activación muscular del cuádriceps en posición estática. Esta “economía pasiva” podría inducir adaptaciones crónicas en la función muscular, aunque la evidencia empírica al respecto es limitada y heterogénea (Koo y Andriacchi, 2021).

A pesar de estos fundamentos mecánicos y fisiológicos, no está claramente establecido si las modificaciones estructurales asociadas al GRF se traducen en diferencias cuantificables

en la producción máxima de torque bajo condiciones isométricas estandarizadas. La mayor parte de la literatura disponible ha evaluado el equilibrio flexor/extensor en condiciones dinámicas isocinéticas, lo que introduce la variable velocidad angular como factor modulador del rendimiento muscular (Andrade et al., 2020).

En consecuencia, persiste un vacío respecto a si la alineación sagital per se —aislada de componentes dinámicos— se asocia con variaciones medibles en la capacidad contráctil máxima.

IV. Hipótesis

IV.1 Hipótesis general.

Existe diferencia significativa en la fuerza isométrica de los músculos flexores y extensores de rodilla, así como en el coeficiente flexor/extensor (H/Q), entre adultos jóvenes con genu recurvatum fisiológico y sujetos sin hiperextensión de rodilla..

IV.2 Hipótesis específica.

Los adultos jóvenes con genu recurvatum fisiológico presentan diferencias en el torque isométrico flexor, torque extensor y coeficiente flexor/extensor (H/Q) respecto al grupo sin genu recurvatum fisiológico.

V. Objetivos

V.1 Objetivo general.

Comparar la fuerza flexo-extensora isométrica de la rodilla y el coeficiente flexor/extensor (H/Q) entre estudiantes universitarios con y sin genu recurvatum fisiológico.

V.2 Objetivos específicos.

1. Determinar si existe relación entre genu recurvatum y variables clínicas y demográficas (género, dominancia, sintomatología y nivel de actividad física según criterios de la OMS).
2. Cuantificar el torque isométrico máximo de la musculatura flexora y extensora de rodilla mediante dinamometría PRIMUS RS en estudiantes universitarios adultos.
3. Determinar la relación flexor/extensor isométrica de la rodilla en el miembro dominante.
4. Comparar el torque isométrico máximo y la relación flexor/extensor entre estudiantes con y sin genu recurvatum.
5. Identificar la prevalencia de genu recurvatum fisiológico mediante evaluación goniométrica en la población estudiada.

VI. Material y métodos

VI.1 Tipo de investigación.

El presente estudio es de enfoque cuantitativo y aplicado, ya que busca analizar variables biomecánicas mediante la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a través de instrumentos de medición estandarizados, con la finalidad de generar evidencia útil para la práctica fisioterapéutica y la comprensión funcional del genu recurvatum fisiológico.

Su alcance es comparativo, debido a que pretende identificar posibles diferencias en la fuerza flexora y extensora de la rodilla, así como en el coeficiente flexor/extensor (H/Q), entre estudiantes universitarios con genu recurvatum fisiológico y sujetos sin hiperextensión de rodilla. Este tipo de alcance permite analizar el comportamiento de variables musculares entre grupos definidos clínicamente, sin establecer relaciones causales directas.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Villarreal Ríos (2018), el diseño de esta investigación corresponde a un estudio observacional, analítico, transversal y comparativo. Es observacional porque los investigadores no manipulan las variables de estudio, limitándose a evaluarlas en su contexto natural; es analítico porque busca examinar diferencias y comportamientos entre variables biomecánicas; es transversal porque la recolección de datos se realizó en un único momento temporal; y es comparativo porque se analizaron dos grupos de estudio: participantes con genu recurvatum fisiológico y participantes sin hiperextensión estructural de rodilla.

Este diseño resulta adecuado para los objetivos planteados, ya que permite comparar el comportamiento del torque isométrico y del equilibrio muscular agonista-antagonista entre grupos con diferentes características de alineación sagital, aportando evidencia relevante para futuras investigaciones biomecánicas, clínicas y funcionales en fisioterapia.

VI.2 Población o unidad de análisis

Los participantes fueron adultos jóvenes universitarios de 18 a 30 años de edad, de la licenciatura en Fisioterapia de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Corregidora. La participación es voluntaria considerando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

De acuerdo con la revisión de la literatura, una población infinita se refiere a aquella en la que el número de sujetos es tan grande o variable que se considera ilimitado, permitiendo el ingreso continuo de nuevos individuos al grupo de estudio(Villarreal Ríos, 2018).

VI.3 Muestra y tipo de muestreo .

El estudio emplea un muestreo no probabilístico, dado que la selección de participantes se realizará en función de la accesibilidad y disponibilidad de los estudiantes en el Campus Corregidora durante el periodo de estudio. Esta estrategia facilita el reclutamiento en contextos universitarios donde la lista completa de sujetos no siempre está accesible para realizar una selección aleatoria.

Se utilizará muestreo por conveniencia para captar a los estudiantes que voluntariamente acepten participar tras la convocatoria; adicionalmente, la inclusión en uno u otro grupo (Grupo 1: con genu recurvatum fisiológicos,; Grupo 2: sin genu recurvatum) será intencional y determinada mediante criterios operacionales (p. ej. goniometría $>5^{\circ}$ para genu recurvatum).

En otras palabras, la técnica combina la conveniencia para el reclutamiento inicial y la selección por criterios diagnósticos para conformar los grupos comparativos.

VI.4 Criterios de selección.

VI.4.1 Criterios de inclusión.

- Personas de entre 18 y 30 años de edad.
- Para el Grupo 1, diagnóstico de genu recurvatum fisiológico, confirmado mediante medición goniométrica bilateral con un ángulo de hiperextensión de rodilla mayor o igual a 5° grados.
- Para el Grupo 2 (control), ángulo de extensión de rodilla $< 5^{\circ}$ en goniometría bilateral.
- Signos vitales dentro de parámetros normales al momento de la evaluación.
- No contar con signos de lesión en rodilla, o articulaciones adyacentes.
- Firma del consentimiento informado tras la explicación detallada del estudio y sus procedimientos.

VI.4.2 Criterios de exclusión.

- Antecedentes de lesiones agudas o cirugías previas en la articulación de la rodilla.
- Presencia de dolor, limitación funcional o cualquier condición que impida realizar la prueba de fuerza isométrica de manera segura.
- Negativa a participar o retiro del consentimiento informado en cualquier etapa del estudio.

VI.4.3 Criterios de eliminación.

- Abandono voluntario del estudio por parte del participante en cualquier momento.
- Ausencia injustificada a la sesión de evaluación.
- Datos incompletos o inválidos durante la recolección (por ejemplo, registros de fuerza no válidos o errores en la medición goniométrica).
- Aparición de dolor significativo, lesión o molestia durante la prueba que requiera suspender la evaluación.
- Descubrimiento posterior de alguna condición médica o antecedente que cumpla criterios de exclusión no detectados en la evaluación inicial.

VI.5 Variables estudiadas

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de variables

Variables categóricas	Definición conceptual	Definición operacional Subcategorías o dimensiones	Indicadores
Fuerza isométrica. Cuantitativa continua.	Se refiere a la capacidad del músculo para generar tensión sin que haya un cambio en su longitud.	Cada persona seleccionada como parte de nuestro protocolo de investigación asistirá al laboratorio la UAQ campus corregidora para las pruebas; éstas serán realizadas por medio del dinamómetro primus RS, donde por medio de nuestra guía y apoyo se le pedirán ciertas posiciones y movimientos para evaluar la fuerza isométrica de los músculos flexores y extensores de rodilla.	Newtons metro (Nm).
Edad. Cuantitativa discreta.	Tiempo que ha vivido una persona o ciertos animales o vegetales (RAE).	A cada participante del estudio el día de su valoración se le pedirá que lleve su INE para corroborar este dato.	Jóvenes: 15-24 años. Adulto joven: 25-44 años. Adultos mayores: 45-59 años. Adultos maduros: 60 años o más.
Genu recurvatum. Cuantitativa discreta.	Hiperextensión estructural de la articulación tibiofemoral que sobrepasa el fisiológico de extensión, comúnmente establecido en 0°, y que puede cuantificarse clínicamente cuando excede los 5° de extensión pasiva (Souza et al., 2022).	A cada persona parte del estudio se le harán mediciones de la extensión de sus rodillas por medio de un goniómetro.	+ de 5° de hiperextensión de rodilla se considera genu recurvatum fisiológico.
Sexo. Cualitativa nominal.	Características biológicas y fisiológicas que definen al hombre y a la mujer (Gobierno de México, 2016).	A cada persona parte del estudio se le pedirá su identificación oficial durante el interrogatorio para corroborar este dato.	Femenino y masculino.
Peso. Cuantitativo continuo.	Magnitud física que expresa la cantidad de materia de un cuerpo; medida por la inercia de este; y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo (kg) (RAE).	Durante el llenado de la historia clínica, a cada persona parte del estudio se le pedirá que suba a una báscula.	Kilogramos (kg).
Talla. Cuantitativo continuo.	Estatura o altura de las personas (RAE).	Durante el llenado de la historia clínica, a cada persona parte del estudio se le pedirá que se acerque a una pared donde se encontrará una cinta métrica para medir la talla de las personas.	Centímetros (cm).
IMC. Cuantitativa continua.	Indicador antropométrico obtenido a partir del peso y la talla (OMS, 2020).	Se calculó mediante la fórmula: $\text{peso}/\text{talla}^2$.	kg/m ² .
Frecuencia cardíaca. Cuantitativa continua.	Número de latidos cardíacos por minuto (Guyton y Hall, 2021).	Se registró en reposo mediante oxímetro o monitor digital.	lpm
Frecuencia respiratoria. Cuantitativa continua.	Número de respiraciones realizadas por minuto (Guyton y Hall, 2021).	Se obtuvo mediante observación clínica en reposo.	rpm
Saturación parcial de oxígeno. Cuantitativa continua.	Porcentaje de hemoglobina saturada con oxígeno en sangre periférica (Guyton y Hall, 2021).	Se registra mediante oxímetro de pulso.	%SpO ₂
Tensión arterial sistólica. Cuantitativa continua.	Presión máxima ejercida por la sangre sobre la pared arterial durante la sístole cardíaca (Guyton y Hall, 2021).	Se registra por esfigmomanómetro.	mmHg
Tensión arterial diastólica. Cuantitativa continua.	Presión mínima ejercida por la sangre sobre la pared arterial durante la diástole cardíaca (Guyton y Hall, 2021).	Se registra por esfigmomanómetro.	mmHg
Dominancia de miembro inferior. Cuantitativa dicotómica.	Preferencia funcional de un miembro inferior para tareas motoras específicas (Peters, 1998).	Se determinó mediante pruebas funcionales de pateo, respuesta hipotética y recuperación postural.	Derecha/ Izquierda
Torque isométrico absoluto. Cuantitativa continua.	Capacidad de los músculos de rodilla para generar momento articular durante una contracción isométrica máxima (Maffiuletti et al., 2016).	Se obtuvo mediante dinamometría isométrica registrando el promedio de tres contracciones máximas voluntarias.	Newtons metro (Nm)
Torque isométrico relativo. Cuantitativa continua.	Expresión del torque muscular en relación con el peso corporal (Šarabon et al. 2022).	Se calculó dividiendo el torque absoluto entre el peso corporal del participante.	Nm/Kg
Relación (H/Q). Cuantitativa continua.	Cociente que equilibra funcionalmente la musculatura flexora y extensora de rodilla (Aagaard et al., 1998; Andrade et al. 2020).	Se calculó dividiendo el torque extensor isométrico del mismo miembro entre el torque flexor isométrico del mismo miembro.	Cociente H/Q

Nota. Adaptado y elaborado con base en literatura biomecánica y fisiológica relacionada con dinamometría isométrica, alineación sagital de rodilla y evaluación musculoesquelética.

VI.6 Técnicas e instrumentos

VI.6.1 Consentimiento informado e historia clínica.

Como primer acto, se acudió con docentes para solicitar la promoción presencial del proyecto; teniendo el permiso, se brindó la explicación, y al finalizar se otorgaron consentimientos informados a los interesados (Anexo 1). Los estudiantes interesados recibieron una fecha y hora para su evaluación en el laboratorio de ciencias y tecnologías aplicadas, del campus corregidora de la UAQ.

Previo a la evaluación física, se aplicó una historia clínica estructurada diseñada para recabar información relevante sobre antecedentes personales, sintomatología actual y variables demográficas y clínicas de interés para el estudio. Incluyó los siguientes datos (Anexo 2):

- Datos generales (edad, género).
- Dominancia funcional del miembro inferior: se determinó mediante tres procedimientos complementarios descritos previamente en la literatura sobre preferencia podal y lateralidad funcional. En primer lugar, se aplicó la prueba de pateo de balón (Ball Kicking Test), considerada una de las estrategias más utilizadas para identificar el miembro dominante en tareas movilizadoras, registrando el pie utilizado espontáneamente para patear una pelota (Annett, 1970). Posteriormente, se realizó un interrogatorio dirigido sobre preferencia podal (self-reported foot preference), preguntando al participante con qué pie patear una pelota, procedimiento utilizado en estudios de dominancia funcional y neuropsicología motora (Elias et al., 1998). En los casos donde existió discrepancia entre ambas pruebas, se aplicó una tercera evaluación basada en la respuesta de recuperación postural (postural recovery response), mediante una perturbación externa leve realizada desde posterior al sujeto, observando el miembro utilizado como apoyo principal durante la estabilización corporal, criterio relacionado con estrategias funcionales de dominancia del miembro inferior (Peters, 1988).
- Antecedentes de lesiones musculoesqueléticas en miembro inferior.
- Presencia de dolor actual o previo en la articulación de la rodilla.
- Tiempo de evolución de la sintomatología (en caso de existir).

- Tratamientos previos relacionados con rodilla.
- Nivel de actividad física: fue clasificado conforme a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) para adultos, considerando el cumplimiento de al menos 150 minutos semanales de actividad física moderada o 75 minutos de actividad vigorosa, o su combinación equivalente.

La aplicación de la historia clínica permitió identificar posibles criterios de exclusión, caracterizar clínicamente a la población, analizar la asociación entre genu recurvatum y sintomatología, y controlar variables potencialmente confusoras

VI.6.2 Goniómetro.

Es un instrumento utilizado para medir el rango de movimiento (ROM) de las articulaciones en grados. Consiste en dos brazos, uno fijo y otro móvil, unidos por un eje que permite registrar el ángulo de movimiento articular.

Se emplea para evaluar la flexión y extensión de la rodilla, ayudando a determinar restricciones de movimiento, monitorear el progreso en rehabilitación y establecer metas terapéuticas. El goniómetro se coloca alineado con el fémur, la tibia y el eje articular de la rodilla para obtener medidas precisas. Presenta una confiabilidad moderada a alta, con un ICC de 0.75 a 0.97 en mediciones intraevaluador, y de 0.60 a 0.89 en mediciones interevaluador, con posibles variaciones de 5 a 10 grados. (Norkin, C.C., & White, D.J. 2016).

La evaluación goniométrica de rodilla se realizó con el participante en decúbito prono sobre una camilla, valorando bilateralmente los movimientos de flexión y extensión mediante goniómetro universal (Anexo 3). Para la medición de la flexión de rodilla, el sujeto permaneció en prono con la pelvis estabilizada, solicitando la flexión activa de la rodilla llevando el talón hacia la región glútea. Para la evaluación de la extensión, la rodilla se posicionó en extensión terminal permitiendo identificar la presencia de hiperextensión fisiológica; en caso necesario, se colocó un soporte debajo del tercio distal del muslo para facilitar el movimiento libre de la articulación y evitar compensaciones. El eje del goniómetro se alineó con el epicóndilo lateral del fémur, utilizando como referencias anatómicas el trocánter mayor y el maléolo lateral. Las mediciones se realizaron bajo posiciones estandarizadas con la finalidad de garantizar reproducibilidad y comparabilidad bilateral de los valores obtenidos (Norkin y White, 2016)

VI.6.3 Evaluación antropométrica (peso, estatura e IMC)

El peso corporal se midió mediante una báscula digital SECA 813 previamente calibrada, con precisión de 0.1 kg. Los participantes fueron evaluados descalzos y con ropa ligera, colocándose en bipedestación sobre la plataforma de la báscula, con distribución simétrica del peso corporal y mirada al frente, siguiendo recomendaciones antropométricas estandarizadas para investigación clínica. La medición se realizó una sola vez bajo condiciones controladas. (Anexo 4).

La estatura se registró mediante un estadiómetro portátil SECA 213 con precisión de 0.1 cm (Anexo 5). El participante se colocó en bipedestación erguida, descalzo, con talones juntos y en contacto con la superficie vertical del estadiómetro, manteniendo cabeza, tronco y pelvis alineados anatómicamente. La cabeza fue posicionada en el plano de Frankfurt y la medición se realizó al final de una inspiración profunda controlada, siguiendo lineamientos antropométricos internacionales.

Con los valores obtenidos se calculó el índice de masa corporal ($IMC = \text{Peso (Kg)} / \text{Talla (m)}^2$).

VI.6.4 Dinamómetro Primus.

La fuerza muscular isométrica de la articulación de la rodilla fue evaluada mediante dinamómetro computarizado PRIMUS RS® (Anexo 6), equipo que permite cuantificar el torque máximo voluntario (Nm) bajo condiciones estáticas controladas. La modalidad isométrica posibilita la medición de la capacidad máxima de generación de momento articular sin desplazamiento angular, eliminando la influencia de la velocidad y aceleración propias de las evaluaciones dinámicas.

Procedimiento de evaluación: Los participantes fueron posicionados en sedestación con respaldo a 90°, manteniendo la cadera en flexión aproximada de 90°. La rodilla evaluada se colocó en un ángulo estandarizado de 60° de flexión, considerando que esta posición favorece una producción óptima de torque debido a la relación longitud-tensión y a la variación del brazo de palanca muscular (Anexo 7).

El eje mecánico del dinamómetro se alineó con el cóndilo femoral lateral, asegurando congruencia con el eje anatómico de rotación tibiofemoral. El brazo de resistencia se fijó en

la región distal de la pierna, proximal al maléolo medial, garantizando estabilidad mediante correas de sujeción en muslo, pelvis y tronco.

Se solicitó a cada participante realizar contracciones isométricas máximas voluntarias tanto de la musculatura extensora (cuádriceps femoral) como flexora (isquiotibiales) del miembro dominante. Se registró el torque máximo alcanzado en Newton-metro (Nm). Para minimizar sesgos asociados a fatiga, se establecieron periodos de recuperación entre intentos.

La evaluación dinamométrica isométrica se realizó mediante contracciones máximas voluntarias (MVIC) de 5 segundos de duración para los movimientos de flexión y extensión de rodilla, siguiendo parámetros comúnmente utilizados en protocolos de evaluación de fuerza isométrica (Maffiuletti et al., 2016). Cada participante efectuó tres repeticiones por grupo muscular, con periodos breves de recuperación (30 segundos) entre intentos para minimizar la fatiga y favorecer la reproducibilidad de las mediciones. Posteriormente, se utilizó el valor promedio de las tres repeticiones para el análisis estadístico, aceptando un coeficiente de variación $\leq 10\%$. A partir del torque máximo voluntario se calcularon:

- Torque absoluto (Nm)
- Torque relativo (Nm/kg), normalizado por peso corporal para mejorar la comparabilidad intersujeto
- Relación flexor/extensor isométrica (H/Q), obtenida mediante el cociente entre el torque máximo flexor y el torque máximo extensor

La literatura actual no establece puntos de corte universales para clasificar la fuerza muscular isométrica en categorías clínicas absolutas como “débil” o “fuerte”, particularmente en población adulta joven sana. Sin embargo, estudios recientes han reportado valores de referencia normalizados al peso corporal (Nm/kg) que permiten contextualizar el rendimiento muscular bajo condiciones isométricas. En el metaanálisis realizado por Šarabon et al. (2022), el cual incluyó 13,893 participantes provenientes de 411 estudios, se reportaron intervalos de referencia para fuerza isométrica de rodilla en adultos sanos. En hombres, el torque extensor mostró intervalos aproximados de 1.34–2.23 Nm/kg y el torque flexor de 0.75–1.44 Nm/kg; mientras que en mujeres los extensores presentaron valores entre 1.01–1.79 Nm/kg y los flexores entre 0.54–1.15 Nm/kg. Valores por debajo de estos rangos

suelen interpretarse como menor rendimiento muscular relativo, mientras que valores superiores reflejan mayor capacidad de producción de torque en relación con el peso corporal. No obstante, los autores enfatizan que dichos parámetros deben interpretarse considerando variables como sexo, edad, posición articular y protocolo de evaluación utilizado, por lo que recomiendan analizar el torque principalmente como una variable continua más que como una clasificación dicotómica estricta.

La relación flexor/extensor (H/Q) ha sido propuesta como un indicador funcional del equilibrio agonista-antagonista de la rodilla, representando la capacidad relativa de los isquiotibiales para modular el momento extensor generado por el cuádriceps. Aunque históricamente este coeficiente ha sido estudiado principalmente mediante dinamometría isocinética, diversos autores han señalado que su cálculo también puede realizarse bajo condiciones isométricas, siempre que ambos grupos musculares sean evaluados en el mismo ángulo articular y bajo condiciones mecánicas estandarizadas (Maffiuletti et al., 2016; Pellicer-Chenoll et al., 2011). Estudios realizados en población sana han mostrado que los valores del H/Q isométrico suelen mantenerse cercanos a los reportados en protocolos isocinéticos convencionales, con rangos funcionales aproximados entre 0.50 y 0.65, considerados compatibles con un equilibrio muscular adecuado entre flexores y extensores de rodilla (Aagaard et al., 1998; Coombs & Garbutt, 2002). De manera particular, Pellicer-Chenoll et al. (2011) evaluaron tanto el H/Q isométrico como isocinético en futbolistas universitarios, reportando valores comparables entre modalidades y describiendo que el cociente isométrico constituye una herramienta útil para analizar el balance muscular bajo condiciones estáticas controladas. No obstante, la literatura actual reconoce que aún existe variabilidad metodológica relacionada con el ángulo articular, el tipo de dinamómetro y la normalización del torque, por lo que no se dispone de puntos de corte universales específicos para el H/Q isométrico.

VI.7 Procedimientos generales del estudio.

La presente investigación se desarrolló en la Licenciatura en Fisioterapia de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Corregidora, durante el periodo agosto–noviembre de 2025. El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo, analítico y transversal comparativo, siguiendo un protocolo metodológico estandarizado para la

evaluación de la alineación sagital de rodilla y la producción de torque isométrico flexo-extensor.

El procedimiento fue diseñado con el objetivo de garantizar la reproducibilidad de las mediciones, la adecuada estandarización biomecánica de las evaluaciones y la consistencia en el registro de los datos clínicos y funcionales obtenidos. Todas las mediciones fueron realizadas en un entorno controlado de laboratorio, utilizando instrumentos previamente calibrados y protocolos basados en recomendaciones reportadas en la literatura científica relacionada con evaluación musculoesquelética y dinamometría isométrica.

VI.7.1 Desarrollo del procedimiento

Inicio. Solicitud uso del laboratorio.

Previo a solicitar la participación a los estudiantes, solicitamos el uso del “laboratorio de ciencias y tecnologías aplicadas”, localizado en el campus Corregidora de la UAQ. Se realizó una solicitud (Anexo 8) que fue firmada y entregada por los responsables hacia el docente a cargo de gestionar el uso del área.

Paso 1. Consentimiento informado

Previo al inicio de las evaluaciones, se explicó a cada participante la naturaleza del estudio, sus objetivos, procedimientos, beneficios y posibles riesgos mínimos asociados. Posteriormente, aquellos que aceptaron participar firmaron el consentimiento informado correspondiente, garantizando el cumplimiento de los principios éticos para investigación en seres humanos.

Paso 2. Recolección de datos clínicos y demográficos

Se aplicó una historia clínica estructurada para el registro de variables demográficas, antecedentes musculoesqueléticos relevantes, nivel de actividad física, sintomatología y dominancia funcional del miembro inferior.

Paso 3. Evaluación antropométrica

El peso corporal fue medido mediante báscula digital calibrada y la estatura mediante estadiómetro vertical estandarizado. Con los valores obtenidos se calculó el índice de masa corporal (IMC) utilizando la fórmula peso/talla².

Paso 4. Evaluación goniométrica de rodilla

La valoración goniométrica bilateral de flexión y extensión de rodilla se realizó mediante goniómetro universal con el participante en decúbito prono. A partir de esta evaluación se determinó la presencia o ausencia de genu recurvatum fisiológico conforme a los criterios operativos establecidos en el protocolo.

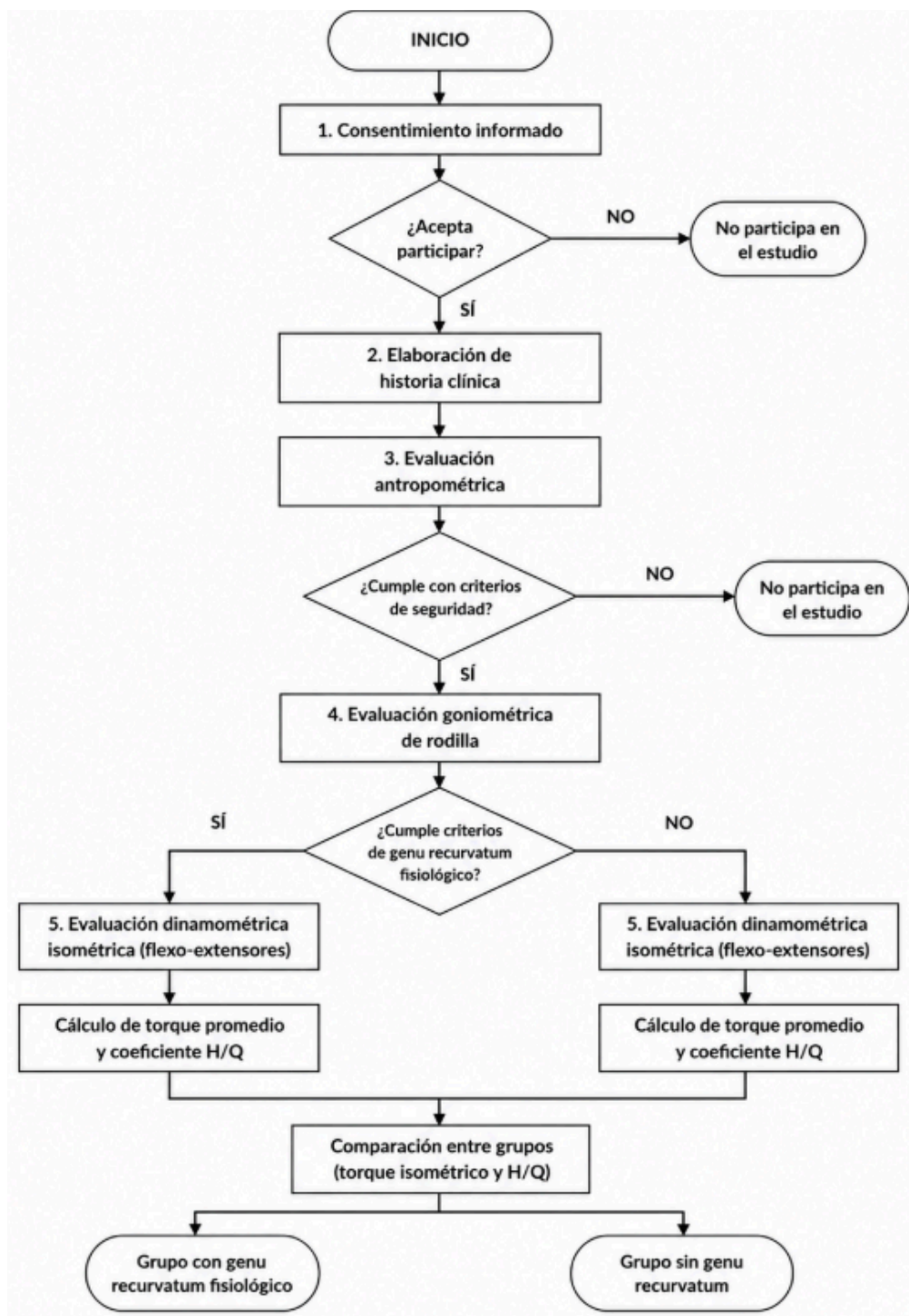
Paso 5. Evaluación dinamométrica isométrica

La fuerza muscular flexo-extensora de rodilla se cuantificó mediante dinamometría computarizada utilizando un dinamómetro PRIMUS RS® configurado en modalidad isométrica. El procedimiento incluyó posicionamiento estandarizado, alineación del eje mecánico del equipo con el eje anatómico tibiofemoral y estabilización corporal mediante sistemas de fijación. Para cada grupo muscular se realizaron tres contracciones máximas voluntarias de 5 segundos, con descansos de 30 segundos entre repeticiones. Se utilizó el valor promedio de las repeticiones para el análisis estadístico.

Posteriormente, los participantes fueron clasificados en grupo con genu recurvatum fisiológico y grupo sin genu recurvatum, permitiendo efectuar la comparación del torque isométrico y del coeficiente flexor/extensor (H/Q) entre ambos grupos.

Figura 1

Diagrama de flujo del procedimiento general.



Con la finalidad de garantizar la calidad y consistencia de las mediciones, durante el desarrollo del estudio se supervisan distintos aspectos metodológicos y operativos relacionados con la ejecución del protocolo. Entre ellos se incluyeron la correcta comprensión de las instrucciones por parte de los participantes, la adecuada estandarización de posiciones corporales, la alineación precisa del eje mecánico del dinamómetro con el eje anatómico de la rodilla, el correcto funcionamiento del sistema digital de registro y la organización logística del laboratorio.

Asimismo, se verificó la consistencia interna de los valores de torque obtenidos entre repeticiones, aceptando únicamente mediciones con coeficiente de variación $\leq 10\%$, criterio utilizado para favorecer la reproducibilidad y confiabilidad de los datos dinamométricos reportados en la literatura especializada.

VI.8 Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó mediante el software estadístico Jamovi® versión XX (The Jamovi Project, Australia). Previo al análisis inferencial, se efectuó la depuración de la base de datos y la exclusión de registros incompletos o con información insuficiente para el procesamiento estadístico.

Las variables cuantitativas continuas fueron descritas de acuerdo con su distribución. Aquellas con distribución normal se expresaron mediante media, desviación estándar, valores mínimos y máximos; mientras que las variables sin distribución normal se describieron utilizando mediana, percentiles y rango mínimo-máximo. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de variación (CV) en las mediciones dinamométricas con la finalidad de evaluar la consistencia intra participante de las repeticiones realizadas.

Las variables cualitativas, incluyendo presencia de genu recurvatum fisiológico, sexo, dominancia funcional del miembro inferior, nivel de actividad física, antecedentes de lesión y sintomatología, fueron expresadas mediante frecuencias absolutas y porcentajes.

El coeficiente flexor/extensor isométrico (H/Q) se calculó utilizando los valores promedio de torque máximo obtenidos durante las contracciones isométricas voluntarias máximas.

La normalidad de las variables continuas se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para la comparación entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo sin genu recurvatum se empleó la *prueba t de Student para muestras independientes* en variables con distribución normal y homogeneidad de varianzas. En variables sin distribución normal se utilizaron pruebas no paramétricas correspondientes. Los resultados inferenciales fueron complementados mediante diagramas de caja y bigotes, así como mediante los valores de *t*, grados de libertad (*gl*) y significancia estadística (*p*).

Asimismo, las asociaciones entre variables categóricas se exploraron mediante la prueba de chi cuadrada (χ^2), según correspondiera.

Se estableció un nivel de significancia estadística de $p < 0.05$ para todas las pruebas analíticas.

VI.9 Consideraciones éticas

Este protocolo de investigación se basará en el código de Helsinki en los artículos 6, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 24, 26, 31, 32, esto debido a que su objetivo principal es realizar investigación en seres humanos; los cuales presentan genu recurvatum y algunos otros que no lo presentan, funcionando como grupo control, conocer la existencia de una relación entre este padecimiento y la fuerza de los músculos flexores y extensores de la rodilla su prevalencia de esta disfunción. Se hará un llenado de historia clínica y aplicación de pruebas en baropodómetro, estadímetro, báscula de bioimpedancia, dinamómetro y goniómetro, las cuales implican un riesgo mínimo para los participantes.

En el presente proyecto, se requiere la participación de individuos que serán evaluados mediante pruebas de medición de fuerza muscular y evaluaciones físicas. Siguiendo lo dispuesto en el Artículo 14 de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud, garantizamos que los participantes serán plenamente informados sobre los objetivos de la investigación, los procedimientos que se les aplicarán, y los posibles riesgos involucrados.

Asimismo, aseguraremos su consentimiento informado antes de que participen en cualquier fase del estudio. Además, conforme a lo estipulado en este artículo, los datos recopilados serán manejados con estricta confidencialidad, y se tomará en cuenta el principio

de beneficencia, asegurando que los resultados de la investigación puedan contribuir al avance del conocimiento en el área de la salud sin poner en riesgo el bienestar de los participantes.

Por otro lado, de acuerdo al artículo 17 de la misma ley, esta investigación está sujeta a una revisión y aprobación por parte de un comité de ética en investigación, el cual evaluará todos los procedimientos y el manejo de los datos para garantizar que se protejan adecuadamente los derechos de los participantes. Además, se asegura que no se expongan a riesgos innecesarios y que los resultados se utilicen de manera responsable y en beneficio de la salud pública.

Retomado el tema antes mencionado en lo que respecta al consentimiento informado, este estudio contempla el código de Núremberg, puesto que ningún participante será obligado a participar y todos aquellos que deseen formar parte están debidamente informados con información clara y completa sobre el propósito del estudio y los procedimientos a los que serán sometidos, los riesgos potenciales y los beneficios.

VII. Resultados

VII.1 Variables clínicas y demográficas.

La muestra estuvo conformada por 40 estudiantes universitarios adultos jóvenes, de los cuales 3 no aprobaron los criterios de inclusión; los 37 estudiantes fueron distribuidos en un grupo control sin genu recurvatum fisiológico (n=19) y un grupo con genu recurvatum fisiológico (GRF) (n=18), identificándose una prevalencia de GRF del 48.6% en la población estudiada. La distribución por sexo mostró predominio femenino en ambos grupos (n=20). Asimismo, variables demográficas y clínicas como edad, peso, talla, índice de masa corporal, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, tensión arterial sistólica y diastólica, así como saturación parcial de oxígeno, presentaron comportamientos similares entre los grupos evaluados.

Respecto a la dominancia de la extremidad inferior, la totalidad de los participantes (n = 37, 100%) reportó dominancia derecha, por lo que esta variable no presentó variabilidad dentro de la muestra y no fue posible realizar análisis comparativos en función de la lateralidad.

Tabla 2.

Variables clínicas y demográficas.

Variables	Participantes (n=37)	Control (n= 19)	GRF (n= 18)
Sexo %,Fr			
Femenino	54.1% (20)	24.3% (9)	29.7% (11)
Masculino	45.9% (17)	27% (10)	18.9% (7)
Edad me(P ₂₅ -P ₇₅),[L - H] $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	20 (19-22), [18 - 28]	20.7 \pm 2.2, [18 - 26]	19.5 (19 -21.5), [18 - 28]
Peso $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	66.6 \pm 5.6, [57 - 76]	66.1 \pm 5.8 [57 - 76]	67.1 \pm 5.6 [58 - 75]
Talla $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	1.71 \pm 0.0617, [1.60 - 1.82]	1.71 \pm 0.0627 [1.60 - 1.82]	1.72 \pm 0.0617 [1.61 - 1.80]
IMC $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	22.7 \pm 0.398, [21.7 - 23.4]	22.7 \pm 0.392 [22 - 23.3]	22.7 \pm 0.415 [21.7 - 23.4]
FC $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	72.2 \pm 5.33, [63 - 83]	72.8 \pm 6.16 [63 - 83]	71.7 \pm 4.4 [65 - 80]
FR $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	15.3 \pm 1.76, [12 - 18]	15.3 \pm 2 [12 - 18]	15.4 \pm 1.6 [13 - 18]
TA_SIS $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	114 \pm 3.62, [107 - 120]	114 \pm 3.7 [107 - 119]	114 \pm 3.6 [108 - 120]
TA_DIAS $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	72.8 \pm 3.05, [67 - 78]	72.9 \pm 3.1 [67 - 78]	72.6 \pm 3.07 [68 - 78]
SpO2 me(P ₂₅ -P ₇₅),[L - H]	98 (97-98), [96 - 99]	98 (97.-98), [96 -99]	97.5 (97-98), [96-99]

Nota. FC= frecuencia cardíaca, FR= frecuencia respiratoria, TA_SIS= tensión arterial sistólica, TA_DIAS= tensión arterial diastólica, SpO2= saturación periférica de oxígeno.

VII.2 Variables biomecánicas

Las mediciones goniométricas corroboraron la adecuada clasificación operativa de los participantes según la presencia o ausencia de genu recurvatum fisiológico. Como era esperable, los sujetos clasificados con GRF presentaron mayores grados de hiperextensión de rodilla en comparación con el grupo control. La goniometría extensora derecha mostró una mediana de 8° [6–10] en el grupo con GRF, mientras que en el grupo sin hiperextensión los valores se mantuvieron cercanos a los rangos fisiológicos convencionales. De manera similar, la extensión izquierda presentó valores superiores en los participantes con hiperextensión estructural.

Durante el proceso de selección, tres participantes inicialmente evaluados no cumplieron con los criterios de inclusión debido a discrepancias en la simetría y clasificación angular requerida para el análisis comparativo, por lo que fueron excluidos previo al procesamiento estadístico definitivo.

En contraste, las variables relacionadas con movilidad flexora mostraron comportamientos comparables entre ambos grupos, sin observarse diferencias clínicamente relevantes en los rangos de flexión de rodilla bilateral.

Tabla 3.

Variables biomecánicas

Variables	Participantes (n=37)	Control (n= 19)	GRF (n= 18)
Gon Fx Izq me(P₂₅-P₇₅),[L - H] $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	125 (119 - 135), [70 - 146]	129 ± 11.1 [110 - 146]	119 ± 16.3 [70-142]
Gon Fx Der $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	124 ± 12.9 [80 - 144]	128 ± 9.72 [111 - 144]	119 ± 14.3 [80-144]
Gon Ex Izq me(P₂₅-P₇₅),[L - H] $\bar{x} \pm DE$,[L - H]	4 (2 - 8) [0-20]	2.26 ± 1.45 [0-4]	8.5 (5.25-10) [5-20]
Gon Ex Der me(P₂₅-P₇₅),[L - H] \bar{x}	4 (2 - 8) [0-20]	2 (1-4) [0-4]	8 (6-10) [5-20]

Nota. Gon Fx Izq= goniometría flexora izquierda, Gon Fx Der= goniometría flexora derecha, , Gon Ex Izq= goniometría extensora izquierda, Gon Ex Der= goniometría Extensora derecha

VII.2 Cuestionario

De los 37 participantes evaluados, 33 (89.2%) reportaron realizar al menos 150 minutos de actividad física semanal, mientras que 4 (10.8%) indicaron no cumplir con dicho criterio.

Respecto al tipo de actividad física realizada, 19 participantes (51.4%) reportaron realizar actividad recreativa, 4 (10.8%) actividad de gimnasio, 5 (13.5%) deportes en equipo con pelota y 5 (13.5%) deportes de contacto.

En relación con antecedentes relacionados con la rodilla, únicamente 3 participantes (8.1%) reportaron presentar dolor o molestia sin diagnóstico; no se registraron antecedentes de golpes, cirugías ni alteraciones congénitas.

Finalmente, en cuanto a sintomatología asociada a la rodilla, ningún participante reportó presencia de dolor, inflamación, rigidez o limitación funcional al momento de la evaluación.

Tabla 4

Cuestionario.

Variables	Control (n=19)	GFR (n= 18)
Pregunta 1 (No)	2.7% (1)	8.1% (3)
Pregunta 1 (SI A)	24.3% (9)	27.0% (10)
Pregunta 1 (SI B)	10.8% (4)	0% (0)
Pregunta 1 (SI C)	8.1% (3)	5.4% (2)
Pregunta 1 (SI D)	5.4% (2)	8.1% (3)
Pregunta 2 (No)	51.4% (19)	40.5% (15)
Pregunta 2 (Si)	0% (0)	8.1% (3)
Pregunta 3 (No)	51.4% (19)	48.6% (18)

Nota. Las preguntas e incisos se muestran en detalle en el Anexo 2.

VII.3 Torque isométrico relativo y relación H/Q

La fuerza muscular fue cuantificada mediante dinamometría isométrica; una vez teniendo el torque máximo voluntario absoluto (Nm), se normaliza al peso corporal y así analizar el torque máximo voluntario relativo (Nm/Kg).

El torque flexor relativo presentó medias de 0.94 ± 0.33 Nm/kg en el grupo con GRF y 0.99 ± 0.39 Nm/kg en el grupo control. El torque extensor relativo mostró medias de 1.29 ± 0.70 , y 2 ± 0.83 respectivamente.

No se identificaron diferencias estadísticamente significativas en las variables de torque entre ambos grupos.

Respecto al cociente flexor/extensor isométrico (H/Q), tanto el grupo con GRF como el grupo control mostraron valores promedio similares (0.6 ± 0.2 en ambos grupos), sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

En conjunto, los resultados sugieren que la presencia de genu recurvatum fisiológico no se asoció con modificaciones significativas en el equilibrio muscular flexor/extensor bajo condiciones isométricas estandarizadas.

Tabla 5.

Torque isométrico relativo y relación H/Q.

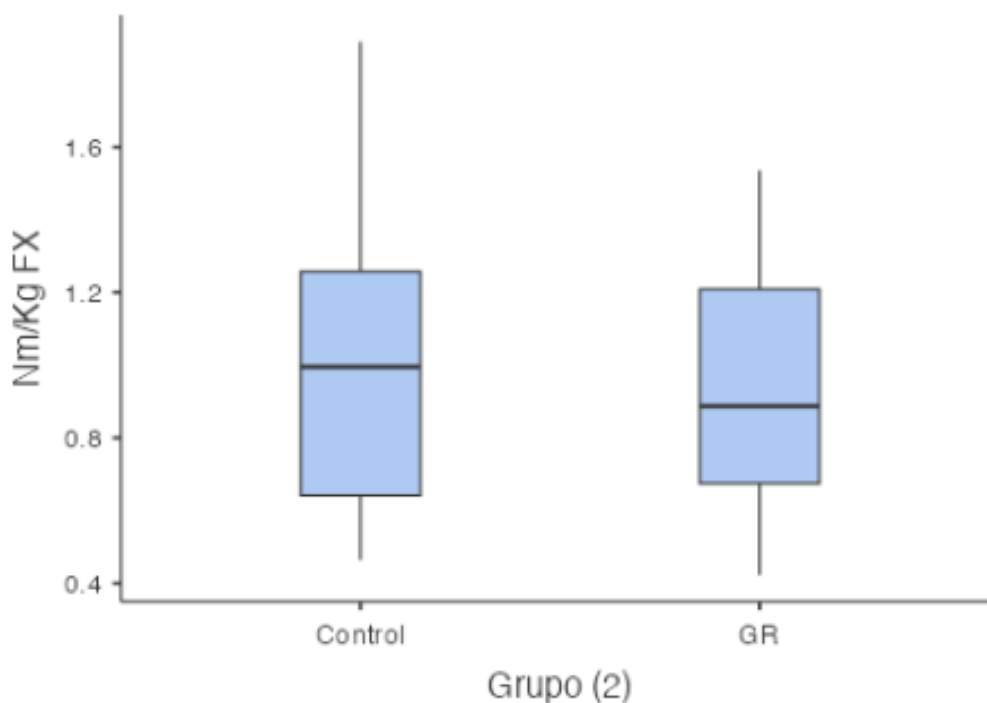
Variables	Participantes (n=37)	Control (n= 19)	GRF (n= 18)
Nm/Kg Fx $\bar{x} \pm DE, [L - H]$	$0.97 \pm 0.36, [0.423 - 1.9]$	$0.988 \pm 0.389 [0.464-1.89]$	$0.947 \pm 0.334 [0.423-1.54]$
Nm/Kg Ex $\bar{x} \pm DE, [L - H]$	$1.74 \pm 0.76, [0.543-3.70]$	$1.96 \pm 0.83 [0.543-3.70]$	$1.29 \pm 0.692 [0.897-3.06]$
H/Q Iso $\bar{x} \pm DE, [L - H]$	$0.6 \pm 0.163, [0.35-1.09]$	$0.586 \pm 0.158 [0.38 - 1.9]$	$0.596 \pm 0.173 [0.35 . 0.99]$

Nota. Nm/Kg Fx= torque flexor relativo, Nm/Kg Ex= torque extensor relativo, H/Q Iso= coeficiente isquiotibiales/ cuádriceps isométrico.

Con la finalidad de visualizar el comportamiento de las variables de fuerza muscular entre los grupos con y sin genu recurvatum fisiológico, se presentan a continuación las gráficas correspondientes al torque flexor relativo, torque extensor relativo y al cociente flexor/extensor isométrico (H/Q). Estas representaciones permiten observar la distribución de los datos, la dispersión intragrupo y las diferencias entre ambos grupos de estudio.

Figura 2

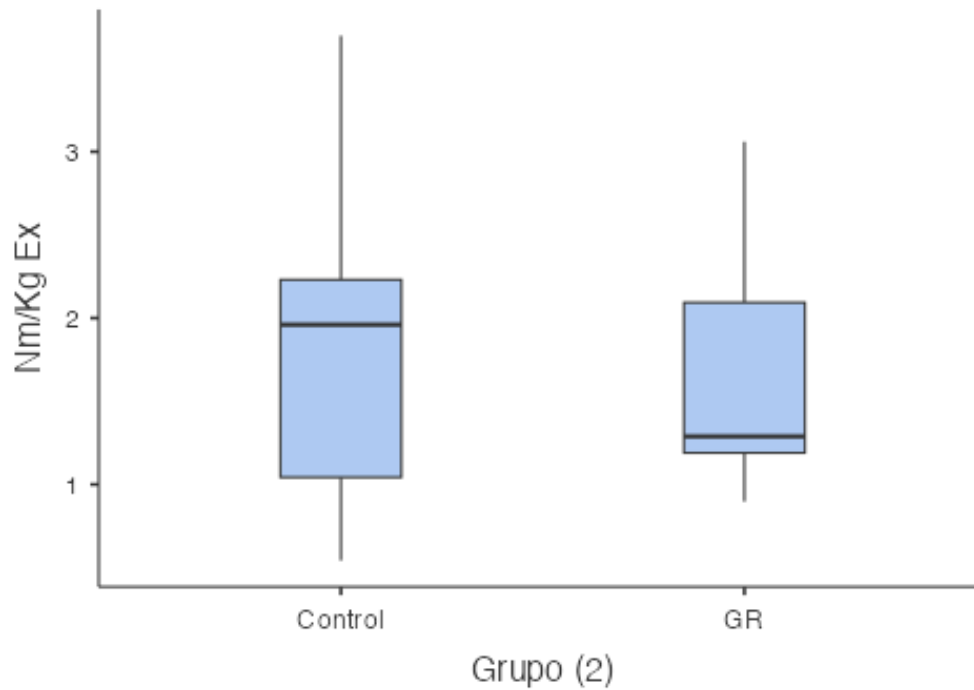
Comparación del torque flexor relativo entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo control.



Nota. Se observa una distribución semejante del torque flexor relativo entre ambos grupos evaluados. Aunque el grupo control presentó valores ligeramente mayores, la diferencia observada no fue estadísticamente significativa ($t = 0.342$, $gl = 35$, $p = 0.734$), lo que sugiere un comportamiento muscular flexor comparable entre los participantes con y sin genu recurvatum fisiológico.

Figura 3

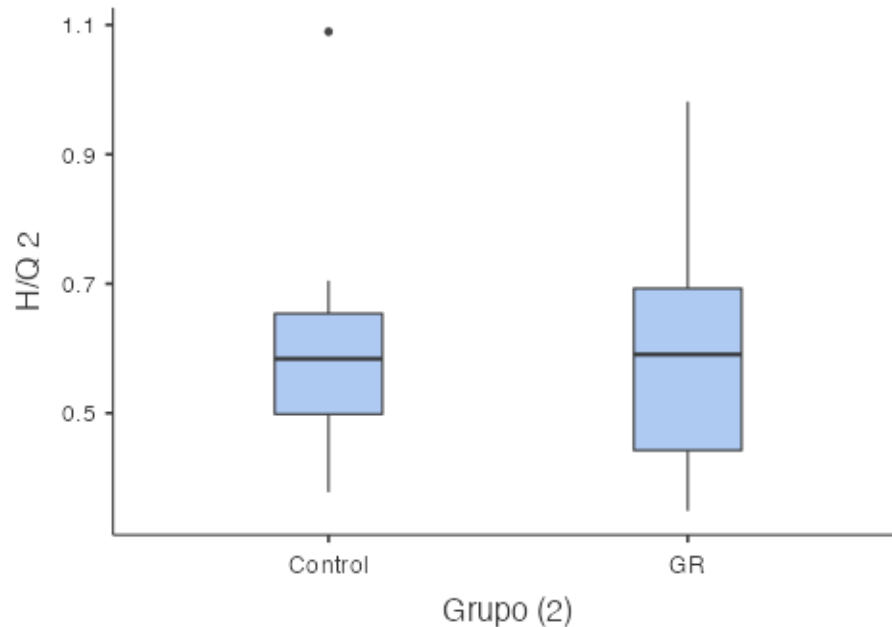
Comparación del torque extensor relativo entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo control.



Nota. Se muestra la comparación del torque extensor relativo entre ambos grupos evaluados. Aunque se observó una ligera variabilidad en la distribución de los datos, la diferencia de la fuerza extensora entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo control no fue estadísticamente significativa ($U = 164$, $p = 0.845$), lo que sugiere un comportamiento muscular extensor similar entre los participantes.

Figura 4

Comparación del cociente flexor/extensor isométrico (H/Q) entre grupos.



Nota. Se presenta la comparación del cociente flexor/extensor isométrico (H/Q) entre el grupo con genu recurvatum fisiológico y el grupo control. Los valores observados fueron similares en ambos grupos, sin diferencias estadísticamente significativas ($U = 168$, $p = 0.939$), manteniéndose dentro de rangos funcionales esperados para población adulta joven sana.

En conjunto, las gráficas muestran una distribución relativamente homogénea entre los grupos evaluados, sin diferencias estadísticamente significativas en las variables de torque ni en el cociente H/Q. Estos hallazgos sugieren que la presencia de genu recurvatum fisiológico no se asocia con alteraciones relevantes en la producción máxima de fuerza isométrica ni en el equilibrio agonista-antagonista de la rodilla en la población estudiada.

VIII. Discusión

A partir del modelo biomecánico planteado, se propuso que la hiperextensión estructural podría modificar variables mecánicas relacionadas con el brazo de momento muscular, la longitud inicial del músculo y el control neuromuscular durante la extensión terminal de rodilla, lo que potencialmente podría traducirse en diferencias cuantificables en la producción máxima de torque.

Sin embargo, los resultados obtenidos no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el torque isométrico máximo flexor y extensor entre los grupos evaluados. El torque flexor relativo presentó medias de 0.94 ± 0.33 Nm/kg en el grupo con genu recurvatum fisiológico y 0.99 ± 0.39 Nm/kg en el grupo control. Por su parte, el torque extensor relativo mostró valores promedio de 1.29 ± 0.70 Nm/kg y 2.00 ± 0.83 Nm/kg, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre grupos ($p > .05$). Respecto al cociente flexor/extensor isométrico (H/Q), tanto el grupo con GRF como el grupo control mostraron valores promedio similares (0.6 ± 0.2 en ambos grupos), sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Estos hallazgos sugieren que la presencia de genu recurvatum fisiológico leve no necesariamente se asocia con alteraciones objetivamente medibles en la capacidad máxima de producción de fuerza bajo condiciones estáticas controladas.

Desde una perspectiva biomecánica, es posible que las modificaciones estructurales observadas en la alineación sagital no sean suficientes para alterar significativamente la eficiencia mecánica del sistema musculoesquelético en el ángulo articular evaluado. Diversos autores han señalado que la producción de torque depende no solo de la capacidad contráctil muscular, sino también de factores como el brazo de palanca, la relación longitud-tensión y la posición articular durante la evaluación (Herzog, 2019; Neumann, 2017). En el presente estudio, la valoración se realizó a 60° de flexión de rodilla, posición considerada mecánicamente favorable para la generación de torque isométrico máximo, debido a que tanto el cuádriceps como los isquiotibiales alcanzan niveles elevados de activación y eficiencia mecánica en rangos intermedios de flexión. Esto podría haber reducido la influencia funcional de la hiperextensión estructural leve sobre la producción de torque observada entre grupos.

Otra posible explicación radica en la capacidad adaptativa del sistema neuromuscular en población joven asintomática. En sujetos sin patología asociada, pueden desarrollarse mecanismos compensatorios que permitan preservar el equilibrio agonista-antagonista pese a variaciones estructurales leves de la alineación articular. Esto resulta consistente con la estabilidad observada en el cociente H/Q del presente estudio, el cual presentó valores promedio cercanos a 0.60 ± 0.20 en ambos grupos, sin diferencias estadísticamente significativas ($p > .05$). Dichos valores se mantuvieron dentro de los rangos funcionales descritos para población adulta joven sana evaluada en condiciones isométricas.

En este sentido, Šarabon et al. (2022), a partir de un metaanálisis que incluyó más de 13,000 participantes provenientes de 411 estudios, reportaron que el cociente H/Q isométrico en población sana generalmente oscila entre 0.50 y 0.65, dependiendo del ángulo articular y del protocolo utilizado. De manera similar, Pellicer-Chenoll et al. (2010) encontraron valores isométricos aproximados de 0.61 en hombres y 0.65 en mujeres futbolistas, mientras que Aagaard et al. (1998) describieron valores convencionales de H/Q entre 0.50 y 0.80 bajo condiciones isocinéticas, observando incrementos progresivos conforme aumentaba la velocidad angular del movimiento. Comparativamente, los valores obtenidos en el presente estudio permanecieron cercanos a los parámetros funcionales descritos en la literatura, lo cual refuerza la ausencia de desequilibrio agonista-antagonista clínicamente relevante en los participantes con genu recurvatum fisiológico leve.

Asimismo, Ducloux et al. (2023), en un estudio realizado en sujetos físicamente entrenados evaluados mediante dinamometría isométrica a 80° de flexión de rodilla, reportaron valores promedio de torque extensor relativo cercanos a 3.06 ± 0.60 Nm/kg y torque flexor relativo de 1.59 ± 0.35 Nm/kg en hombres, mientras que en mujeres los valores fueron aproximadamente de 2.40 ± 0.41 Nm/kg y 1.33 ± 0.26 Nm/kg, respectivamente. A partir de dichos valores, los autores describieron relaciones H/Q cercanas a 0.52 - 0.55, similares a las observadas en el presente estudio. Los autores señalaron que la evaluación isométrica permite obtener mediciones altamente reproducibles del torque máximo al reducir la influencia de variables cinemáticas asociadas a la velocidad angular y al control dinámico del movimiento.

En comparación con los hallazgos de Ducloux et al. (2023), los participantes del presente estudio mostraron valores inferiores tanto en el torque flexor relativo como en el torque

extensor relativo. Mientras que en la población entrenada descrita por dichos autores el torque extensor relativo superó los 2.40 - 3.06 Nm/kg, en la presente investigación los valores oscilaron entre 1.29 ± 0.70 y 2.00 ± 0.83 Nm/kg. De forma semejante, Ducloux et al. reportaron valores de torque flexor relativo de aproximadamente 1.33 ± 0.26 Nm/kg en mujeres y 1.59 ± 0.35 Nm/kg en hombres, superiores a los observados en la presente muestra universitaria, donde las medias fueron de 0.94 ± 0.33 Nm/kg en el grupo con GRF y 0.99 ± 0.39 Nm/kg en el grupo control. Asimismo, debe considerarse que existen diferencias metodológicas importantes entre ambos estudios, particularmente en el ángulo de ejecución de la prueba isométrica, ya que Ducloux et al. realizaron la evaluación a 80° de flexión de rodilla, mientras que en el presente estudio la valoración se efectuó a 60° de flexión. Estas variaciones angulares pueden modificar la relación longitud-tensión muscular y la eficiencia mecánica durante la producción de torque. No obstante, las diferencias observadas probablemente también se relacionan con el nivel de acondicionamiento físico y las características funcionales de la población estudiada, ya que el presente estudio incluyó principalmente estudiantes universitarios no deportistas y físicamente heterogéneos.

No obstante, pese a las diferencias observadas en los valores absolutos de torque, el cociente H/Q permaneció relativamente similar entre ambos estudios, manteniéndose dentro de rangos funcionales considerados adecuados para la estabilidad muscular de rodilla. Esto resulta particularmente relevante, ya que sugiere que el equilibrio agonista-antagonista podría preservarse incluso en sujetos con menor producción absoluta de fuerza, siempre que exista proporcionalidad funcional entre la musculatura flexora y extensora.

Los resultados del presente estudio difieren parcialmente de investigaciones desarrolladas bajo condiciones dinámicas o en poblaciones deportivas de alto rendimiento. Aagaard et al. (1998) reportaron que el cociente H/Q puede modificarse considerablemente conforme aumenta la velocidad angular durante la evaluación isocinética, particularmente por el incremento relativo de la activación de los isquiotibiales durante acciones excéntricas. De manera semejante, Pellicer-Chenoll et al. (2010) observaron variaciones en los valores del cociente H/Q dependiendo de la modalidad de evaluación utilizada y de las demandas neuromusculares específicas del deporte practicado.

En este sentido, debe considerarse que la mayoría de los estudios relacionados con el cociente H/Q han sido desarrollados bajo condiciones dinámicas isocinéticas. La evaluación

isométrica utilizada en el presente estudio elimina la influencia de la velocidad angular y permite analizar la producción máxima de torque en un entorno mecánicamente más controlado. Esto podría explicar por qué las diferencias estructurales asociadas al genu recurvatum fisiológico leve no se tradujeron en alteraciones detectables de la fuerza máxima durante la evaluación. Asimismo, los hallazgos sugieren que posibles alteraciones funcionales asociadas al genu recurvatum podrían manifestarse principalmente durante tareas dinámicas que involucren desaceleración, control excéntrico, absorción de cargas o estabilidad en extensión terminal, más que durante contracciones isométricas máximas realizadas en rangos articulares biomecánicamente favorables.

En relación con las variables clínicas y demográficas, no se identificaron diferencias relevantes entre los grupos evaluados, ni mayor prevalencia de sintomatología musculoesquelética en los participantes con GRF. Esto refuerza la posibilidad de que, en población adulta joven universitaria, la hiperextensión fisiológica de rodilla pueda comportarse como una variante anatómica constitucional sin repercusiones funcionales evidentes sobre la fuerza máxima isométrica.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran el tamaño de muestra, la evaluación en un único ángulo articular y el análisis exclusivo del miembro dominante. Del mismo modo, no se incorporaron variables electromiográficas ni pruebas funcionales dinámicas que permitieran analizar patrones de activación muscular, estabilidad o control motor durante actividades funcionales. Futuras investigaciones podrían integrar análisis cinemáticos y electromiográficos para explorar con mayor profundidad el comportamiento neuromuscular asociado al genu recurvatum fisiológico.

A pesar de estas limitaciones, el presente estudio aporta evidencia relevante al analizar el torque isométrico y la relación flexor/extensor en población universitaria no deportista, grupo escasamente explorado en la literatura relacionada con genu recurvatum fisiológico. Los resultados obtenidos contribuyen a ampliar la comprensión biomecánica de la hiperextensión de rodilla y sugieren que las variaciones estructurales leves de la alineación sagital no necesariamente se traducen en alteraciones objetivamente medibles de la fuerza muscular isométrica máxima.

IX. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman la viabilidad metodológica de la evaluación dinamométrica isométrica como herramienta objetiva para el análisis de la fuerza muscular de rodilla en población universitaria. La utilización del torque articular expresado en Newton-metro (Nm), así como su normalización al peso corporal (Nm/kg), permitió cuantificar de manera reproducible la capacidad máxima de producción de fuerza bajo condiciones mecánicamente controladas, favoreciendo la comparación entre individuos y grupos.

La clasificación dicotómica del genu recurvatum fisiológico ($\geq 5^\circ$) permitió identificar adecuadamente la presencia de hiperextensión estructural en la muestra estudiada. Sin embargo, a pesar de las diferencias observadas en la alineación sagital entre los grupos, no se identificaron alteraciones estadísticamente significativas en el torque flexor, torque extensor ni en el coeficiente flexor/extensor (H/Q). Estos hallazgos sugieren que, en adultos jóvenes universitarios físicamente activos y sin sintomatología musculoesquelética relevante, la presencia de genu recurvatum fisiológico leve no necesariamente se traduce en déficit funcional detectable en términos de fuerza muscular isométrica máxima.

De manera particular, el comportamiento del coeficiente H/Q resulta biomecánicamente relevante, ya que los valores obtenidos se mantuvieron dentro de rangos funcionales descritos para población sana, evidenciando un equilibrio conservado entre musculatura agonista y antagonista. Esto sugiere que, aun en presencia de hiperextensión estructural leve, el sistema neuromuscular puede mantener estrategias de estabilización suficientes para preservar la relación funcional entre cuádriceps e isquiotibiales bajo condiciones estáticas controladas.

Desde una perspectiva biomecánica y clínica, los resultados también permiten reflexionar sobre la importancia del ángulo articular y del tipo de contracción muscular durante la evaluación y el entrenamiento. La modalidad isométrica utilizada en el presente estudio, desarrollada en rangos articulares mecánicamente favorables para la producción de torque, permitió alcanzar altos niveles de activación muscular sin evidenciar desequilibrios significativos en la relación H/Q. En este sentido, los hallazgos aportan sustento a la

utilización de ejercicios isométricos en rangos articulares controlados, ya que dichas condiciones podrían favorecer la producción de fuerza muscular y contribuir al mantenimiento de la estabilidad funcional de la rodilla, particularmente mediante la preservación del equilibrio flexor/extensor.

Asimismo, los resultados permiten considerar que el genu recurvatum fisiológico leve no debe interpretarse necesariamente como una condición patológica o limitante del rendimiento funcional. Dentro de la muestra estudiada no se observaron diferencias relevantes en antecedentes de lesión, sintomatología o capacidad de producción de torque, lo que refuerza la posibilidad de que, en muchos casos, la hiperextensión leve representa una variante anatómica constitucional más que una alteración musculoesquelética asociada obligatoriamente a disfunción.

No obstante, debido al tamaño de muestra y al predominio de hiperextensiones leves dentro de la población analizada, se considera necesario continuar investigando esta condición desde una perspectiva biomecánica más amplia, incorporando diferentes grados de severidad, análisis dinámicos y variables neuromusculares complementarias que permitan profundizar en el comportamiento funcional del genu recurvatum.

En conjunto, el presente estudio aporta evidencia preliminar relevante sobre la relación entre alineación sagital y producción de fuerza muscular en población universitaria joven, contribuyendo a una comprensión menos patologizante y más funcional del genu recurvatum fisiológico, particularmente cuando este se presenta en ausencia de sintomatología clínica significativa.

IX. Propuestas

A partir de los hallazgos obtenidos y del análisis metodológico realizado, se considera pertinente continuar investigando la relación entre genu recurvatum fisiológico y producción de fuerza muscular desde una perspectiva biomecánica y funcional más amplia. Aunque en el presente estudio no se identificaron diferencias significativas en el torque isométrico ni en el coeficiente flexor/extensor (H/Q) entre los grupos evaluados, los resultados abren la posibilidad de explorar cómo distintos grados de hiperextensión podrían influir sobre el comportamiento muscular en otros contextos de evaluación.

En primer lugar, se propone que futuras investigaciones incorporen una clasificación angular más específica del genu recurvatum, considerando distintos niveles de severidad de la hiperextensión. Si bien en este estudio se utilizó un punto de corte operativo de $\geq 5^\circ$, la literatura describe diferentes esquemas de clasificación que podrían incrementar la sensibilidad analítica, particularmente en sujetos con hiperextensiones moderadas o severas. La estratificación por rangos angulares —por ejemplo, $5-10^\circ$, $>10-15^\circ$ y $>15^\circ$ — podría permitir una mejor comprensión de posibles cambios graduales en la producción de torque y en el equilibrio muscular flexor/extensor.

Asimismo, se recomienda ampliar el tamaño de muestra e incluir poblaciones con diferentes niveles de demanda funcional, como deportistas recreativos o atletas de rendimiento. La muestra analizada estuvo conformada principalmente por sujetos jóvenes asintomáticos y físicamente activos, lo cual probablemente contribuyó a la homogeneidad observada en los valores de torque y H/Q. La inclusión de poblaciones con mayores exigencias mecánicas podría aportar información relevante sobre el comportamiento funcional del genu recurvatum fisiológico en contextos dinámicos y deportivos.

De igual manera, se considera importante complementar la evaluación isométrica con pruebas funcionales dinámicas, particularmente mediante dinamometría isocinética, análisis cinemático y tareas de control neuromuscular. Debido a que muchas de las demandas funcionales de la rodilla ocurren durante actividades dinámicas, futuras investigaciones podrían explorar si las diferencias asociadas al genu recurvatum se manifiestan con mayor

claridad durante acciones que involucren desaceleración, estabilidad en extensión terminal o control excéntrico de la musculatura posterior.

Por otra parte, la incorporación de herramientas electromiográficas permitiría profundizar en el análisis de los patrones de activación y coactivación muscular, facilitando la identificación de posibles mecanismos compensatorios asociados a la hiperextensión estructural. Este enfoque podría contribuir a distinguir entre modificaciones puramente geométricas de la alineación sagital y verdaderas adaptaciones neuromusculares funcionales.

Desde una perspectiva clínica y fisioterapéutica, los hallazgos del presente estudio también sugieren la pertinencia de continuar investigando el papel del ejercicio isométrico en rangos articulares controlados como estrategia para el fortalecimiento muscular y la estabilidad funcional de la rodilla. La preservación del coeficiente H/Q observada durante la evaluación isométrica podría indicar que este tipo de contracción favorece un comportamiento agonista-antagonista equilibrado bajo condiciones mecánicamente seguras, aspecto que merece ser explorado en protocolos de intervención y prevención musculoesquelética.

De igual manera, las evaluaciones funcionales mediante dinamometría isométrica podrían adaptarse a poblaciones con condiciones de salud que cursan con deficiencias musculoesqueléticas y disminución de la fuerza muscular. En este contexto, la valoración del torque isométrico y del cociente flexor/extensor (H/Q) podría aplicarse en pacientes con osteoartritis de rodilla, personas sometidas a procedimientos quirúrgicos como la artroplastia total de rodilla, adultos mayores con síndrome de fragilidad o individuos con limitaciones funcionales que dificultan la realización de evaluaciones dinámicas. Los hallazgos del presente estudio sugieren que la dinamometría isométrica constituye una alternativa de evaluación objetiva, estandarizable y potencialmente segura para la cuantificación de la fuerza muscular, siempre que se aplique mediante protocolos estandarizados y bajo condiciones de evaluación controladas. Futuros estudios deberán confirmar su utilidad clínica y reproducibilidad en estas poblaciones específicas.

Finalmente, se propone que las instituciones universitarias fortalezcan estrategias de promoción y prevención orientadas a la salud musculoesquelética de los estudiantes,

incorporando evaluaciones funcionales objetivas mediante herramientas como la dinamometría. Este tipo de iniciativas podría favorecer la detección temprana de alteraciones funcionales y contribuir al desarrollo de programas preventivos enfocados en el rendimiento físico, la estabilidad articular y la salud musculoesquelética en población joven.

X. Bibliografía

- A. Mishra, S., S Ganvir, S., & A Harishchandre, M. (2023). Methods and Tools for Measurement of Genu Recurvatum in Patients with Stroke: A Systematic Review. *International Journal of Health Sciences and Research*, 13(2), 163-169. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20230224>
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B., & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A New Concept For Isokinetic Hamstring: Quadriceps Muscle Strength Ratio. *The American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 231-237. <https://doi.org/10.1177/03635465980260021201>
- Andrades-Ramírez, O., Ulloa-Díaz, D., Rodríguez-Perea, A., Araya-Sierralta, S., Guede-Rojas, F., Muñoz-Bustos, G., & Chiroso-Ríos, L.-J. (2024). Test–Retest Reliability of Concentric and Eccentric Muscle Strength in Knee Flexion–Extension Controlled by Functional Electromechanical Dynamometry in Female Soccer. *Applied Sciences*, 14(19), 8744. <https://doi.org/10.3390/app14198744>
- Ashraf, S., Viveiros, R., França, C., Ornelas, R. T., & Rodrigues, A. (2024). Association between Body Composition, Physical Activity Profile, and Occurrence of Knee and Foot Postural Alterations among Young Healthy Adults. *Future*, 2(1), 16-29. <https://doi.org/10.3390/future2010002>
- Barrué-Belou, S., Démaret, M., Wurtz, A., Ducloux, A., Fourchet, F., & Bothorel, H. (2024). Absolute and Normalized Normative Torque Values of Knee Extensors and

- Flexors in Healthy Trained Subjects: Asymmetry Questions the Classical Use of Uninjured Limb as Reference. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 6(1), 100861. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2023.100861>
- Beato, M., & Dello Iacono, A. (2020). Implementing Flywheel (Isoinertial) Exercise in Strength Training: Current Evidence, Practical Recommendations, and Future Directions. *Frontiers in Physiology*, 11, 569. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00569>
- Boullosa, D., Esteve-Lanao, J., Casado, A., Peyré-Tartaruga, L. A., Gomes Da Rosa, R., & Del Coso, J. (2020). Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. *Sports*, 8(3), 35. <https://doi.org/10.3390/sports8030035>
- Croisier, J.-L. (2004). Factors Associated with Recurrent Hamstring Injuries: *Sports Medicine*, 34(10), 681-695. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00005>
- Del Vecchio, A., Casolo, A., Negro, F., Scorcelletti, M., Bazzucchi, I., Enoka, R., Felici, F., & Farina, D. (2019). The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *The Journal of Physiology*, 597(7), 1873-1887. <https://doi.org/10.1113/JP277250>
- Demey, G., Lustig, S., Servien, E., & Neyret, P. (2014). Genu recurvatum. *EMC - Aparato Locomotor*, 47(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/S1286-935X\(14\)66936-7](https://doi.org/10.1016/S1286-935X(14)66936-7)
- Dierick, F., Schreiber, C., Lavallée, P., & Buisseret, F. (2021). Asymptomatic genu recurvatum reshapes lower limb sagittal joint and elevation angles during gait at

- different speeds. *Knee. The Knee*, 29, 457-468.
<https://doi.org/10.1016/j.knee.2021.02.003> External Link
- Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(1), 127-141.
<https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00020>
- Garabano, G., Perez Alamino, L., Nieto, X. A. M., & Pesciallo, C. (2025). Total knee replacement in severe genu recurvatum. High prosthetic survival rate without deformity recurrence, using rotating hinge prosthesis. *Journal of Orthopaedics*, 61, 109-113. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2024.10.008>
- Harbili, S., Harbili, E., & Aslankeser, Z. (2022). Comparison of bilateral isokinetic and isometric strength differences in elite young male and female taekwondo athletes. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 18(2), 117-122.
<https://doi.org/10.12965/jer.2244122.061>
- Heidari, N., Madden, J. A. G., & Loeffler, M. D. (2011). Report of a Case of Genu Recurvatum Following Tibial Eminence Avulsion Treated by Proximal Tibial Flexion Osteotomy and Review of the Literature. *Surgical Science*, 02(03), 117-120.
<https://doi.org/10.4236/ss.2011.23023>
- Hong, J.-S., Ko, J.-B., Ju, M.-M., Lee, B.-K., Park, D.-S., & Lee, S.-H. (2025). The Reliability and Validity of an Isometric Knee Strength Measurement Device in Older Adult Individuals. *Sensors*, 25(10), 2981. <https://doi.org/10.3390/s25102981>

- Keytsman, C., Verbrugghe, J., & Eijnde, B. O. (2024). The isometric and isokinetic knee extension and flexion muscle strength profile of elite soccer players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 16(1), 180.
<https://doi.org/10.1186/s13102-024-00961-y>
- Krishnan, C., & Williams, G. N. (2014). Effect of Knee Joint Angle on Side-to-Side Strength Ratios. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(10), 2981-2987.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000476>
- Lettner, J., Salzmann, M., Ramadanov, N., Prill, R., & Becker, R. (2026). Non-linear, compartment-specific gap widening with rising distraction forces highlights the need for individualised, force-guided soft-tissue balancing in total knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, ksa.70269.
<https://doi.org/10.1002/ksa.70269>
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116.
<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
- Müller Thies Martínez, A., Capará, M. B., & Morales Clemotte, L. (2018). Dearly detection of postural vices determining osteomioarticular alterations in young people. *Anales de la Facultad de Ciencias Médicas (Asunción)*, 51(2), 79-86.
[https://doi.org/10.18004/anales/2018.051\(02\)79-086](https://doi.org/10.18004/anales/2018.051(02)79-086)
- Pellicer-Chenoll, M., Serra-Añó, P., Cabeza-Ruiz, R., Pardo, A., Aranda, R., & González, L. M. (2017). Comparison of conventional hamstring/quadriceps ratio between

- genders in level-matched soccer players. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 10(1), 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2015.05.002>
- Powers, C. M. (2010). The Influence of Abnormal Hip Mechanics on Knee Injury: A Biomechanical Perspective. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), 42-51. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3337>
- Quarrie, K., Gianotti, S., Murphy, I., Harold, P., Salmon, D., & Harawira, J. (2020). RugbySmart: Challenges and Lessons from the Implementation of a Nationwide Sports Injury Prevention Partnership Programme. *Sports Medicine*, 50(2), 227-230. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01177-8>
- Šarabon, N., Kozinc, Ž., & Perman, M. (2021). Establishing Reference Values for Isometric Knee Extension and Flexion Strength. *Frontiers in Physiology*, 12, 767941. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.767941>
- Saumur, T. M., Nestico, J., Mochizuki, G., Perry, S. D., Mansfield, A., & Mathur, S. (2022). Associations Between Lower Limb Isometric Torque, Isokinetic Torque, and Explosive Force With Phases of Reactive Stepping in Young, Healthy Adults. *Journal of Applied Biomechanics*, 38(3), 190-197. <https://doi.org/10.1123/jab.2021-0028>
- Tak, I. J. R., Weerink, M., & Barendrecht, M. (2020). Judokas with low back pain have lower flexibility of the hip-spine complex: A case-control study. *Physical Therapy in Sport*, 45, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.06.003>

- Vandergaag, I. D., Walker, R. E. A., & Boyd, S. K. (2026). Measurement of knee joint space width with bi-planar radiography. *JBMR Plus*, 10(2), ziaf196. <https://doi.org/10.1093/jbmrpl/ziaf196>
- Vavachan, N., Ravichandran, H., Shetty, K. S., & Janakiraman, B. (2023). Impact of asymptomatic genu recurvatum on patellar mobility in young males. *Revista Pesquisa em Fisioterapia*, 13, e5371. <https://doi.org/10.17267/2238-2704rpf.2023.e5371>
- Wirth, M. D. (2005). Genu recurvatum o ginocchio recurvato. *Salifques el Medicales Elsevier*, 1(1), 5. [https://doi.org/10.1016/S2211-0801\(05\)70247-8](https://doi.org/10.1016/S2211-0801(05)70247-8)

XI. Anexos

XI.1 Carta de consentimiento informado.



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

De conformidad con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SSA3-2012, del expediente clínico, y en apego a los principios éticos de la investigación en salud, se presenta el siguiente consentimiento informado.

Yo, _____, estudiante de la Licenciatura en Fisioterapia de la Universidad Autónoma de Querétaro, he sido informado(a) sobre los objetivos, procedimientos y posibles riesgos de las pruebas y evaluación de fuerza isométrica de los músculos flexores y extensores de rodilla, así como estructuras adyacentes, mediante el uso dinamómetro Prymus RS.

Así, como también, acepto y estoy de acuerdo en compartir mi número de celular para ser agregado a un grupo de WhatsApp llamado “Dinamometría Rodila” y ser informado sobre la investigación y horarios de evaluación que a investigador y participante, mayor convenga. Cel. _____

Se me ha explicado el procedimiento de las pruebas y recolección de información. También sobre en qué consiste la prueba en el dinamómetro. Realizar una contracción muscular máxima de manera controlada durante cinco segundos, bajo la supervisión de personal capacitado. Los posibles efectos adversos incluyen fatiga muscular, leve molestia o incomodidad local, sin riesgo significativo para la salud.

Entiendo que los datos obtenidos se emplearán con fines académicos y de investigación, respetando mi confidencialidad de acuerdo con la Ley General de Salud, la NOM-004-SSA3-2012 y los lineamientos de la Universidad Autónoma de Querétaro. Mi participación es completamente voluntaria, y puedo retirarme en cualquier momento sin consecuencia alguna.

Por lo tanto, manifiesto mi consentimiento para participar en la realización de las pruebas y evaluación mencionada, autorizando el uso académico de mis datos.

Nombre y firma del participante:

Fecha:

____/____/____

Nombre y firma del/ los responsables a cargo de la evaluación:

XI.2 Hoja de recolección de datos (historia clínica).



CUESTIONARIO Y EVALUACIÓN DE RODILLA

A)-Llena los siguientes datos, y subraya los insisos correspondientes:

DATOS GENERALES

No. Participante:	Nombre:	Semestre y grupo:
Fecha de Nacimiento:	Edad:	Fecha de evaluación:
Sexo: Masculino/Femenino/Otro.	Expediente UAQ:	

INTERROGATORIO

1. ¿Realizas mínimo 150 minutos de ejercicio físico a la semana? NO/SI, ¿Cuál?:

- A) Actividad recreativa o de bajo impacto (caminar, bailar, yoga, etc.)
- B) Entrenamiento de gimnasio (pesas, cardio, funcional, calistenia)
- C) Deporte de pelota o equipo (fútbol, basquetbol, voleibol, etc.)
- D) Deporte de combate o contacto (karate, box, taekwondo, artes marciales, ect.)

2. ¿Ha presentado alguna lesión, cirugía o alteración en la rodilla con la que pateaste? NO/SI, ¿Cuál?:

- A) Golpes, esguinces o distensiones leves
- B) Cirugía o fractura previa de rodilla
- C) Alteración congénita o estructural (luxación rotuliana, genu varo/valgo/recurvatum, disimetría, etc.)
- D) Dolor o molestia actual sin diagnóstico médico
- E) Otro (especifique): _____

3. ¿Actualmente presenta alguno de los siguientes síntomas en alguna de sus rodillas? NO/SI, ¿Cuál?:

- A) Dolor o molestia articular
- B) Inflamación, enrojecimiento o aumento de temperatura
- C) Rigidez o sensación de bloqueo articular
- D) Pérdida o limitación de la movilidad
- E) Otro (especifique): _____

4. ¿Si tuvieras que patear una pelota a un objetivo, ¿qué pierna usarías para patear la pelota? Derecha/Izquierda

B) Al término del formulario, debes de dar la hoja al evaluado para hacer las exámenes pertinentes.

LATERALIDAD (Subraya y/o tacha)

- Pateo la pelota con la: Derecha/Izquierda
- Al inspeccionar la escritura, fue la mano: Derecha/Izquierda

SIGNOS Y SÍNTOMAS

Peso:	Frecuencia respiratoria:
Talla:	SpO2:
Tensión arterial:	Frecuencia cardiaca:
Síntoma de inflamación: NO/SI	Síntomas de febricila: SI/NO
Criterios de inclusión: NO/SI	
Goniometría: Fx. Der. () Ex. Der. () Fx. Izq. () Ex. Izq. ()	
Dinamometría MIIN D: Fx: 1.- (). 2.- (). 3.- (). Ex: 1.- (). 2.- (). 3.- ().	
Media.(). Coef. Var ().	

XI.3 Zona de goniometría.



XI.4 Báscula SECA 813.



XI.5 Estadímetro SECA 213.



XI.6 Dinamómetro PRIMUS RS.



XI.7 Posicionamiento del voluntario en el dinamómetro



XI.8 Solicitud uso del laboratorio.



Corregidora, Qro. A 13 de octubre del 2025

A la atención de:

Coordinación del Laboratorio de Ciencias y Tecnologías Aplicadas, de la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Corregidora.

Asunto: Solicitud de uso del laboratorio para investigación

Por medio de la presente, nos permitimos solicitar el uso del **Laboratorio de Ciencias y Tecnologías Aplicadas** para llevar a cabo actividades relacionadas con nuestro protocolo de investigación titulado:

“Relación de la fuerza flexo-extensora de rodilla en estudiantes universitarios con genu recurvatum”.

Solicitamos hacer uso del laboratorio del 14 al 30 de octubre en los siguientes horarios:

- Lunes, miércoles y viernes de 14:00 a 15:00 horas.
- Martes y jueves de 14:00 a 17:00 horas y de 18:00 a 20:00 horas.

El propósito de esta solicitud es utilizar el **dinamómetro** para la recolección de datos necesarios en nuestro estudio, cumpliendo con todas las normas de seguridad y reglamentos del laboratorio.

Agradecemos de antemano la atención prestada a esta solicitud y quedamos a disposición para cualquier información adicional que se requiera.

Sin más por el momento, nos despedimos cordialmente.

Atentamente:

Investigador responsable: Dra. Nadia Edith García Medina

Colaboradora: Paulina Trejo Muñoz

Colaborador: Víctor Emmanuel Torres Pineda