



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Enfermería

Asociación del ángulo Q dinámico con la activación muscular por electromiografía de
superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoines

Tesis

Que como parte de los requisitos para
obtener el Grado de

Maestra en Ciencias del Movimiento Humano

Presenta

LFT. Luz del Carmen Sierra Tapia

Dirigido por:

Dra. Arely Guadalupe Morales Hernández

Co-Director:

Dr. Irving Armando Cruz Albarrán

Querétaro, Qro. a 09 de octubre del 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

Maestría en Ciencias del Movimiento Humano



Asociación del ángulo Q dinámico con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoines

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestra en Ciencias del Movimiento Humano

Presenta

LFT. Luz del Carmen Sierra Tapia

Dirigido por:

Dra. Arely Guadalupe Morales Hernández

Co-Director:

Dr. Irving Armando Cruz Albarrán

Dra. Arely Guadalupe Morales Hernández
Presidente

Dr. Irving Armando Cruz Albarrán
Secretario

Dr. Julio César Méndez Ávila
Vocal

Dr. Carlos Andrés Pérez Ramírez
Suplente

Dr. Emiliano Cervantes González
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario: Agosto 2026
México

i. DEDICATORIAS

A mis papás, Edgar e Irma; a mis hermanas, Fernanda y Dulce, gracias por ser mi pilar fundamental y por ser el lugar al que sé que siempre puedo volver.

A mi confidente, Arturo, por el amor constante, la paciencia infinita y por acompañarme en cada etapa de este proceso, incluso en aquellos momentos más difíciles. Gracias amorcito, tu apoyo ha sido mi mayor fortaleza.

A mi tía Dulce, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A quienes creyeron en mí en los momentos en que el camino se volvió pesado y el ánimo flaqueó.

Gracias a Dios, por darme la fortaleza cuando las fuerzas parecían insuficientes, por la paciencia en los momentos de incertidumbre y por la claridad para continuar cuando el camino no era sencillo.

Y, finalmente, gracias a mí. Por no rendirme cuando el proceso se volvió difícil, por aprender a confiar en mis capacidades y por demostrarme todo lo que soy capaz de lograr.

Esta tesis no es sólo resultado de horas de estudio, sino de años de aprendizaje, perseverancia y crecimiento personal.

ii. AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Arely, mi directora de tesis, quien me guio académica y profesionalmente, gracias por tu confianza, por siempre exigir lo mejor de mí y por enseñarme que el conocimiento también se construye con humildad, disciplina y compromiso.

A mis docentes y asesores, gracias por su tiempo, por compartir su conocimiento, su disposición y su confianza. Su apoyo fue clave para la realización de este estudio.

A mi alma mater, por brindarme las herramientas, el conocimiento y las oportunidades que hicieron posible este logro.

A mis amistades y colegas, gracias por estar, por escuchar, por animarme cuando el cansancio era más fuerte que la motivación, y por celebrar cada pequeño avance.

ÍNDICE

i.	DEDICATORIAS.....	2
ii.	AGRADECIMIENTOS.....	3
iii.	ABREVIATURAS.....	8
iv.	SIGLAS	8
v.	RESUMEN	9
vi.	ABSTRACT.....	10
I.	INTRODUCCIÓN.....	11
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
III.	JUSTIFICACIÓN	14
IV.	MARCO TEÓRICO.....	16
4.1	Ángulo Q	16
4.2	Ángulo Q dinámico	18
4.3	Electromiografía de superficie	20
4.4	Análisis de patada frontal con electromiografía de superficie	22
4.5	Sistema de visión artificial	23
4.6	Academia Jaguares Taekwondo	25
V.	HIPÓTESIS	27
5.1	Hipótesis inicial	27
5.2	Hipótesis nula	27
5.3	Hipótesis alterna	27
VI.	OBJETIVOS	28
6.1	Objetivo general	28
6.2	Objetivos específicos.....	28
VII.	METODOLOGÍA	29
7.1	Tipo, alcance y diseño de estudio.....	29
7.2	Definición de variables.....	29
7.3	Universo o población y muestra.....	32
7.3.1	Población	32

7.3.2 Muestra y muestreo.....	32
7.3.3 Criterios de selección.....	32
VIII. MATERIAL Y MÉTODOS.....	34
8.1 Instrumentos	34
8.1.2 Electromiografía de superficie.....	34
8.1.3 Sistema de visión artificial.....	35
8.2 Procedimiento.....	36
8.2.1 Prueba piloto	36
8.2.2 Recolección de datos	37
IX. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO.....	42
X. ÉTICA DEL ESTUDIO.....	46
XI. PLAN DE ANÁLISIS.....	48
XII. RESULTADOS.....	49
XIII. DISCUSIÓN	52
XIV. CONCLUSIÓN.....	57
XV. RECOMENDACIONES.....	59
XVI. REFERENCIAS.....	60
XVII. ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definición y operacionalización de variables	30
Tabla 2 Cronograma de actividades 2025	42
Tabla 3 Cronograma de actividades 2026	43
Tabla 4 Recursos humanos, materiales y físico	44
Tabla 5 Valores del ángulo Q dinámico en extensión por sexo	49
Tabla 6 Activación muscular de los vasto medial y lateral durante la patada frontal del miembro inferior dominante por sexo	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ángulo Q dinámico	19
Figura 2 Señal electromiográfica	21
Figura 3 Escudo de la Academia de Jaguares Taekwondo	26
Figura 4 Sistema BIOPAC MP36	34
Figura 5 Cámara acA1440-220um	35
Figura 6 Colocación de los marcadores reflectantes para medir el ángulo Q dinámico	37
Figura 7 Colación de los electrodos en vasto medial y lateral del cuádriceps, y tuberosidad tibial	39
Figura 8 Sistema de registro del ángulo Q dinámico y la activación electromiográfica durante la patada frontal.....	40
Figura 9 Comparación de la activación muscular entre el vasto medial y vasto lateral	50
Figura 10 Correlación del ángulo Q dinámico con la activación muscular del vasto lateral del cuádriceps.....	51

iii. ABREVIATURAS

EIAS: Espina Iliaca Anterosuperior

RMS: Root Mean Square

VL: Vasto Lateral

VM: Vasto Medial

iv. SIGLAS

ISAK: International Society for the Advancement of Kinanthropometry

v. RESUMEN

Introducción: El taekwondo enfrenta una alta incidencia de lesiones de rodilla asociadas al estrés mecánico generado por las técnicas de patada. El ángulo Q ha sido relacionado con un mayor riesgo de lesión debido a su influencia sobre el mecanismo extensor de la rodilla; sin embargo, su medición estática presenta limitaciones biomecánicas para representar gestos dinámicos en extensión. En este sentido, existe escasa evidencia sobre la relación entre el ángulo Q medido dinámicamente y la activación muscular del cuádriceps durante la patada frontal en taekwondo. **Objetivo:** Determinar la asociación del ángulo Q con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinos. **Metodología:** Se realizó un estudio observacional, analítico y transversal de asociación en 30 taekondoinos (15 mujeres y 15 hombres; 10.2 ± 2.07 años), seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. El ángulo Q dinámico se evaluó mediante un sistema de visión artificial y la activación muscular del vasto medial y vasto lateral del cuádriceps mediante electromiografía de superficie durante la ejecución de la patada frontal del miembro inferior dominante. Se aplicaron pruebas de normalidad y correlación de Spearman. **Resultados:** El ángulo Q dinámico presentó una media de $13.7^\circ \pm 1.13^\circ$, con distribución normal en ambos sexos. La activación muscular mostró alta variabilidad y distribución no normal. Se observó mayor activación del vasto lateral respecto al vasto medial, sin diferencias estadísticamente significativas ($p=0.371$). Se identificó una correlación positiva y significativa entre el ángulo Q dinámico y la activación muscular del cuádriceps ($p<0.05$), con el vasto lateral. **Conclusiones:** El ángulo Q dinámico en extensión se asocia con la activación del vasto lateral del cuádriceps durante la patada frontal, sugiriendo que la alineación del miembro inferior influye en el patrón neuromuscular en este gesto deportivo.

Palabras clave: Ángulo Q dinámico, electromiografía de superficie, patada frontal, taekwondo, activación muscular del cuádriceps.

vi. ABSTRACT

Introduction: Taekwondo is associated with a high incidence of knee injuries due to the mechanical stress generated by kicking techniques. This high level of risk of injury has been related to the Q angle because of its influence on the knee extensor mechanism; however, it shows biomechanical limitations to perform dynamic gestures in extension under static assessment. There is little research regarding the relation that exists between the Q angle under dynamic assessments and the quadriceps muscle activation when doing a front kick in taekwondo. **Objective:** To determine the Q angle presence on muscle activation by surface electromyography of the quadriceps of taekwondo athletes when doing a front kick. **Methodology:** An observational, analytical, and cross-sectional study was applied to 30 taekwondo athletes (15 women and 15 men; mean age: 10.2 ± 2.07 years) selected under convenience sampling. The dynamic Q angle was measured using an artificial vision system, and the vastus medialis and vastus lateralis muscle activation of the quadriceps using surface electromyography while executing a front kick with the dominant lower limb. Spearman correlation and normality tests were applied. **Results:** The dynamic Q angle had a mean of $13.7^\circ \pm 1.13^\circ$ and a normal distribution in both sexes. Muscle activation showed high variability and a non-normal distribution; the vastus lateralis showed a stronger activation than the vastus medialis; however, there were no statistical significant differences ($p=0.371$). A positive, significant correlation was identified between the dynamic Q angle and quadriceps muscle activation ($p<0.05$), particularly in the vastus lateralis. **Conclusions:** The dynamic Q angle in extension is associated with the activation of the vastus lateralis of the quadriceps while doing a kick front, meaning that the alignment of the lower limb influences the neuromuscular pattern in this sport gesture.

Key words: Dynamic Q angle, surface electromyography, front kick, taekwondo, quadriceps muscle activation.

I. INTRODUCCIÓN

El taekwondo como disciplina, enfrenta una alta incidencia de lesiones en la rodilla, lo que afecta significativamente la movilidad y funcionalidad de los deportistas. Estas lesiones, frecuentemente atribuidas a la mecánica de las técnicas de patada y bloqueo, generan un estrés excesivo en las articulaciones (Jeong et al., 2021). En este contexto, el ángulo Q que mide la alineación de la rótula, ha sido asociado con un mayor riesgo de lesiones al influir en el mecanismo extensor de la rodilla (Sharma, 2023). Sin embargo, la comprensión de su impacto en la activación muscular del cuádriceps, en particular de los vastos medial y lateral durante la ejecución de una patada clave, como la patada frontal, es limitada.

A pesar de su uso en la evaluación clínica, el ángulo Q estático se ha cuestionado, lo que sugiere que la medición dinámica podría ofrecer una visión más precisa de como este parámetro influye en la biomecánica del movimiento (Skouras et al, 2022). La literatura existente indica que aún no se han explorado suficientemente las correlaciones entre el ángulo Q y la activación muscular medida por electromiografía de superficie durante las técnicas de patada de taekwondoin.

Es por ello, que este estudio propone aportar nuevas perspectivas sobre los factores biomecánicos que afectan el rendimiento en el taekwondo, mediante el uso de electromiografía de superficie para evaluar la activación muscular. La medición del ángulo Q dinámico en extensión durante la patada frontal se presenta como una alternativa para capturar las condiciones reales durante la ejecución de estas técnicas, permitiendo identificar desalineaciones que podrían comprometer la seguridad del deportista. Este enfoque no sólo contribuye a la comprensión de la biomecánica del taekwondoin, sino que también proporciona aplicaciones técnicas para optimizar el entrenamiento y la prevención de lesiones.

Por tanto, este estudio busca establecer la asociación entre el ángulo Q y la activación del cuádriceps durante la patada frontal, con el objetivo de mejorar la efectividad de la patada y reducir el riesgo de lesiones mediante una metodología observacional, analítica de asociación y transversal.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En taekwondo la segunda zona más frecuente de lesiones es la rodilla, lo cual afecta significativamente la movilidad y funcionalidad de los deportistas. Estas lesiones, derivadas de la mecánica de las técnicas de patada y bloqueos, generan un estrés excesivo en las articulaciones (Jeong et al., 2021).

En este sentido, el ángulo Q, que mide la alineación de la rótula, se ha relacionado con un mayor riesgo de lesiones al afectar el mecanismo extensor de la rodilla (Sharma, 2023). Además, se ha encontrado que alteraciones en este ángulo, pueden aumentar la fuerza lateral sobre la rótula, lo que puede provocar compresión excesiva y, en casos severos, subluxaciones o dislocaciones de la rótula durante la activación del cuádriceps con la rodilla extendida (Khasawneh et al., 2019).

Sin embargo, el ángulo Q estático es un parámetro biomecánico comúnmente utilizado en medicina e investigación, aunque su validez es cuestionable. A pesar de su uso en decisiones clínicas, la literatura actual no respalda su relevancia, ya que presenta limitaciones significativas. Estas limitaciones incluyen la falta de fiabilidad, la inadecuada representación de la tracción del cuádriceps y la incapacidad para correlacionar con movimientos dinámicos. Por lo tanto, su medición estática carece de significado biomecánico para actividades dinámicas (Skouras et al., 2022). En consecuencia, es conveniente utilizar el ángulo Q dinámico para medir la posición de la rótula.

No obstante, existe una falta de comprensión clara sobre cómo este ángulo influye en la actividad muscular. En este contexto, un estudio realizado con 50 hombres jóvenes mostró correlaciones negativas entre el ángulo Q y el torque pico en extensión y flexión, así como en la potencia muscular (Saç y Taşmektepligil, 2018). A pesar de estas correlaciones, no se observó una relación significativa entre el ángulo Q y la actividad muscular medida por electromiografía.

La falta de información sobre la relación entre el ángulo Q y la activación muscular en taekwondoinos representa una limitación en la comprensión de los factores biomecánicos que influyen en el rendimiento. A pesar de que se reconoce la importancia del ángulo Q en la alineación de la rodilla (Magee, 2021), no ha sido ampliamente analizado su impacto

específico en la activación de los vastos medial y lateral del cuádriceps durante la ejecución de la patada frontal, la cual es una técnica clave del taekwondo. Esto sugiere que se debe realizar más investigación sobre la interacción entre el ángulo Q y la rodilla, ya que una desalineación del ángulo Q puede alterar la biomecánica de la rodilla, generando alteraciones musculares que podrían comprometer tanto la efectividad de la técnica como la estabilidad articular.

Por esta razón, surge la interrogante de saber, ¿cuál es la asociación del ángulo Q dinámico con la activación muscular, medida por electromiografía de superficie, del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinos?

III. JUSTIFICACIÓN

La práctica del taekwondo, como disciplina deportiva que involucra movimientos rápidos como golpear y patear, requiere una biomecánica óptima para prevenir lesiones y maximizar el rendimiento (Liu et al., 2020; Miziara et al., 2019). El análisis técnico es esencial para entrenadores e investigadores deportivos, ya que facilita la comprensión de habilidades motoras específicas y optimiza el rendimiento al identificar factores biomecánicos que influyen en el desempeño de los deportistas (Jia et al., 2023). Uno de estos factores es el ángulo Q, que es fundamental para evaluar las fuerzas que actúan sobre la articulación patelofemoral y se utiliza para diagnosticar trastornos relacionados (Khasawneh et al., 2019).

Por su parte, el uso de la electromiografía de superficie en el ámbito de las ciencias del deporte ha aumentado y se ha diversificado considerablemente en la última década (Merletti y Muceli, 2019). Al aplicar técnicas de electromiografía de superficie para evaluar la activación del vasto medial y lateral del cuádriceps, este estudio pretendió ofrecer nuevas perspectivas sobre cómo optimizar la ejecución de la patada en taekwondo. La identificación de patrones de activación muscular permite desarrollar programas de entrenamiento y prevención de lesiones más efectivos, beneficiando a los deportistas y entrenadores al mejorar la técnica y reducir el riesgo de lesiones.

De manera complementaria, en relación con la medición del ángulo Q dinámico, los sistemas de visión artificial permiten identificar automáticamente puntos anatómicos de referencia, como la espina iliaca anterosuperior, el centro de la rótula y la tuberosidad tibial, o sus aproximaciones biomecánicas mediante modelos de estimación del gesto. A partir de estas coordenadas es posible calcular el comportamiento angular de la extremidad inferior durante tareas funcionales y deportivas, proporcionando información más representativa de las demandas biomecánicas reales que las mediciones estáticas convencionales.

Además, la medición del ángulo Q dinámico mediante un sistema de visión artificial 2D durante la patada se propuso como alternativa a los sistemas de análisis 3D para la evaluación de la patada frontal en taekwondo. Este enfoque es accesible y funcional, ya que los softwares de análisis 3D suelen ser costosos y requieren de habilidades avanzadas en el procesamiento de datos (Numata et al., 2018). Este método permite capturar el

comportamiento del ángulo Q durante el gesto deportivo, identificando desviaciones o alineaciones incorrectas que podrían aumentar el riesgo de lesiones en la rodilla. Es por ello que el uso del sistema de visión artificial se plantea como un aporte original del presente estudio y como alternativa accesible y económica frente a los sistemas 3D del análisis del movimiento.

En este sentido, los hallazgos de esta investigación no solo aportaron al conocimiento existente en la biomecánica de la patada de taekwondoinas, sino que también ofrecieron aplicaciones prácticas que pueden mejorar la seguridad y eficacia de los entrenamientos. Asimismo, los resultados obtenidos contribuyeron a la reevaluación de la utilidad del ángulo Q dinámico en relación con los movimientos de la patada y sus posibles implicaciones clínicas y funcionales. De igual manera, se buscó establecer bases de los fundamentos para la detección de alteraciones en la biomecánica de la rodilla generadas a partir de desbalances musculares, con el fin de mejorar la efectividad de la técnica de la patada y, por consiguiente, el rendimiento de los deportistas.

Considerando la magnitud de la investigación, en un estudio realizado por Jeong et al., de un total de 67 deportistas, se observó que 36 presentaron lesiones en las extremidades inferiores. Dentro de este grupo, 10 deportistas sufrieron lesiones en la rodilla, desglosándose en 4 hombres y 6 mujeres (2021). Es por ello que, este proyecto muestra su pertinencia dado que los deportistas de taekwondo que fueron evaluados, actualmente no cuentan con una evaluación con criterios objetivos, que les permita mejorar la estabilidad y la efectividad de la técnica en la patada frontal.

Es conveniente mencionar que el proyecto fue factible, gracias a que contó con los recursos necesarios y la participación de los investigadores requeridos dado que la investigadora principal y asesora del proyecto participaron como colaboradoras en el proyecto: “Desarrollo de tecnologías emergentes para el diagnóstico y pronóstico de lesiones deportivas en miembros inferiores”, FONFIVE-UAQ-2024 número FIN202416, el cual contó con financiamiento para la realización del mismo. De la misma manera, fue viable debido a que contó con un plazo de dos años, tiempo suficiente para llevarlo a cabo y obtener resultados.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Ángulo Q

Para iniciar este marco teórico, es importante fundamentar el concepto del ángulo Q, ya que es un parámetro biomecánico utilizado para evaluarla alineación de la rodilla. Su análisis es importante en el ámbito clínico y deportivo debido a su relación con alteraciones biomecánicas y lesiones de rodilla.

Para entender la biomecánica de la rodilla, es crucial definir el ángulo Q, el cual es descrito como el ángulo formado por la intersección de dos líneas trazadas desde el centro de la rótula hasta la tuberosidad de la tibia y desde la espina anterosuperior hasta el centro de la rótula. De acuerdo a Brotzman y Manske (2018), estas líneas representan la acción del músculo cuádriceps y del tendón rotuliano sobre la rótula.

Asimismo, Sharma et al. (2023) concluyeron que: “la disminución y el aumento excesivos del ángulo Q afectan el mecanismo extensor de la rodilla y causan varias patologías con el aumento de la edad”. Este hallazgo manifiesta que para prevenir lesiones a medida que avanza la edad, es importante monitorear el ángulo Q.

Del mismo modo, Padasala et al. (2019), mencionan que el ángulo Q es primordial para evaluar la función biomecánica de las extremidades inferiores. En su estudio analizaron a 100 corredores de larga distancia, encontrando que el ángulo Q era significativamente más alto en la extremidad derecha y en aquellos con dolor anterior de rodilla. Este resultado sugiere que con el fin de predecir lesiones efectivamente en las evaluaciones previas a la temporada, se debe incluir la medición del ángulo Q.

En el contexto del taekwondo, previamente se evaluaron los factores de riesgo para lesiones de miembros inferiores en 60 adolescentes taekwondoinos, en quienes se midieron variables como la caída del navicular, el ángulo Q y el equilibrio dinámico. Los resultados mostraron una incidencia de lesiones de 9.7 por cada 1000 horas de exposición (7.2 lesiones por cada 1000 horas de entrenamiento y 2 lesiones por cada 1000 horas de competencia), las zonas más afectadas fueron la rodilla y el tobillo con un 38% y 32% respectivamente. La

probabilidad de sufrir lesiones aumenta un 33% en aquellos con un ángulo Q superior a 14.5 grados. El ángulo Q fue el único factor que mostró una relación estadísticamente significativa con el riesgo de lesiones, lo que sugiere que debería ser considerado en las evaluaciones previas a la competencia y en estrategias preventivas (Zarei et al., 2020).

En el estudio transversal realizado por Unuvar et al. (2023), se midió el ángulo Q, la fuerza muscular y el equilibrio en 56 deportistas y no deportistas de 18 a 20 años. Los resultados mostraron que los deportistas tenían un ángulo Q significativamente menor que los no deportistas. En cuanto a la fuerza muscular y el equilibrio estático, se encontraron diferencias de acuerdo al sexo, en donde los hombres obtuvieron mejores resultados. También se observó que la extremidad dominante tenía un ángulo Q más bajo que la no dominante, aunque no hubo una relación estadísticamente significativa entre el ángulo Q y el equilibrio dinámico, indicando que su influencia es más pronunciada en el equilibrio estático.

Otro estudio analizó la relación entre el dolor anterior de rodilla con el ángulo Q y la fuerza extensora. Se incluyeron a 71 adolescentes (41 mujeres y 30 hombres), encontrando diferencias significativas según el sexo. En las mujeres se observó un mayor ángulo Q y menor fuerza extensora en la rodilla con dolor anterior, mientras que en los hombres el único factor significativo fue la debilidad muscular extensora. Esta evidencia resalta la importancia de considerar como posibles factores de riesgo diferenciados por género al ángulo Q y la fuerza muscular (Milovanović, 2023).

En el 2018, Saç y Taşmektepligil encontraron una relación entre el ángulo Q y la fuerza isocinética de la rodilla. El momento de fuerza y potencia de la articulación de la rodilla disminuye con un ángulo Q aumentado. Tomando en cuenta estos resultados, las lesiones deportivas asociadas con un ángulo Q elevado pueden prevenirse mediante la inclusión de ejercicios de fortalecimiento del cuádriceps en las rutinas de entrenamiento, al igual que con los trastornos en la articulación de la rodilla.

Además, el ángulo Q es un predictor esencial de lesiones en extremidades inferiores, ya que la inestabilidad postural puede incrementar el riesgo de lesiones en individuos con alteraciones en la alineación musculoesquelética. En el estudio realizado por Denizoglu et al. (2019), se analizó la relación entre el equilibrio y el ángulo Q en 90 adultos jóvenes

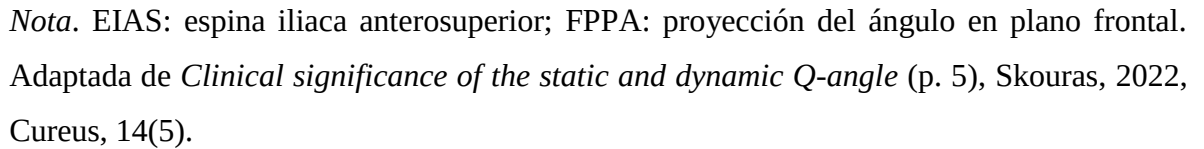
(clasificados en grupos según su ángulo Q) a través de pruebas de equilibrio estático y dinámico. Los resultados mostraron que no hubo correlación significativa entre el equilibrio estático y el ángulo Q, pero sí se observó una relación importante entre el ángulo Q y el equilibrio dinámico, donde el grupo con un bajo ángulo Q tuvo un rendimiento inferior.

4.2 Ángulo Q dinámico

Una vez definido el ángulo Q estático, es necesario abordar el concepto del ángulo Q dinámico, debido a que permite analizar la alineación de la rodilla durante el movimiento. Su evaluación aporta información funcional sobre la biomecánica de la rodilla durante actividades deportivas y gestos dinámicos.

El ángulo Q dinámico se define como el ángulo Q medido durante la flexión de la rodilla, con o sin actividad dinámica (Skouras et al., 2022). Al igual que el ángulo Q estático, su medición puede realizarse utilizando los mismos puntos óseos o mediante el análisis del valgo dinámico de la rodilla usando el ángulo de proyección en el plano frontal (Figura 1). Sin embargo, en este estudio se planteó la medición del ángulo Q de manera dinámica durante la extensión de la rodilla mediante análisis bidimensional en vista superior. Si bien esta aproximación se limitó a la información obtenida en el plano de análisis considerado, representa un primer acercamiento al estudio de variaciones del ángulo Q dinámico durante el movimiento y a su posible aplicación en la evaluación biomecánica de gestos deportivos específicos.

Ángulo Q dinámico



19

Estas alteraciones sugieren que el ángulo Q dinámico puede influir en la biomecánica de la marcha y en la función muscular.

Adicionalmente, Kashefi et al. (2021), investigaron el efecto de los ejercicios Up-cholugi y Yup-chagi en los índices cinemáticos de la rodilla y la incidencia de Genu Varum. El estudio reveló una relación significativa entre estas técnicas y la reducción de la incidencia de Genu Varum, resaltando lo importante que es en la evaluación pre y post ejercicio considerar variables biomecánicas, como el ángulo Q. Lo antes mencionado hace énfasis en la necesidad de prestar atención a las mediciones del ángulo Q, ya que se observaron diferencias significativas entre las mediciones previas y posteriores a la intervención.

En este contexto, derivado de la evaluación del control motor y la activación muscular, la actividad eléctrica del músculo es un reflejo directo de las señales motoras que se transmiten a través de las neuronas motoras (Bradford et al., 2023).

Aunado a esto, la literatura existente ha abordado diversos aspectos del control neuromuscular, la cinemática del miembro inferior y la activación del cuádriceps durante gestos deportivos; sin embargo, la mayoría de los estudios se centran en tareas estáticas o utilizan sistemas 3D de alto costo, y ninguno analiza específicamente la relación entre el ángulo Q dinámico y la activación muscular en taekwondoinos adolescentes.

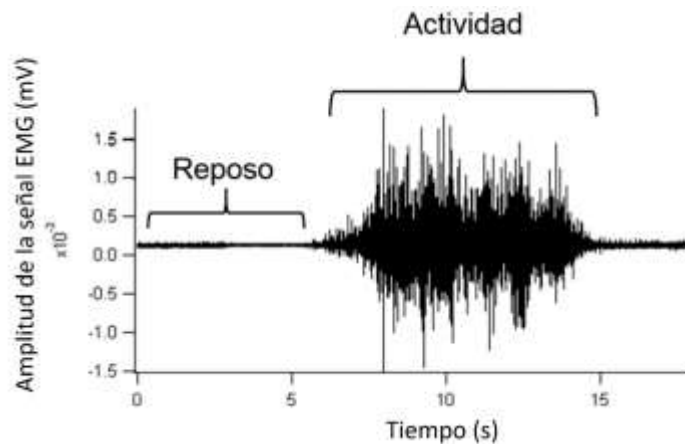
4.3 Electromiografía de superficie

Para comprender la evaluación de la actividad muscular en el movimiento humano, es fundamental describir la electromiografía de superficie, una herramienta utilizada para registrar y analizar la activación muscular de forma no invasiva.

La electromiografía de superficie es una técnica que proporciona un mapa bidimensional eléctrico sobre la superficie de la piel. Esta señal se muestra tanto en el espacio como en el tiempo mediante electrodos y un muestreado eléctrico, que generan una secuencia de marcos de tiempo. La imagen que se muestra es en tiempo real y proporciona información sobre la activación muscular (Figura 2), correspondiente a los potenciales de acción existentes entre los electrodos (Merletti y Muceli, 2019; Guzmán y Méndez, 2018).

Figura 2

Señal electromiográfica



Nota. Se evidencian variaciones en la amplitud del registro electromiográfico al comparar el estado de reposo del músculo con su activación durante la contracción. Adaptada de *Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación* (p. 756), Guzmán, 2018, Salud Uninorte, 34(3).

Asimismo, la electromiografía de superficie se presenta como una herramienta accesible y eficaz para monitorizar la actividad muscular, incluso durante ejercicios dinámicos (Sung et al., 2023). Sin embargo, para asegurar la obtención de señales electromiográficas fiables, es crucial colocar los electrodos con precisión (Sun et al., 2022) y minimizar la impedancia de la piel en el electrodo para lograr registros de alta calidad (Saeim et al., 2018).

En el 2021, Silverman et al., evaluaron la validez y fiabilidad de las características de la electromiografía de superficie en el dominio del tiempo para medir la activación muscular de tibial anterior y sóleo en personas sanas y pacientes con lesión medular. La electromiografía de superficie mostró una fuerte correlación con el torque articular ($\rho > 0,92$ y $\rho > 0,94$, respectivamente) y alta confiabilidad (ICC = 0,90) en pacientes sanos.

En estudios previos se ha utilizado la electromiografía de superficie para analizar la fiabilidad de diferentes índices de respuesta muscular en deportistas. En este sentido, un

estudio reciente demostró que dentro de los métodos confiables para evaluar el control motor en futbolistas profesionales durante el Nordic Hamstring Test se encuentran el índice de respuesta voluntaria y los ángulos de punto de quiebre, mostrando altos coeficientes de correlación (Firouzi et al., 2024).

Por su parte, otro estudio analizó cómo la actividad del músculo cuádriceps se adapta al ejercicio fatigante en hombres y mujeres. Participaron 15 mujeres y 15 hombres sanos, todos con la pierna derecha dominante. Antes y después de un ejercicio agotador, realizaron contracciones isométricas submáximas hasta el fallo. Se registró la electromiografía en diferentes regiones del cuádriceps. Se pudo observar una reducción significativa en fuerza y tiempo hasta el fallo en ambos sexos ($p < 0.05$), indicando que el recto femoral es más susceptible a la fatiga en mujeres, lo que podría justificar su mayor probabilidad de sufrir lesiones en la rodilla (Hedayatpour, 2021).

En otro estudio, realizado por Sun et al. (2024), se compararon las características musculares de golpear y fallar en patadas circulares en taekwondo. No se detectaron variaciones importantes en la fase inicial y de patada, pero sí en la fase de retracción en los músculos recto femoral, peroneo largo, bíceps femoral, semitendinoso y tibial anterior. En ambas técnicas, tanto los flexores de cadera como los extensores de rodilla resultaron fundamentales para producir fuerza y efectividad.

4.4 Análisis de patada frontal con electromiografía de superficie

Dado que la patada frontal representa una de las técnicas fundamentales del taekwondo, resulta pertinente analizar su ejecución mediante electromiografía de superficie, con el propósito de identificar los patrones de activación muscular involucrados durante este gesto deportivo.

La patada frontal es una de las técnicas básicas en el taekwondo y otras artes marciales, caracterizada por su ejecución lineal y su aplicación tanto en ataque como en defensa (Indio, 2012). Su análisis biomecánico y neuromuscular de esta patada es clave para comprender los factores que influyen en su eficacia y efectividad. En este sentido, el uso de la electromiografía de superficie permite evaluar la activación muscular durante su ejecución,

proporcionando información sobre la activación de la musculatura implicada y su relación con el rendimiento de los deportistas.

A partir de esta perspectiva, estudios han comparado la eficacia de la patada frontal con otras técnicas. Un ejemplo de ello es una revisión sistemática en la que se compararon la patada frontal y la patada circular en términos de fuerza de impacto, velocidad máxima, velocidad angular y tiempo de ejecución. Se analizaron 18 estudios sobre la patada frontal y 25 sobre la patada circular. Los resultados describieron que, para potencia, la patada frontal es ideal, mientras que, para rapidez de ejecución, la patada circular es la que sobresale (Vagner et al., 2023).

En otro estudio desarrollado por Barnamehei (2023), se comparó en 20 taekwondoines la activación muscular en los miembros inferiores durante la ejecución de la patada axial y la patada frontal. Se midió la actividad eléctrica de los músculos vasto lateral, vasto medial, semitendinoso, bíceps femoral, tibial anterior y gastrocnemio medial. Los resultados mostraron diferencias significativas, señalando que estos músculos son fundamentales en la flexo-extensión de la rodilla durante la patada frontal.

4.5 Sistema de visión artificial

Además del análisis muscular, es importante considerar las herramientas tecnológicas empleadas para el estudio del movimiento humano, como los sistemas de visión artificial, los cuales han adquirido relevancia en el ámbito deportivo por su capacidad para analizar movimientos mediante imágenes y videos.

La visión artificial es una rama interdisciplinaria que integra conocimientos de ingeniería, informática, biomecánica e inteligencia artificial para permitir que los sistemas computacionales obtengan, procesen e interpreten información proveniente de imágenes o videos. Su objetivo principal es simular la capacidad humana de percepción visual mediante algoritmos capaces de detectar, identificar y analizar objetos, patrones y movimientos dentro de un entorno determinado (Khanday y Sofi, 2021; Manakitsa et al., 2024).

La visión artificial es un sistema tecnológico interdisciplinario que permite captar, procesar y analizar imágenes o videos con el objetivo de extraer información, utilizando

herramientas como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y el procesamiento de señales. Este campo integra componentes de diversas disciplinas científicas y se orienta a replicar, mediante algoritmos, funciones similares a las del sistema visual humano (Duque et al., 2024).

Asimismo, los avances recientes en visión por computadora e inteligencia artificial han favorecido el desarrollo de sistemas de captura de movimiento, capaces de identificar automáticamente puntos anatómicos y reconstruir variables cinemáticas articulares a partir de secuencias de video. Estas tecnologías han demostrado una validez de buena a excelente ($ICC = 0.77-0.97$) y una confiabilidad test-retest de moderada a excelente ($ICC = 0.79-0.96$), con errores de medición relativamente bajos para la evaluación cinemática de las extremidades inferiores durante tareas funcionales dinámicas como sentadillas y saltos verticales (Bae et al., 2024; Barzyk et al., 2024).

Actualmente, los sistemas de visión artificial han permitido el desarrollo de herramientas accesibles para el análisis biomecánico del movimiento humano mediante video. Estos sistemas facilitan la detección automática de coordenadas articulares y el cálculo de ángulos corporales sin necesidad de marcadores físicos o equipos especializados, favoreciendo su aplicación en contextos deportivos, clínicos y de investigación biomecánica (Pagnon y Kim, 2024).

En este sentido, la implementación de sistemas de visión artificial en el ámbito deportivo ha incrementado su relevancia debido a su accesibilidad y capacidad para analizar movimientos funcionales sin requerir equipos invasivos o de elevado costo (Cossich et al., 2023). En el ámbito de la biomecánica deportiva, la visión artificial ha demostrado ser una herramienta útil para la evaluación de movimientos complejos debido a su capacidad para registrar el gesto deportivo en condiciones reales de práctica.

En este contexto, utilización permite analizar patrones de movimiento sin restringir la ejecución natural del deportista, favoreciendo la obtención de información funcional relacionada con el rendimiento deportivo (Avogaro et al., 2023). En este sentido, Lima et al. (2024) reportaron una adecuada validez y confiabilidad de estos sistemas para la medición de variables cinemáticas de las extremidades inferiores durante actividades dinámicas como la marcha, la carrera, los saltos y los cambios de dirección.

De igual manera, el uso de sistemas de análisis mediante video ha adquirido relevancia en el estudio biomecánico del movimiento deportivo, debido a que permite evaluar la alineación y el comportamiento dinámico de la rodilla durante tareas funcionales como saltos, aterrizajes y sentadillas (Erdman et al., 2024).

Además, la evidencia reciente reporta una adecuada concordancia entre los sistemas sin marcadores y los sistemas ópticos convencionales de laboratorio para la evaluación cinemática de las extremidades inferiores (Huang et al., 2024). Por consiguiente, estas herramientas ofrecen una alternativa aplicable en campo, facilitando su utilización en contextos deportivos reales, convirtiéndose en una herramienta útil para el análisis biomecánico en disciplinas como el taekwondo.

4.6 Academia Jaguares Taekwondo

Finalmente, es necesario describir el contexto en el que se desarrolló el presente estudio, por lo que se presenta una reseña de la Academia Jaguares Taekwondo, academia que proporcionó el espacio y la población de estudio para la realización de este proyecto.

Dicha institución fue fundada en el año 1997 por la profesora Marybell Cardona Ferrer, surge con el objetivo de establecer nuevos estándares en la enseñanza del taekwondo, manteniendo intacta su esencia marcial y artística. Desde entonces, se ha dedicado a la formación y entrenamiento de deportistas en esta disciplina.

Además, ha implementado programas que se actualizan continuamente según las modificaciones técnicas y competitivas de la Federación Mundial de Taekwondo, combinando tradición e innovación en el aprendizaje del taekwondo.

Actualmente, la academia cuenta con 10 sedes, más de 600 estudiantes y una destacada trayectoria en competencias municipales, estatales, nacionales e internacionales, consolidándose como una de las academias más relevantes en el estado de Querétaro (Cardona, 2024). Asimismo, su escudo representativo forma parte de la identidad institucional de la academia (Figura 3).

Figura 3

Escudo de la Academia Jaguares Taekwondo



Nota: Tomado de *Jaguares TKD Querétaro* [Ilustración], por Academia Jaguares Taekwondo, 2023, Facebook ([facebook.com](https://www.facebook.com)).

V. HIPÓTESIS

5.1 Hipótesis inicial

- Existe asociación entre el ángulo Q dinámico con la activación muscular del vasto lateral del cuádriceps por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinas.

5.2 Hipótesis nula

- No existe asociación del ángulo Q dinámico con la activación muscular del vasto lateral del cuádriceps por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinas.

5.3 Hipótesis alterna

- Existe asociación entre el ángulo Q dinámico con la activación muscular del vasto medial del cuádriceps por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinas.

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Determinar la asociación del ángulo Q dinámico con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinos.

6.2 Objetivos específicos

- Medir el ángulo Q dinámico de los taekwondoinos mediante un sistema de visión artificial en el miembro inferior dominante.
- Evaluar la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en el miembro inferior dominante durante la patada frontal de los taekwondoinos.
- Comparar la activación muscular entre el vasto medial y vasto lateral del cuádriceps durante la patada frontal de los taekwondoinos.

VII. METODOLOGÍA

7.1 Tipo, alcance y diseño de estudio

Se realizó un estudio observacional debido a que no tuvo una intervención sobre las variables, de acuerdo con lo establecido por Manterola et al. (2019), únicamente se buscó describirlas. Fue de tipo analítico y transversal siendo de asociación. Ya que, se realizó una sola medición y al final se buscó analizar y describir una asociación de las variables del ángulo Q y la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoines.

7.2 Definición de variables

En la presente investigación se utilizaron variables nominales (sexo y miembro inferior dominante), discretas (edad) y continuas (ángulo Q dinámico y actividad eléctrica muscular), siendo el ángulo Q dinámico y la actividad eléctrica muscular, las variables que se buscan relacionar (Tabla 1).

Tabla 1*Definición y operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición	Fuente de obtención
Sexo	Conjunto de atributos biológicos, asociados a la expresión genética y anatomía reproductiva (Heidari et al., 2016).	Se identificó mediante cuestionario	Variable sociodemográfica	1=Hombre 2=Mujer	Cualitativa nominal dicotómica	Se obtuvo del cuestionario sociodemográfico
Edad	Tiempo que ha vivido una persona (Real Academia Española, 2022).	Se identificó mediante cuestionario	Variable sociodemográfica	0-100 Años	Cuantitativa discreta	Se obtuvo del registro del deportista
Miembro inferior dominante	La preferencia por el uso de un miembro inferior en ciertas actividades funcionales del cuerpo está influenciada por la dominancia de un	Se identificó mediante cuestionario	Variable de asociación	1=Derecha 2=Izquierda	Cualitativa nominal	Se obtuvo del registro del deportista

hemisferio cerebral

(Duarte, 2020).

Ángulo Q dinámico	Es la medición del ángulo Q durante la ejecución de un movimiento (Zhou, 2013).	Se obtuvo mediante el uso de marcadores reflectantes y video	Variable asociación	de 0°-20° Grados	Cuantitativa continua de razón	Se obtuvo del programa de video
Actividad eléctrica muscular	Se basa en potenciales de acción eléctricos producidos durante las contracciones musculares (Cavalcanti y Vieira, 2011).	Se obtuvo de la activación muscular durante la ejecución de la patada frontal	Variable asociación	de Milivoltios (mV)	Cuantitativa continua de razón	Se obtuvo del electromiógrafo

Nota: Es esta tabla se describen las variables utilizadas en esta tesis.

7.3 Universo o población y muestra

El universo estuvo constituido por taekwondoinos pertenecientes a las diferentes sedes de la Academia Jaguares ubicadas en el estado de Querétaro.

7.3.1 Población

La población estuvo conformada por 30 participantes entre 6 y 15 años del equipo de taekwondo de Jaguares y de la selección estatal queretana de diferentes equipos de taekwondo que practicaban poomsae y combate.

7.3.2 Muestra y muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico ($n=30$) por conveniencia. De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), este tipo de muestreo no se basa en fórmulas de probabilidad ni en procedimientos aleatorios, ya que depende de la pertinencia de los participantes para el fenómeno de estudio y no a la representatividad estadística de la población.

7.3.3 Criterios de selección

Los criterios de selección son los citados a continuación.

7.3.3.1 Criterios de inclusión

- Ser miembro activo del equipo Jaguares y/o de la Selección Estatal Queretana de Taekwondo.

- Aquellos deportistas que aceptaron participar en el estudio previo consentimiento de los padres o tutor legal y asentimiento informado del menor.
- Hombres y mujeres entre los 6 y 15 años de edad.

7.3.3.2 Criterios de exclusión

- Lesiones musculotendinosas agudas en miembros inferiores que impidieron la participación en actividades deportivas.
- Participación en otro estudio clínico concurrente que pudo interferir con los resultados del estudio en cuestión.
- Lesiones cutáneas agudas que impidieron el contacto con el área que se evaluó.

7.3.3.3 Criterios de eliminación

- Decisión del deportista de retirarse voluntariamente del estudio.
- No completar correctamente cualquiera de las evaluaciones durante el estudio o datos incompletos en las evaluaciones de los participantes.
- Lesión que ocurriera durante el período del estudio y que afectara la participación en actividades deportivas.

VIII. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1 Instrumentos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante los instrumentos descritos a continuación, seleccionados conforme a los objetivos y variables del estudio.

8.1.2 Electromiografía de superficie

Para la adquisición de señales se utilizó el sistema BIOPAC MP36. Cuenta con cuatro canales analógicos, una frecuencia de muestreo de hasta 100 kHz por canal y una resolución de muestreo de 24 bits, conectividad USB y software AcqKnowledge versión 6 (Figura 4).

Figura 4

Sistema BIOPAC MP36



(A)



(B)

Nota: Imágenes de la vista anterior (A) y posterior (B) del equipo de electromiografía de superficie utilizado para la evaluación de la activación muscular del cuádriceps.

8.1.3 Sistema de visión artificial

Se utilizó la Herramienta de Anotación de Visión Artificial CVAT (por sus siglas en inglés) para el entrenamiento del programa encargado de la identificación del ángulo Q dinámico. Este es un software gratuito y de código abierto diseñado para la anotación de imágenes digitales permitiendo realizar tareas de aprendizaje automático como la detección, clasificación y segmentación de imágenes, así como la anotación de datos en 2D y 3D (Boesch, 2024).

Para la captura de los videos que posteriormente fueron utilizados para la toma de imágenes digitales, se empleó una cámara acA1440-220um, también con sensor monocromático, resolución de 1.6 MP (1400 x 1080, tipo de obturador global, 227 cuadros por segundo, lente de 3.5 mm y conexión USB3 (Figura 5).

Figura 5

Cámara acA1440-220um



Nota: Cámara empleada para el registro de los movimientos durante la ejecución de la patada frontal.

8.2 Procedimiento

La presente investigación fue aprobada por los Comités de Investigación (Registro No. 003/MCMG-FEN-INV-DIP-09) y de Bioética (Dictamen No. COMBIOENF-002-2025-MCMH), de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro (Anexo 1 y Anexo 2). Adicionalmente, la investigadora principal fue capacitada por medio de una certificación para el uso de la electromiografía de superficie.

Una vez aprobada la investigación, se realizó una convocatoria para los participantes a través de un formulario digital dirigido a los padres o tutores, en el cual se explicó el objetivo del estudio, los beneficios esperados y los procedimientos a realizar, así como las indicaciones para asistir a la evaluación.

Aquellos padres o tutores que manifestaron interés en la participación de su hijo en la investigación recibieron el consentimiento informado correspondiente (Anexo 3).

Adicionalmente, al tratarse de participantes menores de edad, se solicitó su asentimiento informado (Anexo 4), reiterándoseles en todo momento su derecho a retirarse de la investigación en cualquier momento, sin que ello implicara consecuencia alguna.

8.2.1 Prueba piloto

Previo a la aplicación definitiva del estudio, se realizó un pilotaje con una muestra ($n=3$) de que cumplió con los criterios de inclusión similares a los establecidos para la muestra final. Su participación fue voluntaria y se contó con el asentimiento informado de los menores, así como con el consentimiento informado firmado por sus padres o tutores.

El objetivo fue identificar posibles problemas en el diseño del instrumento, comprensión de las preguntas, tiempo de aplicación y logística general.

Durante el pilotaje se evaluó la claridad y adecuación de la electromiografía de superficie, el tiempo promedio requerido para el montaje del sistema de visión artificial y para la aplicación del instrumento en cada participante. Así como la factibilidad del proceso de reclutamiento y consentimiento informado, y el funcionamiento de los sistemas de registro y resguardo de datos de la electromiografía de superficie y del sistema de visión artificial.

Los resultados del pilotaje permitieron hacer ajustes al protocolo antes de iniciar la recolección definitiva de datos. Se procedió a realizar las modificaciones pertinentes para mejorar la logística del mismo.

8.2.2 Recolección de datos

La realización de las pruebas definitivas se realizó en las instalaciones de la Academia Jaguares. Se llevaron a cabo entrevistas personalizadas con los participantes, permitiendo la recopilación de datos sociodemográficos. Los participantes acudieron con la vestimenta solicitada, consistente en short corto y vello corporal del muslo afeitado. Las mediciones de peso y talla fueron realizadas por una Licenciada en Nutrición, certificada en ISAK (International Society for the Advancement of Kinanthropometry) nivel 1.

Para la medición del ángulo Q dinámico se colocaron marcadores reflectantes en la espina iliaca anterosuperior, en el centro de la rótula y en la tuberosidad de la tibia en el miembro inferior dominante (Figura 6).

Figura 6

Colocación de los marcadores reflectantes para medir el ángulo Q dinámico



Nota: EIAS=espina iliaca anterosuperior

El proceso de instalación y configuración del sistema de captura estuvo a cargo del Mtro. Rogelio Cedeño Moreno, especialista en el desarrollo de programas de visión artificial y procesamiento digital de imágenes. Previo al inicio de la recolección de datos, realizó la instalación, configuración y verificación del sistema. Se colocó una cámara de captura ubicada en vista superior en el plano transversal, con el propósito de garantizar el registro adecuado del gesto técnico.

Posteriormente, el sistema de visión artificial fue calibrado mediante un procedimiento de ajuste de parámetros, con el fin de corregir distorsiones ópticas y asegurar la precisión en la obtención de coordenadas y trayectorias del movimiento.

Asimismo, se colocó una marca en el piso para delimitar la posición de los participantes y evitar desplazamientos durante la realización de la patada. Esta cámara registró los movimientos, los cuales fueron procesados mediante el sistema de visión artificial entrenado para detectar los referentes anatómicos necesarios para la estimación del ángulo Q dinámico.

Alternadamente, se realizó la aplicación de la electromiografía de superficie mediante el sistema BIOPAC MP36, utilizando un preset con un filtro de pasa banda de 5-500 Hz, una frecuencia de muestreo de 2000 KHz y una duración de registro de 8 segundos por prueba. Previo al registro electromiográfico, el equipo fue configurado y verificado conforme a las especificaciones del fabricante.

Asimismo, se realizó la preparación de la piel de los participantes mediante limpieza con alcohol para disminuir la impedancia cutánea, así como la correcta colocación de los electrodos, con el fin de garantizar la calidad, confiabilidad y estabilidad de la señal electromiográfica.

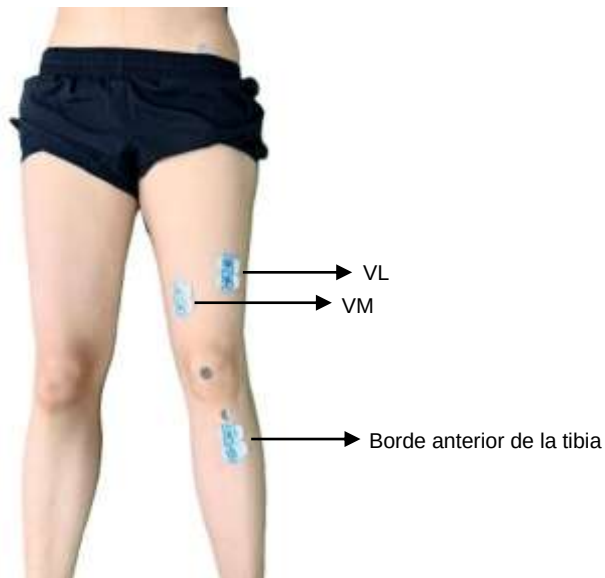
La colocación de los electrodos se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones de la guía anatómica para electromiografía (Perotto, 2011).

Se utilizaron electrodos desechables de 2.5 cm de diámetro, colocados de forma paralela a la orientación de las fibras musculares, con una separación interelectródica de 2 cm, sobre los músculos vasto medial y vasto lateral del miembro inferior dominante y el electrodo negativo se colocó sobre el borde anterior del hueso tibial (Figura 7). Para evitar

su desprendimiento durante la ejecución de la patada, se aseguraron mediante una banda elástica con velcro.

Figura 7

Colación de los electrodos en vasto medial y lateral del cuádriceps, y tuberosidad tibial



Nota: VL=vasto lateral, VM=vasto medial

Posteriormente, se colocaron los cables y se solicitó a los participantes sujetarlos por un extremo, a fin de evitar interferencias durante el movimiento.

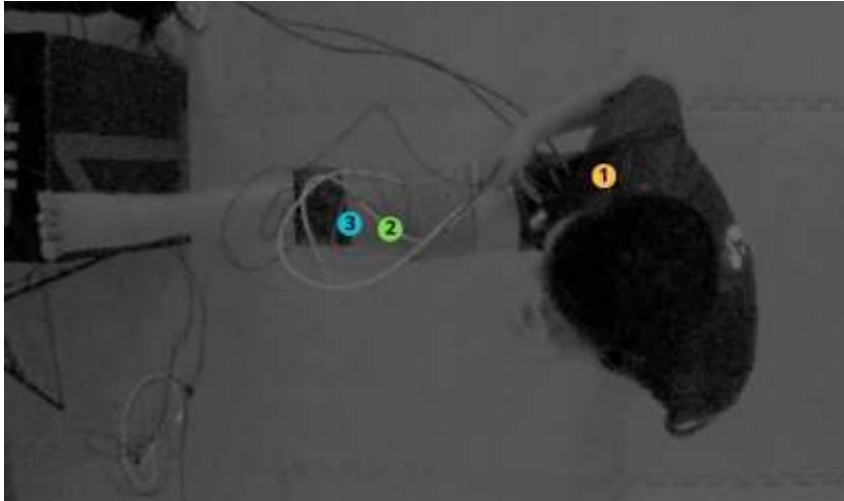
A continuación, se realizó una patada de prueba para verificar la correcta visualización de los marcadores reflectantes por parte de las cámaras y confirmar que los electrodos permanecieran correctamente adheridos. Finalmente, se colocó un punto de referencia en la pared y se indicó a los participantes que dirigieran la patada hacia dicho punto, solicitándoles que la ejecutaran con velocidad y técnica controladas, con el propósito de estandarizar la dirección del movimiento durante la ejecución de las patadas.

Una vez corroborada la adecuada ejecución del gesto y correcta captación por parte de los instrumentos, se solicitó a los participantes realizar cinco patadas de manera controlada y enérgica, manteniendo una técnica adecuada. Durante la ejecución de las

patadas frontales, se registraron simultáneamente los videos y la activación muscular de los vasto medial y vasto lateral (Figura 8).

Figura 8

Sistema de registro del ángulo Q dinámico y la activación electromiográfica durante la patada frontal



Nota: Vista superior del sistema utilizado para el registro simultáneo de los puntos anatómicos de referencia para la medición del ángulo Q dinámico y de la actividad electromiográfica de los músculos vasto medial y vasto lateral durante la patada frontal. Los puntos de referencia corresponden a la espina iliaca anterosuperior (1), el centro de la rótula (2) y la tuberosidad tibial (3).

Durante la ejecución de las pruebas no se suscitaron incidentes. La investigadora contaba con competencias en primeros auxilios.

Finalmente, los resultados del estudio se compartieron con cada deportista en sobre cerrado, proporcionando retroalimentación sobre su desempeño.

Una vez obtenidos los resultados de la electromiografía de superficie, la señal fue procesada mediante el filtrado de ruidos y artefactos en el rango de 60 a 180 Hz. Posteriormente, se calculó el valor de la raíz cuadrática media (*Root Mean Square*, RMS) para cuantificar los parámetros de la activación muscular.

La información recolectada se organizó y registró en la base de datos Jamovi versión 2.5.5 facilitando el acceso y análisis de los datos. A partir de esto, se llevó a cabo un análisis exhaustivo, buscando identificar tendencias y patrones relevantes que contribuyeron a la comprensión del rendimiento en taekwondo.

IX. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

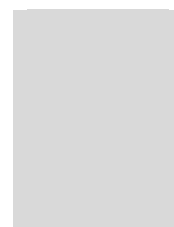
La investigación se llevó a cabo de acuerdo con el cronograma de actividades (Tabla 2, Tabla 3).

Tabla 2

Cronograma de actividades 2025

Actividad	2025			
	Jul Ago	Sep Oct	Nov Dic	
Someter a revisión el protocolo en el comité de investigación				
Someter a revisión el protocolo en el comité de bioética				
Realizar y enviar carta de solicitud de realización del protocolo en Jaguares				
Difusión de convocatoria para participar y registro de participantes				
Realización de prueba piloto				
Entrega y firma del consentimiento y asentimiento informado				
Realización de entrevistas individuales				

Realización de ambas
evaluaciones (Medición del
ángulo Q y Electromiografía de
Superficie)



Nota: Es esta tabla se presenta el cronograma de actividades correspondientes al año 2025 para la ejecución de la presente investigación.

Tabla 3

Cronograma de actividades 2026

Actividad	2026			
	Ene Feb	Mar Abr	May Jun	
Entrega y firma del consentimiento y asentimiento informado				
Realización de entrevistas individuales				
Realización de ambas evaluaciones (Medición del ángulo Q y Electromiografía de Superficie)				
Vaciado de información y registro en base de datos				
Análisis de resultados				
Entrega de estudios al deportista correspondiente				
Redacción de discusión				
Redacción de conclusiones				

Nota: Es esta tabla se presenta el cronograma de actividades correspondientes al año 2026 para la ejecución de la presente investigación.

El desarrollo de esta investigación implicó el uso de recursos humanos, materiales y físicos (Tabla 4).

Tabla 4

Recursos humanos, materiales y físicos

Cantidad	Descripción	Costo por unidad	Total
Recursos humanos			
1	Investigador		
1	Director metodológico		
1	Ingeniero analista de Sistema de Visión Artificial		
1	Ingeniero analista de EMGs	No aplica	
2	Auxiliares para la aplicación de pruebas		
Recursos materiales			
1	Electromiógrafo BIOPAC MP36	\$315,520.00	\$0.00
1	Cámara acA1440-220um	\$11,257.00	\$0.00
1	Laptop	\$10,000.00	\$0.00
500	Hoja blanca tamaño carta	\$180.00	\$180.00
12	Bolígrafo tinta azul	\$70.00	\$0.00
1	Gel antibacterial	\$100.00	\$100.00
1	Lysol en spray	\$180.00	\$180.00
50	Rastrillo para afeitar	\$100.00	\$100.00
3	Cinta micropore	\$50.00	\$150.00

6	Paquete de electrodos ECG pediátricos	\$140.00	\$840.00
30	Snack para el participante	\$30.00	\$900.00
Recursos físicos			
1	Laboratorio de biomecánica (Licenciatura en Fisioterapia)	No aplica	
Total			\$2,315.00

Nota: Es esta tabla se describen los recursos humanos, materiales y físicos requeridos para el desarrollo de la presente investigación.

X. ÉTICA DEL ESTUDIO

Este protocolo de investigación se rigió bajo los principios establecidos en la Declaración de Helsinki sobre estudios que involucran a seres humanos (Asamblea Médica Mundial, 2013) y por las normativas éticas del Código de Núremberg.

El Artículo 13 establece que en cualquier investigación que incluya a personas, se debe priorizar el respeto a su dignidad y proteger sus derechos y bienestar.

Por su parte, el Artículo 14 indica que las investigaciones en humanos deben estar alineadas con los principios científicos y éticos que justifican la investigación médica. Esto significa que se llevará a cabo solo cuando el conocimiento buscado no pueda obtenerse de otra forma, evaluando siempre los beneficios esperados en relación con los riesgos anticipados.

El Artículo 17 considera que este estudio presenta un riesgo mínimo, ya que se basa en el manejo de datos a través de procedimientos habituales en exámenes físicos, como las mediciones del ángulo Q y la electromiografía de superficie, que no comprometen la integridad del participante.

El Artículo 100 especifica las consideraciones necesarias para la investigación en humanos, y este proyecto se ajusta estrictamente a ellas.

Asimismo, la investigación se apoya en la Ley General de Salud de 1984, en particular en los lineamientos del artículo 14, asegurando el cumplimiento de los principios científicos y éticos establecidos (Cámara de Diputados del H Congreso de la Unión, 1987). Según esta ley, el protocolo se clasifica como investigación de riesgo mínimo, conforme al título segundo, artículo 17, apartado II, dado que empleará procedimientos comunes en exámenes físicos con fines diagnósticos.

Con base a lo anterior, se garantizó que esta investigación no puso en riesgo la integridad física ni psicológica de los participantes. Además, conforme a la Norma Oficial

Mexica NOM-012-SSA3-2012, la cual define los criterios para la ejecución de proyectos de investigación en salud de seres humanos, cumpliendo con su reglamentación ética.

La participación fue voluntaria, y los participantes tuvieron la libertad de retirarse en cualquier momento tras haber leído y comprendido el consentimiento informado para padres o tutores (Anexo 3) y el asentimiento informado (Anexo 4) para los menores de edad. Se respetó su privacidad y se protegió su bienestar físico y mental. Además, la investigación se llevó a cabo exclusivamente por personal capacitado y estuvo supervisada por un profesional clínico competente.

Todos los datos obtenidos durante el estudio se publicaron con precisión para mantener la integridad de los resultados.

XI. PLAN DE ANÁLISIS

Para el análisis estadístico de los resultados se diseñó una base de datos en el programa Jamovi versión 2.5.5, donde se vaciaron los resultados de las mediciones del ángulo Q dinámico y de la evaluación los vastos medial y lateral del cuádriceps mediante la electromiografía de superficie durante la ejecución de la patada frontal con el miembro inferior dominante.

Así mismo, las variables de edad, sexo y, miembro inferior dominante, fueron obtenidas mediante una entrevista y posteriormente se incorporaron a la misma base de datos para su posterior análisis.

Posteriormente, se realizó la categorización de las variables y un análisis descriptivo de las características sociodemográficas y antropométricas de los participantes. Las variables nominales, como el sexo, se describieron mediante frecuencias absolutas y porcentajes. Las variables cuantitativas (edad, peso, talla y ángulo Q dinámico y activación eléctrica muscular) se describieron como media $\pm$ desviación estándar, además de reportar los valores mínimos y máximos. Los resultados se presentaron mediante tablas.

Para determinar la distribución de los datos se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. En el caso del ángulo Q dinámico, en extensión durante la ejecución de la patada frontal con el miembro inferior dominante, se evaluó su distribución mediante esta prueba, identificándose un comportamiento compatible con una distribución normal ($p>0.05$), por lo que los resultados se describieron mediante media y desviación estándar

Para comparar la activación eléctrica muscular entre el vasto medial y lateral del cuádriceps se utilizó la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas cuando los datos no presentaron distribución normal. Asimismo, se aplicó la t de Student para muestras pareadas para analizar diferencias entre variables continuas relacionadas con distribución normal.

Finalmente, para analizar la relación entre el ángulo Q dinámico y la activación eléctrica muscular del vasto lateral del cuádriceps se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman. Se consideró un nivel de significancia estadística de $p<0.05$.

XII. RESULTADOS

La muestra estuvo conformada por 30 participantes, de los cuales el 50% (n=15) fueron del sexo femenino y 50% (n=15) del sexo masculino. Asimismo, 25 participantes reportaron como pierna dominante la derecha, mientras que 5 indicaron que su pierna dominante es la izquierda. La edad de los participantes presentó una media de 10.2 ± 2.07 , con un rango mínimo de 6 y máximo de 13 años. En cuanto a las variables antropométricas, el peso corporal mostró una media de 41.9 ± 15.8 kg, mientras que la talla presentó una media de 141.8 ± 14.7 cm.

Por su parte, los participantes presentaron un ángulo Q dinámico en extensión (Tabla 5) promedio de 13.7° (DE=1.13) durante la ejecución de la patada frontal con el miembro inferior dominante, en la cual se realizó la diferenciación por sexo. Los valores del ángulo Q dinámico presentaron una distribución normal en ambos sexos ($p > 0.05$).

Tabla 5

Valores del ángulo Q dinámico en extensión por sexo

	Ángulo Q dinámico en hombres ($^\circ$)	Ángulo Q dinámico en mujeres ($^\circ$)
Promedio	13.43	13.95
Desviación estándar	0.95	1.27

De igual manera, se evaluó la activación muscular en el vasto medial y el vasto lateral del cuádriceps durante la ejecución de la patada frontal del miembro inferior dominante por sexo (Tabla 6), registrándose valores RMS comprendidos entre 0.074 mV y 0.984 mV en hombres y, entre 0.009 mV y 1.399 mV en mujeres para los vastos mediales y valores RMS para los vastos laterales comprendidos entre 0.072 mV y 1.469 mV en hombres y, 0.007 mV y 1.739 mV en mujeres. El análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk indicó que los valores de activación electromiográfica en ambos vastos no presentaron una distribución normal ($p < 0.05$).

Tabla 6

Activación muscular de los vasto medial y lateral durante la patada frontal del miembro inferior dominante por sexo

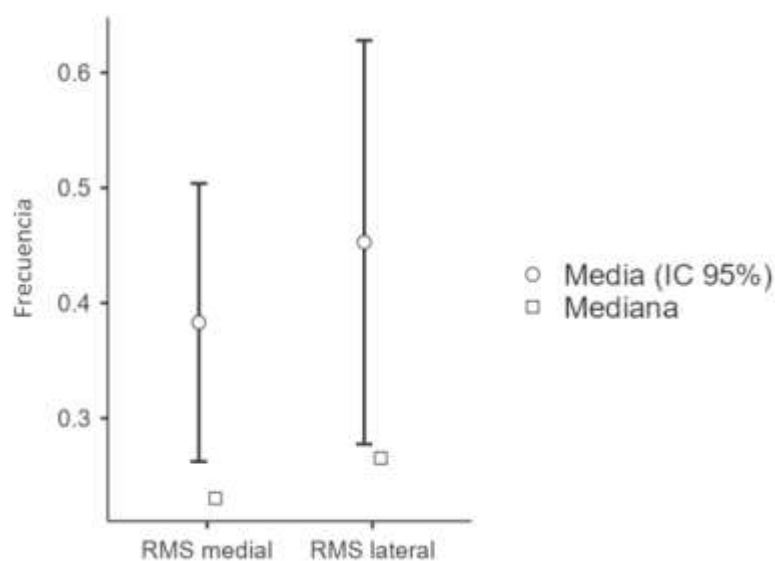
	Activación muscular del vasto lateral en hombres (mV)		Activación muscular del vasto lateral en mujeres (mV)	
	Vasto medial	Vasto lateral	Vasto medial	Vasto lateral
Promedio	0.39	0.36	0.44	0.54
Desviación estándar	0.30	0.37	0.37	0.59

Nota: mV= milivoltios.

Asimismo, se realizó una comparación de la activación muscular entre el vasto medial y el vasto lateral del cuádriceps (Figura 9). Los resultados mostraron una mayor activación del vasto lateral en comparación con el vasto medial; sin embargo, al aplicar la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos músculos ($p=0.371$).

Figura 9

Comparación de la activación muscular entre vasto medial y vasto lateral

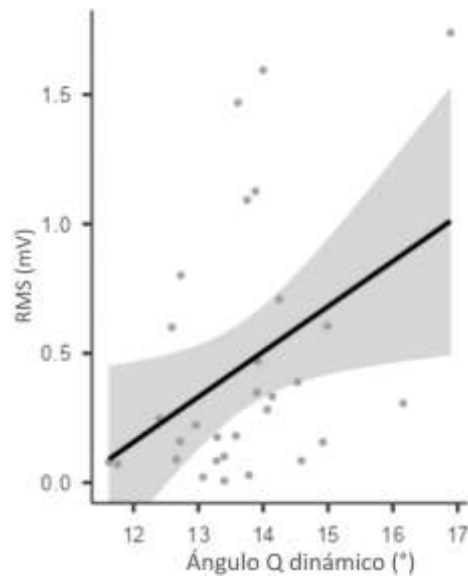


Nota: RMS= Root Mean Square.

Finalmente, se realizó un análisis de correlación entre el ángulo Q dinámico en extensión y la activación muscular del cuádriceps del miembro inferior dominante durante la patada. Para ello, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman, obteniéndose un valor $p < 0.05$, lo que indica la existencia de una correlación positiva y estadísticamente significativa ($\rho = 0.022$) entre ambas variables (Figura 10).

Figura 10

Correlación del ángulo Q dinámico con la activación muscular del vasto lateral del cuádriceps



Nota: RMS= Root Mean Square, mV=milivoltios.

XIII. DISCUSIÓN

La presente tesis analizó la relación entre el ángulo Q dinámico en extensión y la activación eléctrica de los músculos vasto medial y lateral del cuádriceps durante la ejecución de la patada frontal con el miembro inferior dominante en taekwondoinas.

En los últimos años, el uso de sistemas de visión artificial 2D y 3D en el análisis biomecánico deportivo ha mostrado un crecimiento significativo, destacando su capacidad para proporcionar mediciones objetivas del movimiento en contextos fuera del laboratorio. Estudios recientes, como los de Souaifi et al. (2025) y Maciejewski et al. (2025), coinciden en señalar que los sistemas de visión por computadora y las tecnologías sin marcadores permiten la obtención de datos cinemáticos de manera accesible y objetiva, favoreciendo su aplicación en entornos deportivos reales. No obstante, aunque estos sistemas han demostrado un alto potencial para el análisis del movimiento humano, la evidencia sobre su precisión comparativa con métodos tradicionales continúa en desarrollo y depende del tipo de tarea y condiciones de evaluación.

Respecto a las características de la muestra, se observó una edad promedio de 10.2 ± 1.96 años, lo cual coincide con investigaciones realizadas en poblaciones jóvenes deportistas en etapa de crecimiento. Por ejemplo, Milovanović et al. (2023) evaluaron deportistas infantiles y adolescentes en edades aproximadas de 10 a 14 años, mientras que Sharma et al. (2023) analizaron adolescentes y adultos jóvenes físicamente activos. En conjunto, estos estudios señalan que durante el crecimiento se producen variaciones en la alineación del miembro inferior y en el control neuromuscular, factores que pueden influir en la biomecánica de la rodilla durante la ejecución de movimientos dinámicos.

En diversos estudios, el ángulo Q dinámico ha sido evaluado durante la flexión de rodilla en deportistas durante actividades de aterrizaje durante el salto y en tareas funcionales como la marcha (Wagner et al., 2021; Zamankhanpour et al., 2023). Estos análisis han sido apoyados por el uso de sistemas de visión artificial, los cuales han permitido cuantificar variables cinemáticas de manera objetiva en condiciones dinámicas, principalmente en

contextos de cadena cinética cerrada. No obstante, la presente tesis propone la medición del ángulo Q dinámico durante la extensión de rodilla, debido a que el mecanismo extensor es una de las fases de mayor exigencia biomecánica. Esto tiene especial relevancia en disciplinas de combate, donde las patadas constituyen el principal medio de ejecución técnica y se caracterizan por ser movimientos balísticos que requieren altos niveles de fuerza, velocidad y coordinación intersegmentaria (Aybüke y Ateş, 2025; Xue et al., 2025).

A diferencia de estudios que analizan el valgo dinámico en tareas en cadena cinética cerrada, en la presente tesis se evaluó la pierna que ejecuta la patada frontal, lo que implica un movimiento en cadena cinética abierta (Li et al., 2022). En este tipo de movimientos se han descrito patrones biomecánicos distintos en la cadena cinemática tibiofemoral en comparación con ejercicios en carga, lo que refleja diferencias en la dinámica articular durante la extensión de rodilla. Asimismo, en estas condiciones el control del movimiento depende en mayor medida de la activación muscular y el control neuromuscular, más que de la estabilidad pasiva articular (Pamboris et al., 2024). Por consiguiente, el ángulo Q dinámico de los participantes de esta tesis presentó un valor promedio de $13.8^{\circ} \pm 1.13$ durante la ejecución de la patada frontal. Al analizar los resultados por sexo, se observó un promedio de $13.6^{\circ} \pm 0.98^{\circ}$ en hombres y $14.0^{\circ} \pm 1.27^{\circ}$ en mujeres, mostrando valores ligeramente mayores en las mujeres. Estos valores son comparables con los reportados en otras investigaciones realizadas en poblaciones adolescentes; por ejemplo, Sharma et al. (2023), evaluaron adolescentes de 10 a 15 años y reportaron valores promedio cercanos a 13° , lo que sugiere que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos esperados para poblaciones jóvenes. De manera similar, en atletas se han descrito valores promedio cercanos a 12° en hombres y 15° en mujeres (Hikawa et al., 2025), así como promedios aproximados de 14° en hombres y entre $16-17^{\circ}$ en mujeres, dependiendo del deporte y la posición de medición (Tural y Imamoglu, 2020), lo que sugiere que los valores obtenidos en esta tesis se encuentran dentro de los rangos descritos en la literatura para poblaciones físicamente activas.

En relación con los valores de amplitud de electromiografía de superficie obtenidos mediante el análisis RMS durante la ejecución de la patada frontal, en la presente tesis se

observaron valores comprendidos entre 0.074 mV y 0.984 mV en hombres y entre 0.009 mV y 1.399 mV en mujeres para el vasto medial, mientras que para el vasto lateral los valores oscilaron entre 0.072 mV y 1.469 mV en hombres y entre 0.007 mV y 1.739 mV en mujeres. Estos resultados muestran una amplia variabilidad en la activación muscular del cuádriceps, lo cual es consistente con lo reportado en estudios recientes de electromiografía de superficie, donde se ha señalado que los valores de RMS pueden presentar rangos desde pocos milivoltios (mV) hasta más de 1 mV durante contracciones dinámicas, debido a factores como el nivel de contracción muscular, la velocidad de ejecución del movimiento, la posición de los electrodos y las características antropométricas de los participantes (Fuentes Del Toro y Aranda, 2025; Sung et al., 2023).

Asimismo, investigaciones recientes han señalado que, durante tareas dinámicas del miembro inferior, los valores RMS del cuádriceps pueden variar ampliamente entre individuos y entre sexos, particularmente en movimientos deportivos que implican extensión de rodilla y control dinámico del miembro inferior (Harrison et al., 2023). En concordancia con estos estudios, la variabilidad observada en los valores RMS de la presente investigación podría reflejar diferencias en el patrón de reclutamiento neuromuscular durante la ejecución de la patada frontal. En este sentido, Rodríguez-Falces et al. (2024) reportaron que la amplitud de la señal electromiográfica de superficie del vasto lateral depende del nivel de fuerza muscular generado y presenta variabilidad interindividual, lo que refleja la variabilidad fisiológica propia de la activación muscular durante tareas que implican extensión de rodilla. De igual manera, la ausencia de distribución normal en los datos de esta tesis, coincide con lo reportado en investigaciones de electromiografía de superficie aplicada al movimiento humano, donde se ha señalado que la amplitud de la señal electromiográfica, incluyendo medidas como RMS, está influenciada por el número de unidades motoras activas y su frecuencia de descarga, lo que genera una alta variabilidad en la señal durante las tareas dinámicas (Guerrero-Henríquez et al, 2022).

Los resultados de la presente tesis, evidenciaron una relación entre el incremento del ángulo Q dinámico y una mayor activación del vasto lateral del cuádriceps. Lo cual, puede interpretarse desde la biomecánica de la articulación patelofemoral. En concordancia con lo

descrito por Wheatley et al (2020), la mecánica patelofemoral está determinada por la interacción entre factores anatómicos, cinemáticos y la activación muscular del cuádriceps, los cuales influyen directamente en la posición y fuerzas que actúan sobre la rótula durante el movimiento de la rodilla. Estudios más recientes han señalado que la dirección y magnitud de la fuerza del cuádriceps pueden modificar la cinemática patelar y el patrón de seguimiento de la rótula, alterando la distribución de cargas dentro de la articulación patelofemoral (Maioli et al., 2025; Weigert et al., 2025).

De manera similar, BB y Dsouza (2024) reportaron una correlación entre el ángulo Q y la activación muscular del miembro inferior durante la ejecución de salto vertical en deportistas, lo que sugiere que las variaciones en la alineación del miembro inferior pueden influir en el patrón de reclutamiento neuromuscular durante tareas dinámicas. Estos hallazgos coinciden con los resultados de la presente tesis, en la que se observó que el incremento del ángulo Q dinámico se asoció con una mayor activación del vasto lateral del cuádriceps durante la ejecución de la patada frontal, lo que refuerza la posible relación entre la alineación del miembro inferior y la activación muscular del mecanismo extensor de la rodilla durante gestos deportivos.

No obstante, algunos estudios han reportado resultados distintos respecto a la relación del ángulo Q y variables neuromusculares. Por ejemplo, Saç y Taşmektepligil (2018) evaluaron la relación entre el ángulo Q y la actividad electromiográfica del cuádriceps durante pruebas isocinéticas en una muestra de 50 hombres jóvenes físicamente activos, con edades entre 18 y 27 años y valores de ángulo Q entre 5° y 20°, sin encontrar asociaciones significativas entre estas variables. Estos resultados sugieren que la relación entre la alineación del miembro inferior y la activación muscular puede depender del tipo de tarea evaluada, las condiciones biomecánicas del movimiento y de las características de la población estudiada. En este sentido, las diferencias con hallazgos de la presente tesis podrían explicarse debido a que este estudio evaluó una tarea dinámica y específica del deporte en cadena cinética abierta, como la patada frontal en taekwondo, en una población infantil deportista, lo que implica demandas neuromusculares y patrones de activación distintos a los observados en pruebas isocinéticas controladas en población adulta.

Entre las limitaciones de esta tesis se encuentra el tamaño y las características específicas de la muestra, integrada únicamente por taekwondoinos infantiles, lo que limita la generalización de los resultados a otras poblaciones o disciplinas deportivas. Asimismo, la evaluación se realizó durante la ejecución de una tarea dinámica específica del deporte, la patada frontal, en cadena cinética abierta, por lo que la comparación de los resultados con investigaciones que emplean poblaciones, tareas o condiciones de evaluación diferentes debe realizarse con cautela.

XIV. CONCLUSIÓN

En la presente tesis se analizó la asociación entre el ángulo Q dinámico y la activación muscular del cuádriceps durante la ejecución de la patada frontal en taekwondoinas. Los resultados evidenciaron que sí existe una relación estadísticamente significativa entre el ángulo Q y la activación del vasto lateral, lo que sugiere que esta variable estructural puede influir en el comportamiento neuromuscular durante la ejecución del gesto. En contraste, no se encontró una relación significativa con el vasto medial, lo que podría indicar una participación diferente de los componentes del cuádriceps en este tipo de movimiento balístico.

Por su parte, el sistema de visión artificial implementado en esta tesis se presenta como una herramienta útil y accesible para la evaluación biomecánica en contextos deportivos reales, permitiendo obtener información objetiva del movimiento. Su aplicación facilita el análisis funcional de gestos deportivos y aporta elementos relevantes para la comprensión del rendimiento. En este sentido, la incorporación de sistemas de visión artificial en el análisis de extensión de rodilla no sólo amplía el campo de aplicación de estas tecnologías, sino que también permite trasladar su uso hacia gestos deportivos más específicos, fortaleciendo su utilidad en ámbitos como el entrenamiento, la prevención de lesiones y la rehabilitación.

En cuanto a la medición del ángulo Q dinámico, esta fue propuesta en posición de extensión de rodilla, a diferencia de la mayoría de los estudios que lo evalúan en flexión, en cadena cinética cerrada. No obstante, los valores obtenidos presentan un comportamiento similar al reportado en condiciones estáticas, lo que podría sugerir cierta consistencia de esta variable independientemente de la condición de medición, aunque este aspecto requiere mayor evidencia.

La evaluación del ángulo Q en condiciones dinámicas durante la extensión de rodilla permitió aproximarse de manera más funcional al análisis biomecánico de un gesto deportivo específico como la patada frontal, aportando evidencia que puede contribuir al estudio del

control neuromuscular y de la alineación del miembro inferior en disciplinas de combate. En este sentido, los hallazgos obtenidos pueden construir una base para profundizar en el análisis de la relación entre variables biomecánicas y musculares durante movimientos deportivos dinámicos.

Los resultados evidenciaron variabilidad en los valores de activación muscular registrados mediante electromiografía de superficie, particularmente en el vasto medial y el vasto lateral, presentando distribuciones no normales, lo cual podría atribuirse a la variabilidad fisiológica propia de la señal electromiográfica durante movimientos dinámicos.

Se observó que el incremento del ángulo Q dinámico se asoció a una mayor activación del vasto lateral del cuádriceps, lo que sugiere que la alineación del miembro inferior puede influir en el patrón de reclutamiento muscular durante gestos deportivos que implican una elevada demanda del mecanismo extensor de la rodilla. Este hallazgo es consistente con la función biomecánica del vasto lateral como uno de los principales estabilizadores dinámicos de la rótula, contribuyendo a su desplazamiento lateral y al control de las fuerzas patelofemorales.

Desde una perspectiva biomecánica, estos hallazgos pueden interpretarse considerando la mecánica de la articulación patelofemoral, donde la alineación del miembro inferior influye en el patrón de activación del cuádriceps durante el movimiento. En este sentido, la ejecución de gestos deportivos dinámicos, como la patada frontal de taekwondo, podría generar demandas biomecánicas particulares que influyen en el patrón de reclutamiento muscular.

En este contexto, los hallazgos de la presente tesis aportan información relevante para fisioterapeutas, entrenadores y profesionales del deporte, el evidenciar que el ángulo Q dinámico puede tener implicaciones en la activación muscular del vasto lateral del cuádriceps, durante la ejecución de la patada frontal, lo que refuerza la importancia de su evaluación dentro del análisis funcional del movimiento en taekwondo.

XV. RECOMENDACIONES

Se recomienda que futuras investigaciones consideren la evaluación de ambas extremidades inferiores, con el fin de identificar posibles asimetrías funcionales y obtener una visión más integral del comportamiento biomecánico y neuromuscular durante del gesto deportivo.

Es importante también incrementar el tamaño de la muestra, ya que el número reducido de participantes en la presente investigación limita la generalización de los resultados. En este sentido, se recomienda incluir poblaciones más amplias y heterogéneas, considerando diferentes rangos de edad y niveles de experiencia deportiva, con el objetivo de fortalecer la validez externa de los hallazgos.

Adicionalmente, se sugiere considerar variables adicionales que no fueron contempladas en esta investigación, como la fuerza muscular, la flexibilidad, la alineación dinámica y los antecedentes de lesión, ya que estas podrían actuar como factores de confusión o moduladores en la relación entre el ángulo Q y la activación muscular.

De igual manera, el análisis limitado a un número reducido de músculos podría estar simplificando la complejidad del gesto motor evaluado. Se recomienda ampliar el registro electromiográfico a otros músculos implicados en la estabilidad y ejecución de la patada, lo que favorecería una interpretación más integral de la coordinación muscular.

Asimismo, es importante señalar la falta de significancia estadística en la comparación entre la activación del vasto medial y el vasto lateral podría estar relacionada con el tamaño de la muestra, por lo que se recomienda interpretar estos resultados con cautela y considerar estudios con mayor potencia estadística que permitan confirmar o refutar estos hallazgos.

Finalmente, se plantea su posible implementación en entornos educativos, donde podría utilizarse como recurso de evaluación para el seguimiento del desarrollo neuromuscular, la detección temprana de alteraciones biomecánicas y la promoción de hábitos de movimiento óptimos desde edades tempranas.

XVI. REFERENCIAS

- Avogaro, A., Cunico, F., Rosenhahn, B., & Setti, F. (2023). Markerless human pose estimation for biomedical applications: a survey. *arXiv (Cornell University)*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2308.00519>
- Aybüke Yılmaz, E., & Ateş, O. (2025). Taekwondo kicks at the center of biomechanical research: Systematic review. *Kinesiology (Zagreb, Croatia)*, 57(2), 289–307. <https://doi.org/10.26582/k.57.2.13>
- Bae, K., Lee, S., Bak, S., Kim, H. S., Ha, Y., & You, J. H. (2024). Concurrent validity and test reliability of the deep learning markerless motion capture system during the overhead squat. *Scientific Reports*, 14(1), 29462. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79707-2>
- Barnamehei, H. (2023). Neuromuscular characters influenced by knee flexion-extension during martial art techniques: Axial kick VS front kick. *Gait & Posture*, 106, S21–S23. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.07.030>
- Barzyk, P., Zimmermann, P., Stein, M., Keim, D., & Gruber, M. (2024). AI-smartphone markerless motion capturing of hip, knee, and ankle joint kinematics during countermovement jumps. *European Journal Of Sport Science*, 24(10), 1452-1462. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12186>
- BB, S., & Dsouza, G. (2024). A comparative study of q angle and muscle activation during vertical jump among sportspersons. *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 11(3), 117–122. <https://doi.org/10.22271/kheljournal.2024.v11.i3b.3330>
- Boesch, G. (2024, October 18). CVAT: Computer vision annotation tool - 2025 Guide. Viso.Ai. <https://viso.ai/computer-vision/cvat-computer-vision-annotation-tool/>
- Bradford, J. C., Tweedell, A., y Leahy, L. (2023). High-density surface and intramuscular EMG data from the tibialis anterior during dynamic contractions. *Scientific Data*, 10(1), 434. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02114-1>

- Brotzman, S. B., & Manske, R. C. (2012). *Rehabilitacion Ortopedica Clinica + Expertconsult*. Elsevier Health Sciences.
- Cardona, F. M. (2024). Academia Jaguares Taekwondo. Entrevistada por Luz del Carmen Sierra Tapia.
- Cavalcanti Garcia M. A. y Vieira T. M. (2011). Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Rev Andal Med Deporte*. 4(1):17-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3233/323327665004.pdf>
- Código de Nuremberg, Normas éticas sobre experimentación en seres humanos, (1997). http://www.conbioeticamexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/normatividad/normatinternacional/2.INTL.Cod_Nuremberg.pdf
- Cossich, V. R. A., Carlgren, D., Holash, R. J., & Katz, L. (2023). Technological Breakthroughs in Sport: Current Practice and Future Potential of Artificial Intelligence, Virtual Reality, Augmented Reality, and Modern Data Visualization in Performance Analysis. *Applied Sciences*, 13(23), 12965. <https://doi.org/10.3390/app132312965>
- Declaración de Helsinki, Antecedentes y posición de la Comisión Nacional de Bioética, (2013). <http://www.conbioeticamexico.salud.gob.mx/descargas/pdf/helsinki.pdf>
- Denizoglu K. H., Yeldan, I., y Yildirim, N. U. (2019). Influence of quadriceps angle on static and dynamic balance in young adults. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 32(6), 857–862. <https://doi.org/10.3233/BMR-181332>
- Diario Oficial de la Federación. (2013). Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos (NOM-012-SSA3-2012). <https://dof.gob.mx>
- Duarte-Hernández, F. J., Pérez-Mendoza, N. B., & Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (2020). Identificar la lateralidad en niños de 2 a 5 años del Instituto de Recreación y Deportes de Tunja (Irdet) aplicando el Test de Harris. *Actividad Física y Deporte*, 6(2). <https://doi.org/10.31910/rdafd.v6.n2.2020.1572>
- Duque, J., Gómez, J., & Zalama, E. (2024). Visión Artificial. Componentes de los sistemas de visión y nuevas tendencias en Deep Learning. RA-MA.

- Elhoseny, H. A., Eltohamy, A. M., & Diab, O. A. (2024). Effect of body mass index on quadriceps angle and tibial torsion in school-aged children. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*, 29(1). <https://doi.org/10.1186/s43161-024-00235-1>
- Erdman, A., Loewen, A., Dressing, M., Wyatt, C., Oliver, G., Butler, L., Sugimoto, D., Black, A. M., Tulchin-Francis, K., Bazett-Jones, D. M., Janosky, J., & Ulman, S. (2024). A 2D video-based assessment is associated with 3D biomechanical contributors to dynamic knee valgus in the coronal plane. *Frontiers In Sports And Active Living*, 6, 1352286. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1352286>
- Facebook. (20 de mayo de 2023). *Jaguars TKD Querétaro* [Ilustración],, Facebook: www.facebook.com.
- Firouzi, A., Azghani, M. R., Rezaei, M., y Jahan, A. (2024). Reliability of voluntary response index analysis using surface electromyography in professional football players. *Middle East Journal of Rehabilitation and Health*, 11(3). <https://doi.org/10.5812/mejrh-146098>
- Fuentes Del Toro, S., & Aranda-Ruiz, J. (2025). The impact of normalization procedures on surface electromyography (sEMG) data integrity: A study of bicep and tricep muscle signal analysis. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(9), 2668. <https://doi.org/10.3390/s25092668>
- Guerrero-Henriquez, J., Tapia, C., & Vargas-Matamala, M. (2022). Variability in normalization methods of surface electromyography signals in eccentric hamstring contraction. *Journal of Sport Rehabilitation*, 31(8), 1083–1088. <https://doi.org/10.1123/jsr.2022-0076>
- Guzmán, M. E., y Méndez, R. G. (2018). Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación. *Salud Uninorte*, 34(3), 753-765.
- Harrison, S., Clark, N. C., Ansdell, P., & Pethick, J. (2023). Sex differences in knee extensor torque control. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 72(102806), 102806. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2023.102806>
- Hedayatpour, N., Mohammed Sediq Rashid, D., Izanloo, Z., Seylانه, H., y Falla, D. (2021). Men and women show different adaptations of quadriceps activity

- following fatiguing contractions: An explanation for the increased incidence of sports-related knee injuries in women? *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 58(102552), 102552. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102552>
- Heidari, S., Babor, T. F., De Castro, P., Tort, S., y Curno, M. (2016). Sex and Gender Equity in Research: rationale for the SAGER guidelines and recommended use. *Research Integrity and Peer Review*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S41073-016-0007-6/TABLES/2>
- Elhoseny, H. A., Eltohamy, A. M., & Diab, O. A. (2024). Effect of body mass index on quadriceps angle and tibial torsion in school-aged children. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*, 29(1). <https://doi.org/10.1186/s43161-024-00235-1>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Hikawa, K., Shimizu, R., & Takahashi, S. (2025). Features of elite athletes' high and asymmetric Quadriceps angles: A cross-sectional study. *Health Science Reports*, 8(6), e70909. <https://doi.org/10.1002/hsr2.70909>
- Huang, T., Ruan, M., Huang, S., Fan, L., & Wu, X. (2024). Comparison of kinematics and joint moments calculations for lower limbs during gait using markerless and marker-based motion capture. *Frontiers In Bioengineering And Biotechnology*, 12, 1280363. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1280363>
- Imhoff, F. B., Cotic, M., Dyna, F. G. E., Cote, M., Diermeier, T., Achtnich, A., Imhoff, A. B., & Beitzel, K. (2020). Dynamic Q-angle is increased in patients with chronic patellofemoral instability and correlates positively with femoral torsion. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 29(4), 1224-1231. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06163-6>
- Indio, D. (2012). *Mixed Martial Arts Fighting Techniques: Apply Modern Training Methods Used by MMA Pros!*. Estados Unidos: Tuttle Publishing.
- Kashefi, T., Daneshjoo, A., & Sadati, S. K. M. (2021). The Effect of a Course of Up-cholugi and Yup-chagi Exercises on the Kinematic Indices of the Knee and the Incidence of

- Bow-leggedness (Genu Varum) in Professional Taekwondo Practitioners. *Journal Of Sport Biomechanics*, 6(4), 214-225. <https://doi.org/10.32598/biomechanics.6.3.1>
- Jeong, H. S., Ha, S., Jeong, D. H., O'Sullivan, D. M., & Lee, S. Y. (2021). Injury and illness in world taekwondo junior athletes: An epidemiological study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2134. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042134>
- Jia, M., Liu, L., Huang, R., Ma, Y., Lin, S., Peng, Q., Xiong, J., Wang, Z., & Zheng, W. (2023). Correlation analysis between biomechanical characteristics of taekwondo double roundhouse kick and effective scoring of electronic body protector. *Frontiers in Physiology*, 14, 1269345. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1269345>
- Khanday, N. Y., & Sofi, S. A. (2021). Taxonomy, state-of-the-art, challenges and applications of visual understanding: A review. *Computer Science Review*, 40, 100374. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100374>
- Khasawneh, R. R., Allouh, M. Z., & Abu-El-Rub, E. (2019). Measurement of the quadriceps (Q) angle with respect to various body parameters in young Arab population. *PLoS ONE*, 14(6), e0218387. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218387>
- Ley General de Salud Mexicana. Art. 13, 14, 17 y 100, publicada el 7 de febrero de 1984 y actualizada el 22 de noviembre de 2021.
- Li, P., Li, C., Wang, C., Kernkamp, W. A., Yang, C.-H., Hu, H., & Tsai, T.-Y. (2022). In-vivo tibiofemoral kinematics of the normal knee during closed and open kinetic chain exercises: A comparative study of box squat and seated knee extension. *Medical Engineering & Physics*, 101(103766), 103766. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2022.103766>
- Lima, Y. L., Collings, T., Hall, M., Bourne, M. N., & Diamond, L. E. (2024). Validity and reliability of trunk and lower-limb kinematics during squatting, hopping, jumping and side-stepping using OpenCap markerless motion capture application. *Journal Of Sports Sciences*, 42(19), 1847-1858. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2415233>

- Liu, J., Liu, X., & Zhang, Q. (2020). A new training method for leg explosive power in taekwondo and its data-driven predictive models. *Isokinetics and exercise science*, 28(4), 351–363. <https://doi.org/10.3233/ies-202110>
- Maciejewski, K., Martins, F., Martinho, D., Śliż, M., Sarmiento, H., Gouveia, É. R., & Przednowek, K. (2025). Advancing sport biomechanics with depth cameras: Systematic review of current applications and future directions. *International Journal of Computer Science in Sport*, 24(1), 148–169. <https://doi.org/10.2478/ijcss-2025-0009>
- Magee, D. J. (2021). *Orthopedic physical assessment* (6a ed.). W B Saunders.
- Maioli, V., Conconi, M., Diquattro, E., Traina, F., Sancisi, N., & Cristofolini, L. (2025). Quadriceps force direction affects patellofemoral kinematics without impacting tibiofemoral stability: a cadaveric study. *Knee Surgery & Related Research*, 37(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s43019-025-00286-1>
- Manakitsa, N., Maraslidis, G. S., Moysis, L., & Fragulis, G. F. (2024). A Review of Machine Learning and Deep Learning for Object Detection, Semantic Segmentation, and Human Action Recognition in Machine and Robotic Vision. *Technologies*, 12(2), 15. <https://doi.org/10.3390/technologies12020015>
- Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., & García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2018.11.005>
- Merletti, R., y Muceli, S. (2019). Tutorial. Surface EMG detection in space and time: Best practices. *Journal of Electromyography and Kinesiology. Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 49(102363), 102363. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.102363>
- Milovanović, D.; Begović, N.; Bukva, B.; Dučić, S.; Vlahović, A.; Paunović, Z.; Kadija, M.; Topalović, N.; Stijak, L. (2023). The Influence of the Q-Angle and Muscle Strength on Idiopathic Anterior Knee Pain in Adolescents. *Medicina*, 59(1016), <https://doi.org/10.3390/medicina59061016>

- Miziara, I. M., da Silva, B. G., Marques, I. A., de Sá, A. A. R., Oliveira, I. M., Pereira, A. A., & Naves, E. L. M. (2019). Analysis of the biomechanical parameters of high-performance of the roundhouse kicks in Taekwondo athletes. *Research on Biomedical Engineering*, 35(3–4), 193–201. <https://doi.org/10.1007/s42600-019-00022-1>
- Numata, H., Nakase, J., Kitaoka, K., Shima, Y., Oshima, T., Takata, Y., Shimozaki, K., & Tsuchiya, H. (2018). Two-dimensional motion analysis of dynamic knee valgus identifies female high school athletes at risk of non-contact anterior cruciate ligament injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 26(2), 442–447. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4681-9>
- Padasala M., Bhatt J., D’Onofrio R. (2019). Relationship between bilateral quadriceps angle and anterior knee pain and its association with knee injury in long distance runners. *Ita. J. Sports Reh.* 6(2); 1240 -1252; ISSN 2385-1988 [online] IBSN 007-111-19 -55
- Pagnon, D., & Kim, H. (2024). Sports2D: Compute 2D human pose and angles from a video or a webcam. *The Journal of Open Source Software*, 9(101), 6849. <https://doi.org/10.21105/joss.06849>
- Pamboris, G. M., Pavlou, K., Paraskevopoulos, E., & Mohagheghi, A. A. (2024). Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1416690. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1416690>
- Perotto, A. O. (2011). *Anatomical guide for the electromyographer. The limbs and trunk*. (5^a ed.). Charles C Thomas. Publisher, LTD.
- Real Academia de la Lengua Española (2024). Edad- Definición. <https://dle.rae.es/edad>
- Rodriguez-Falces, J., Malanda, A., Mariscal, C., Recalde, S., & Navallas, J. (2024). The probability density function of the surface electromyogram and its dependence on contraction force in the vastus lateralis. *Biomedical Engineering Online*, 23(1), 106. <https://doi.org/10.1186/s12938-024-01285-1>

- Saç, A., & Taşmektepligil, M. Y. (2018). Correlation between the Q angle and the isokinetic knee strength and muscle activity. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64(4), 308–313. <https://doi.org/10.5606/tftrd.2018.2366>
- Sae-lim, W., Phukpattaranont, P., & Thongpull, K. (2018). Effect of electrode skin impedance on electromyography signal quality. 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON).
- Sharma, R., Vaibhav, V., Meshram, R., Singh, B., & Khorwal, G. (2023). A systematic review on quadriceps angle in relation to knee abnormalities. *Cureus*, 15(1), e34355. <https://doi.org/10.7759/cureus.34355>
- Silverman, J. D., Balbinot, G., Masani, K., Zariffa, J., & Eng, P. (2021). Validity and reliability of surface electromyography features in lower extremity muscle contraction in healthy and spinal cord-injured participants. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 27(4), 14–27. <https://doi.org/10.46292/sci20-00001>
- Sharma, R., Khorwal, G., Vaibhav, V., Singh, B., & Meshram, R. (2023). Quadriceps angle measurement in adolescents with short stature: Exploring the relationship between postural alignment and lower limb mechanics. *Cureus*, 15(8), e43953. <https://doi.org/10.7759/cureus.43953>
- Skouras, A. Z., Kanellopoulos, A. K., Stasi, S., Triantafyllou, A., Koulouvaris, P., Papagiannis, G., & Papathanasiou, G. (2022). Clinical significance of the static and dynamic Q-angle. *Cureus*, 14(5), e24911. <https://doi.org/10.7759/cureus.24911>
- Souaifi, M., Dhahbi, W., Jebabli, N., Ceylan, H. İ., Boujabli, M., Muntean, R. I., & Dergaa, I. (2025). Artificial intelligence in sports biomechanics: A scoping review on wearable technology, motion analysis, and injury prevention. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, 12(8), 887. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12080887>
- Sun, J., Liu, G., Sun, Y., Lin, K., Zhou, Z., & Cai, J. (2022). Application of surface electromyography in exercise fatigue: A review. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 16, 893275. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2022.893275>

- Sung, J. H., Baek, S.-H., Park, J.-W., Rho, J. H., & Kim, B.-J. (2023). Surface electromyography-driven parameters for representing muscle mass and strength. *Sensors* (Basel, Switzerland), 23(12). <https://doi.org/10.3390/s23125490>
- Sun, J., Wang, Y., & Dong, D. (2024). Lower limb electromyographic characteristics and implications of taekwondo roundhouse kick “hit” and “miss” actions. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1258613>
- Tural, E., & Imamoglu, O. (2020). Q angle values in team and combat athletes. *International Journal of Applied Exercise Physiology*. <https://acikerisim.omu.edu.tr/entities/publication/2c322779-6532-4f9c-b9d9-dcd80159ecd9>
- Unuvar, B. S., Torlak, M. S., Gercek, H., Tufekci, O., Erdagi, K., & Işık, B. (2023). Comparison and relationship of quadriceps femoris angle, muscle strength, and balance in athletes and non-athletes. *Indian Journal of Orthopaedics*, 57(8), 1243– 1250. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-00927-1>
- Vagner, M., Cleather, D. J., Olah, V., Vacek, J., & Stastny, P. (2023). A systematic review of dynamic forces and kinematic indicators of front and roundhouse kicks across varied conditions and participant experience. *Sports*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/sports11080141>
- Wagner, H., Boström, K. J., de Lussanet, M. H. E., de Graaf, M. L., Puta, C., & Mochizuki, L. (2021). Optimization reduces knee-joint forces during walking and squatting: Validating the inverse dynamics approach for full body movements on instrumented knee prostheses. In *arXiv [q-bio.QM]*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2109.07884>
- Weigert, A., Bauer, L., Jacobi, H., Woiczinski, M., Dinauer, A., Holzapfel, B. M., Müller, P. E., & Niethammer, T. R. (2025). Quadriceps force and medio-laterally directed joint force during knee flexion in a personalized patellofemoral joint model. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 27(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-09397-y>
- Wheatley, M. G. A., Rainbow, M. J., & Clouthier, A. L. (2020). Patellofemoral mechanics: A review of pathomechanics and research approaches. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(3), 326–337. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09626-y>

- Xue, H., Han, C., & Zhu, D. (2025). Limb biomechanics in combat sports: insights from wearable sensor technology. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 13(1663592), 1663592. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1663592>
- Zamankhanpour, M., Sheikhhoseini, R., Letafatkar, A., Piri, H., Asadi Melerdi, S., & Abdollahi, S. (2023). The effect of dual-task on jump landing kinematics and kinetics in female athletes with or without dynamic knee valgus. *Scientific Reports*, 13(1), 14305. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41648-7>
- Zarei, M., Johari, K., & Bagherian, R. (2020). Lower Extremity Risk Factors in Iranian Adolescent Taekwondo Players. *Physical Treatments - Specific Physical Therapy*, 10(1), 7-14. <https://doi.org/10.32598/ptj.10.1.403.1>
- Zhou Y. (2013). The Q Angle Is Dynamic. *Orthop Procs.* 95-B(SUPP_34):213-213. http://doi:10.1302/1358-992X.95BSUPP_34. ISTA2013-213

XVII. ANEXOS

Anexo 1. Carta de aceptación del Comité de Bioética



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE ENFERMERÍA

Santiago de Querétaro, Qro. 17 de junio de 2025

ASUNTO: DICTAMEN
COMBIOENF-002-2025-MCMH

LUZ DEL CARMEN SIERRA TAPIA
P R E S E N T E

Sirva la presente para saludarle al tiempo que hacemos de su conocimiento que, derivado del proceso de evaluación ética, bioética del proyecto de investigación titulado Asociación del ángulo Q con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinas. 003/MCMH-FEN-INV-DIP-09

El H. Comité de Bioética de la FEN-UAQ tiene a bien otorgarles el DICTAMEN:
APROBADO, en virtud de lo siguiente:

1. Cumple con todos los elementos solicitados para la evaluación ética y bioética.
2. Cumple y respeta los lineamientos éticos y bioéticos nacionales e internacionales establecidos para el trabajo con animales y/o individuos.
3. Respeto los principios éticos y bioéticos, asimismo respeta la dignidad de las personas involucradas.

Por lo anterior, usted podrá continuar con su trabajo de investigación.

Atentamente

COMITÉ DE BIOÉTICA

DRA. EN A. LILIANA VELÁZQUEZ UGALDE
PRESIDENTE

Anexo 2. Carta de registro del Comité de Investigación



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO



FACULTAD DE ENFERMERÍA
Subcomités de Investigación

Querétaro de Arteaga, Santiago de Querétaro.
27 de marzo del 2025

Registro: 003/MCMH-FEN-INV-DIP-09

L. Ft. Luz del Carmen Sierra Tapia
Estudiante de posgrado
P r e s e n t e

Por este medio le informo que su protocolo de investigación ha sido aprobado por el subcomité de investigación de la Maestría en Ciencias del Movimiento Humano, quedando registrado de la siguiente manera:

Titulo	Asociación del ángulo Q con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoines
Responsable técnico del proyecto	L. Ft. Luz del Carmen Sierra Tapia
Director / Co-director	Dra. Arely Guadalupe Morales Hernández // Dr. Irving Armando Cruz Albarrán
No. De registro	003/MCMH-FEN-INV-DIP-09

Se expide el siguiente registro para los fines que al interesado convengan.

Atentamente
"Cultivando el cuidado, el movimiento y la rehabilitación del Ser"

M. en N.C. Arely de Guadalupe López Hurtado
Responsable de Subcomité de Investigación del pregrado FEN

Anexo 3. Consentimiento informado para padres o tutores



Carta de Consentimiento Informado para padres o tutores

luz.sierra@uaq.edu.mx [Cambiar de cuenta](#)

No compartido

* indica que la pregunta es obligatoria



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



Con el propósito de conocer su disponibilidad y acuerdo en que su hijo(a) participe en el estudio: **"Asociación del ángulo Q con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoínes"**, proyecto realizado por la investigadora: **LFT. Luz del Carmen Sierra Tapia** y la investigadora responsable: **Dra. Arely Guadalupe Morales Hernández**, las cuales son docentes investigadoras de la Facultad de Enfermería de la **Universidad Autónoma de Querétaro**, se le hace llegar esta información, a fin de contar con su consentimiento.

Yo, _____, en calidad de padre, madre o tutor legal de _____, doy mi consentimiento para que participe en el presente estudio, desarrollado por la Maestría en Ciencias del Movimiento Humano de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Finalidad del estudio. El objetivo de este estudio es evaluar la relación entre el ángulo Q dinámico y la activación muscular del cuádriceps durante la ejecución de una patada frontal en taekwondoinas.

Procedimiento. Se tomarán medidas de las piernas, se colocarán electrodos autoadheribles en ambas piernas para registrar la actividad muscular mediante técnicas no invasivas. Posteriormente, el o la menor realizará una patada frontal de taekwondo, la cual será grabada desde dos ángulos utilizando cámaras de video. Estas pruebas serán guiadas por personal capacitado.

Voluntariedad. La participación del o la menor es completamente voluntaria. En todo momento se respetará su decisión de participar o no. Si él o la menor decide no participar o retirarse del estudio en cualquier momento, no se le obligará a continuar y esta decisión no generará consecuencias negativas en su entrenamiento, participación en competencias, ni en su relación con entrenadores o compañeros.

Confidencialidad. Toda información obtenida será confidencial y utilizada exclusivamente con fines científicos. Los videos captados durante las pruebas podrán presentarse en eventos académicos y/o publicaciones científicas, garantizando la protección de la identidad del o la menor. Los resultados del estudio serán entregados únicamente al participante y a su padre, madre o tutor legal, quienes decidirán si desean compartirlos con los entrenadores.

Beneficios. Al finalizar su participación, se entregará un informe con los resultados sobre la activación muscular del cuádriceps durante la ejecución de la patada frontal, lo cual puede ser útil para apoyar su desarrollo deportivo. La participación en este estudio no implica ningún tipo de compensación económica.

Riesgos. Las pruebas que se realizarán no presentan riesgos. La medición del ángulo Q dinámico y la activación muscular se llevarán a cabo mediante procedimientos seguros y no invasivos. Los electrodos son superficiales, autoadheribles y no causan dolor ni malestar.

Atención en caso de incidente. Aunque se considera la ausencia de riesgos durante la realización de este estudio, en caso de que ocurra algún incidente durante la participación, el o la menor será atendido(a) en la Clínica del Sistema Universitario de Atención en Fisioterapia, ubicada en el Centro Universitario, por personal profesional de fisioterapia y enfermería.

- ☐ Sí, doy mi consentimiento
- ☐ No, doy mi consentimiento

Nombre completo del padre o tutor *

Tu respuesta

Nombre completo del menor participante *

Tu respuesta

AVISO IMPORTANTE

La realización de la está programada para el **miércoles 14 de diciembre a partir de las 17:00 pm**, en las instalaciones de la academia, con el propósito de verificar la viabilidad del procedimiento y los instrumentos de medición. En caso de decidir participar en el estudio, se pedirá a los participantes asistir con:

-Ropa deportiva (short o licra corta y playera o blusa ajustada), a fin de permitir una adecuada visibilidad de los segmentos corporales y evitar interferencias con las mediciones y capturas realizadas por las cámaras. Asimismo, se solicita que:

-Las piernas (específicamente el muslo) no presenten vello, ya que esto podría afectar la adherencia de los electrodos y la precisión de las mediciones.

¡Muchas gracias!

Para cualquier duda o aclaración:

LFT: Luz del Carmen Sierra Tapia

Celular: 442 333 0865

Enviar

Borrar formulario

Anexo 4. Asentimiento informado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE ENFERMERÍA



ASENTIMIENTO INFORMADO

Título del estudio: "Asociación del ángulo Q con la activación muscular por electromiografía de superficie del cuádriceps en la patada frontal de taekwondoinas"

Hola, mi nombre es Luz del Carmen Sierra Tapia y soy estudiante de la Maestría en Ciencias del Movimiento Humano de la Universidad Autónoma de Querétaro. Estoy haciendo una investigación para conocer cómo trabajan ciertos músculos de las piernas cuando haces una patada frontal de taekwondo, y cómo se relaciona con una medida llamada ángulo Q. Para eso, quiero invitarte a participar.

Durante la prueba:

- Se colocarán unos electrodos que no duelen sobre la piel de tu pierna.
- Harás una patada como lo haces en el entrenamiento.
- Se tomarán videos para poder analizar tu movimiento.

Participar es voluntario.

Tú decides si quieres participar. Aunque tu mamá, papá o tutor diga que sí, tú puedes decir que no. Y si decides participar, puedes cambiar de opinión y salir del estudio cuando quieras, sin que eso afecte tus entrenamientos o participación en eventos deportivos.

Tu información será confidencial.

Sólo el equipo de investigación y tus papás o tutor conocerán tus resultados. Si tú lo deseas, puedes compartirlo con tu entrenador. No se publicará nada con tu nombre.

Si deseas participar, por favor marca (✓) en el paréntesis que dice "Si quiero participar" y escribe tu nombre. Si prefieres no participar, simplemente no marques nada ni escribas tu nombre.

() Si quiero participar

Nombre (escribe tu nombre): _____

Nombre y firma del investigador: _____

Fecha: _____ Hora: _____

Dudas: luz.sierra@uaq.edu.mx, 4423330865

Dirección: Cerro de las Campanas s/n,
Col. Las Campanas, C.P. 76010, Santiago
de Querétaro, Querétaro

Teléfono: 442 192 1200
Ext. 5710 y 5719
Correo electrónico: jip.fen@uaq.mx

