



Perfil postural en futbolistas peruanos de formación mediante evaluación asistida por inteligencia artificial

Postural profile of Peruvian youth soccer players using artificial intelligence-assisted assessment

Autores

Darvin Manuel Ramírez Guerra¹
Yusleidy Marlie Gordo Gómez¹
Maikel Yelandi Leyva Vázquez^{2,3}
Joel Blanco Pérez¹
Giceya de la Caridad Maqueira Caraballo³

¹ Universidad San Ignacio de Loyola (Perú)

² Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, (Chile)

³ Universidad Bolivariana del Ecuador (Ecuador)

Autor de correspondencia:
Darvin Manuel Ramírez Guerra
dramirezg1978@gmail.com

Recibido: 24-04-26

Aceptado: 30-05-26

Cómo citar en APA

Ramírez Guerra, D. M., Gordo Gómez, Y. M., Leyva Vázquez, M. Y., Blanco Pérez, J., & Maqueira Caraballo, G. de la C. (2026). Perfil postural en futbolistas peruanos de formación mediante evaluación asistida por inteligencia artificial. *Retos*, 83, 590-605. <https://doi.org/10.47197/retos.v83.119328>

Resumen

Introducción. El seguimiento de la postura en el fútbol de formación permite apreciar cómo varía la alineación corporal en los distintos estadios de desarrollo.

Objetivo. Analizar las variaciones del perfil postural, cuantificado mediante seis ángulos articulares procesados por inteligencia artificial (APECS), en futbolistas de formación de un club peruano, pertenecientes a las categorías Sub-13, Sub-15, Sub-17 y Reserva.

Metodología. Se utilizó un estudio cuantitativo, no experimental, transversal, de alcance descriptivo-comparativo. En el plano frontal se evaluaron seis indicadores: la alineación corporal, la cabeza, los hombros, la pelvis, las rodillas y los pies. Se estudiaron las diferencias entre categorías con Kruskal-Wallis y la prueba de Dunn con ajuste de Bonferroni, y también se tomó en cuenta el tamaño del efecto. Las relaciones entre variables se exploraron mediante Spearman y, de forma exploratoria, mediante componentes principales y agrupamiento jerárquico. **Resultados.** Las categorías mostraron diferencias en la alineación corporal ($H=17,18$; $p<0,001$; $\epsilon^2=0,12$), cabeza ($H=10,78$; $p=0,013$), pelvis ($H=17,39$; $p<0,001$; $\epsilon^2=0,12$), rodillas ($H=11,56$; $p=0,009$) y pies ($H=23,15$; $p<0,001$; $\epsilon^2=0,17$). Los jugadores Sub-17 presentaron el perfil postural más favorable. La alineación de los hombros fue parecida entre las categorías ($p=0,913$). El análisis multivariado no mostró una estructura diferenciada claramente de los perfiles posturales ($KMO=0,496$).

Discusión: Los hallazgos sugieren un patrón no lineal en el perfil postural a través de las categorías, compatible con procesos de maduración neuromuscular pero también con un posible efecto de selección/supervivencia entre etapas.

Conclusión. La fotogrametría asistida por IA puede ser una herramienta práctica para el seguimiento postural de jóvenes futbolistas.

Palabras clave

Biomecánica; evaluación postural; fotogrametría; fútbol formativo; inteligencia artificial.

Abstract

Introduction. Monitoring posture in youth soccer allows us to assess how body alignment varies across different stages of development.

Objective. To analyze variations in postural profile—quantified using six joint angles processed by artificial intelligence (APECS)—in youth soccer players from a Peruvian club among the U-13, U-15, U-17, and reserve categories.

Methodology. A quantitative, non-experimental, cross-sectional study with a descriptive-comparative design was conducted. Six indicators were evaluated in the frontal plane: body alignment, head, shoulders, pelvis, knees, and feet. Differences between age groups were analyzed using the Kruskal-Wallis test and Dunn's post hoc test with Bonferroni correction, while effect sizes were also taken into account. Relationships between variables were explored using Spearman's correlation and, on an exploratory basis, through principal component analysis and hierarchical clustering.

Results. The categories differed significantly in body alignment ($H=17.18$; $p<0.001$; $\epsilon^2=0.12$), head ($H=10.78$; $p=0.013$), pelvis ($H=17.39$; $p<0.001$; $\epsilon^2=0.12$), knees ($H=11.56$; $p=0.009$), and feet ($H=23.15$; $p<0.001$; $\epsilon^2=0.17$). U-17 players exhibited the most favorable postural profile. Shoulder alignment was similar across categories ($p = 0.913$). Multivariate analysis did not reveal a clearly differentiated structure of the postural profiles ($KMO = 0.496$).

Discussion: The findings suggest a nonlinear pattern in postural profiles across the categories, consistent with neuromuscular maturation processes but also potentially reflecting a selection/survival effect between stages.

Conclusion: AI-assisted photogrammetry may be a practical tool for monitoring the posture of young soccer players.

Keywords

Artificial intelligence; biomechanics; photogrammetry; postural assessment; youth football.



Introducción

En el fútbol de formación, se le da seguimiento de forma exhaustiva a las variables biomecánicas de los jóvenes, debido a su relación con el rendimiento y su salud a largo plazo. Durante el crecimiento, los jugadores atraviesan transformaciones antropométricas y neuromusculares muy rápidas que pueden dar lugar a adaptaciones asimétricas y a compensaciones posturales. Por ello, la prevención del riesgo de lesiones es una temática actual y necesaria (Obërtinca et al., 2023).

La evaluación postural es una herramienta muy útil (Erdem y Akbaş 2020), pero los métodos tradicionales basados en observación visual cualitativa tienen poca precisión y objetividad. Los sistemas asistidos por inteligencia artificial (IA) hacen posible sortear esta restricción, al cuantificar de forma precisa magnitudes decimales de parámetros críticos, tales como la oblicuidad pélvica o la alineación de rodillas, entre otros (Çankaya y Taki, 2024; Villaquirán-Hurtado et al., 2024).

Con el avance de la ciencia y la tecnología, cada vez más se han enfocado estudios e investigaciones hacia la inteligencia artificial y su empleo, lo que se encuentra alineado con lo señalado por Al Ardha et al. (2024), Manescu (2025) y Hasan y Majeed (2026), los que han realizado valiosos aportes a su utilización en la enseñanza móvil en el deporte, entrenamiento deportivo y el aprendizaje. Sin embargo, aún se requiere de mayor aplicación en el contexto de la evaluación postural en deportes con pelota, como es el caso del fútbol, debido a la exigencia física y deportiva de este. Por ello, hay que seguir direccionando investigaciones hacia el ecosistema digital en el entrenamiento deportivo, la preparación física y la prevención del riesgo de lesiones, lo que coincide con la investigación de Moudettir et al. (2026).

La evaluación postural en el ámbito clínico y deportivo requiere de mayor utilización de la inteligencia artificial (IA) y sus procedimientos, uno de los conocidos es la fotogrametría digital bidimensional (2D), implementada a través de aplicaciones móviles especializadas como el Sistema de Evaluación y Corrección de la Postura mediante Inteligencia Artificial (APECS), la que ha emergido como una solución tecnológica costo-efectiva, rápida y no invasiva para el tamizaje masivo, aspectos que coinciden con Karbalaeh-mahdi et al. (2025). La cual, aunque no tiene el alto nivel de precisión de los laboratorios especializados en biomecánica en 3D, sí puede llevarse al club y hacer las evaluaciones en el contexto de entrenamiento natural de los jugadores, lo cual minimiza esa desventaja.

Por su parte, autores como Irfan et al. (2024) han demostrado mediante los resultados de su estudio que el uso de la aplicación móvil APECS es una herramienta accesible, válida y confiable para la evaluación de la postura en jóvenes y adultos. Esta investigación ha servido de referente para la utilización de esta tecnología y sus protocolos en la presente investigación.

En el Perú y, en general, en Sudamérica, estas tecnologías apenas se están poniendo en práctica en las canchas del fútbol. La literatura señala que las compensaciones posturales no detectadas a tiempo son predictoras de procesos degenerativos y riesgo de lesiones por sobreuso (Afanador et al., 2022; Campo-Ramírez et al., 2025; Muñoz-Cujar et al., 2024).

La elección de las categorías Sub-13, Sub-15, Sub-17 y Reserva se debe a que son etapas críticas de desarrollo motor y de especialización deportiva (Sarracén-Legrá et al., 2024). La transición Sub-13 a Sub-15 coincide con el estirón puberal, mientras que la transición a Reserva implica la consolidación física previa al profesionalismo (Díaz-Cevallos y Álvarez-Álvarez, 2025).

Por otra parte, la relación entre las compensaciones posturales y el rendimiento específico en fútbol se basa en la integridad de la cadena cinética y la eficiencia en la transferencia de energía multiarticular. En acciones de gran intensidad como el tiro a portería, aceleración lineal y cambios de dirección y de ritmo (Guzmán-Muñoz et al., 2025), una óptima alineación postural sirve como plataforma mecánica sobre la cual el complejo lumbo-pélvico-cadera (*core*) transfiere la fuerza generada desde los miembros inferiores hacia los segmentos distales. Compensaciones estructurales y funcionales comunes, tales como la anteversión pélvica excesiva, la hiperlordosis lumbar adaptativa o el valgo dinámico de rodilla, alteran el brazo de palanca muscular y la relación tensión-longitud de los estabilizadores primarios.

Esta desalineación cinemática deteriora la economía de carrera al aumentar el gasto energético para mantener la estabilidad del centro de gravedad, reduce la velocidad de producción de fuerza y compromete la precisión del control motor. Del mismo modo, si bien dichas asimetrías y alteraciones posturales suelen ser asintomáticas en etapas formativas, son factores de riesgo modificables que incrementan la



vulnerabilidad a síndromes de lesiones por sobreuso, afectando directamente la disponibilidad atlética y continuidad del jugador en el proceso de desarrollo de alto rendimiento.

Todo lo antes planteado permite identificar el objetivo del presente estudio: analizar las variaciones del perfil postural, cuantificado mediante seis ángulos articulares procesados por inteligencia artificial (APECS), en futbolistas de formación de un club peruano, pertenecientes a las categorías Sub-13, Sub-15, Sub-17 y Reserva.

Método

Estudio cuantitativo, no experimental, de corte transversal y alcance descriptivo-comparativo (Arias-González y Covinos-Gallardo, 2021; Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Participantes

La muestra se conformó por $N=120$ futbolistas masculinos de las divisiones menores de un club profesional del Perú (Lima), distribuidos equitativamente en cuatro categorías ($n=30$ por grupo): Sub-13 (12–13 años), Sub-15 (14–15 años), Sub-17 (16–17 años) y Reserva (18–20 años). La selección fue de tipo no probabilístico intencional. Criterios de inclusión: a) Inscripción activa en el sistema de competencias del club; b) ausencia de patologías musculoesqueléticas agudas que limiten la bipedestación; c) asentimiento del deportista y consentimiento informado del tutor legal.

Criterios de exclusión: Del estudio se excluyeron deportistas que presentaban: a) Antecedentes de lesiones osteoarticulares o intervenciones quirúrgicas en la columna o miembros inferiores en los seis meses previos a la evaluación; b) presencia de dolor agudo o de una osteocondrosis asociada al crecimiento activa; c) uso actual de órtesis posturales o plantillas de corrección biomecánica; d) estado de fatiga neuromuscular severa derivada de partidos o cargas de alta intensidad desarrolladas dentro de las 24 horas anteriores a la toma fotográfica; y e) limitaciones morfológicas o indumentaria que interfirieran con la identificación algorítmica de los marcadores anatómicos del APECS.

Procedimiento

Para la evaluación postural se utilizó el aplicativo APECS, basado en redes neuronales convolucionales que reconocen automáticamente puntos de referencia anatómicos sobre imágenes 2D y computan los ángulos de seis segmentos corporales en plano frontal: A1 Alineación del cuerpo, A2 Inclínación de cabeza, A3 Alineación de hombros, A4 inclinación de pelvis, A5 Ángulo de rodilla y A6 Ángulo de pies. El valor 0° corresponde a alineación ideal; valores crecientes indican mayor desviación respecto de la referencia anatómica.

Instrumento

Las capturas se realizaron en el departamento médico del club, en ambiente controlado. Los participantes permanecieron descalzos, en ropa deportiva ajustada, sobre superficie nivelada, a una distancia constante de 3,0 m de una cámara GoPro HERO12 Black posicionada de alta resolución ubicada en trípode a 1,10 m de altura. Todas las imágenes fueron validadas por un único evaluador experto; la fiabilidad del instrumento se garantizó mediante coeficiente de correlación intraclase (CCI).

Validez y confiabilidad del instrumento

Para cuantificar los seis ángulos articulares posturales se utilizó la aplicación APECS para Android (versión 8.5.20). La validez de criterio y la fiabilidad de las aplicaciones de análisis postural basadas en visión artificial están ampliamente respaldadas por la literatura biomecánica contemporánea; al respecto, Karbalaieimahi et al. (2025) profundizaron en la validez de APECS y otros sistemas de inteligencia artificial para la evaluación de la postura en diferentes grupos poblacionales.

La fiabilidad del proceso de medición se basó en los siguientes niveles de control: Control de artefactos de la IA: Todas las fotografías fueron revisadas y confirmadas por un solo observador experto en biomecánica que visualmente inspeccionó y ajustó manualmente los marcadores anatómicos automáticos propuestos por APECS en caso de discrepancias en el contorno corporal.



Confiabilidad intraevaluador: Se llevó a cabo una evaluación piloto con una muestra de $n = 15$ futbolistas en dos momentos separados por 48 horas bajo condiciones idénticas. La reproducibilidad intraevaluador medida con el coeficiente de correlación intraclase (CCI, modelo de efectos mixtos de dos vías, acuerdo absoluto) osciló entre $CCI = 0.91$ y $CCI = 0.96$ (IC del 95%: 0.88–0.98) a través de los seis ángulos analizados, lo que muestra que el instrumento tiene una excelente fiabilidad.

Análisis de datos

Se utilizó Python 3.14 (pandas, SciPy, seaborn) para el tratamiento estadístico. Se evaluó la normalidad con Shapiro–Wilk y la homocedasticidad con Levene (prueba robusta basada en la mediana). Dado el incumplimiento sistemático de ambos supuestos, se emplearon pruebas no paramétricas: Kruskal–Wallis para la comparación entre las cuatro categorías y prueba de Dunn con corrección de Bonferroni para comparaciones por pares. Se reportaron tamaños de efecto mediante ϵ^2 (epsilon cuadrado) y η^2 como referencia (Tomczak y Tomczak, 2014). Las asociaciones entre variables se examinaron con el coeficiente rho de Spearman. El nivel de significación fue $\alpha=0,05$. Como apoyo, se utilizó SPSS versión 27.0 para verificaciones cruzadas.

Resultados

La muestra quedó equilibrada entre las cuatro categorías (Tabla 1). En la Tabla 2 y Figura 1 se presentan los estadísticos descriptivos de los seis ángulos articulares estimados por APECS, por categoría competitiva. Al tratarse de valores de desviación respecto al eje neutro anatómico, los promedios más bajos indican mejor alineación.

Tabla 1. Caracterización de la muestra

Categoría competitiva	N	Rango de edad (años)	Edad (M $\pm$ DE)	% de la muestra
Sub-13	30	12–13	12,42 $\pm$ 0,41	25%
Sub-15	30	14–15	14,55 $\pm$ 0,52	25%
Sub-17	30	16–17	16,48 $\pm$ 0,51	25%
Reserva	30	18–20	19,12 $\pm$ 0,68	25%
Total	120	12–20	15,64 $\pm$ 2,72	100%

Nota. Datos del club. N=120 futbolistas masculinos.

Tabla 2. Perfil postural por categoría competitiva — estadísticos descriptivos (N=120)

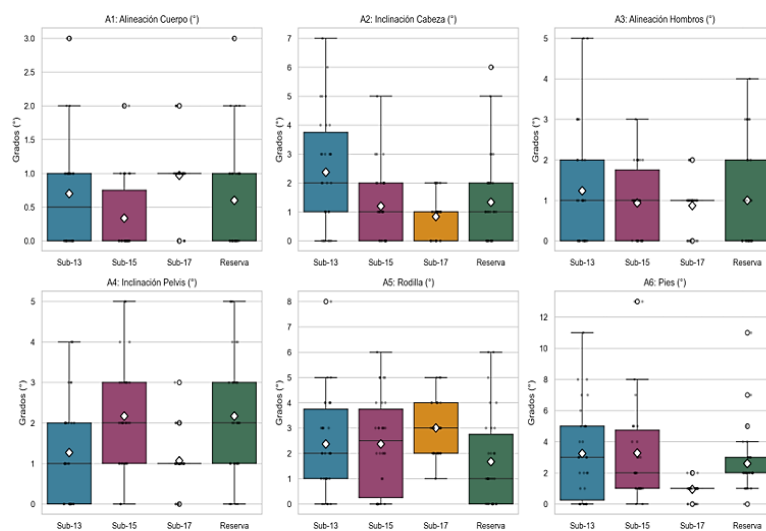
Categoría	Variable	M $\pm$ DE	IC 95%	Mediana (IQR)	Mín – Máx	Asim / Curt
Sub-13	Alineación del Cuerpo	0.70 $\pm$ 0.88	[0.39; 1.01]	0.5 (0.0–1.0)	0 – 3	1.31 / 1.35
Sub-13	Inclinación de Cabeza	2.37 $\pm$ 1.99	[1.65; 3.08]	2.0 (1.0–3.8)	0 – 7	0.52 / -0.53
Sub-13	Alineación de Hombros	1.23 $\pm$ 1.48	[0.70; 1.76]	1.0 (0.0–2.0)	0 – 5	1.22 / 0.87
Sub-13	Inclinación de Pelvis	1.27 $\pm$ 1.26	[0.82; 1.72]	1.0 (0.0–2.0)	0 – 4	0.68 / -0.47
Sub-13	Ángulo de Rodilla	2.37 $\pm$ 1.87	[1.70; 3.03]	2.0 (1.0–3.8)	0 – 8	0.89 / 1.27
Sub-13	Ángulo de Pies	3.23 $\pm$ 2.97	[2.17; 4.30]	3.0 (0.2–5.0)	0 – 11	0.76 / 0.00
Sub-15	Alineación del Cuerpo	0.33 $\pm$ 0.61	[0.12; 0.55]	0.0 (0.0–0.8)	0 – 2	1.69 / 1.96
Sub-15	Inclinación de Cabeza	1.20 $\pm$ 1.24	[0.76; 1.64]	1.0 (0.0–2.0)	0 – 5	1.09 / 1.39
Sub-15	Alineación de Hombros	0.93 $\pm$ 0.87	[0.62; 1.24]	1.0 (0.0–1.8)	0 – 3	0.47 / -0.68
Sub-15	Inclinación de Pelvis	2.17 $\pm$ 1.29	[1.71; 2.63]	2.0 (1.0–3.0)	0 – 5	0.50 / -0.05
Sub-15	Ángulo de Rodilla	2.37 $\pm$ 1.87	[1.70; 3.03]	2.5 (0.2–3.8)	0 – 6	0.14 / -1.07
Sub-15	Ángulo de Pies	3.27 $\pm$ 3.32	[2.08; 4.46]	2.0 (1.0–4.8)	0 – 13	1.84 / 3.35
Sub-17	Alineación del Cuerpo	0.97 $\pm$ 0.49	[0.79; 1.14]	1.0 (1.0–1.0)	0 – 2	-0.09 / 1.74
Sub-17	Inclinación de Cabeza	0.83 $\pm$ 0.70	[0.58; 1.08]	1.0 (0.0–1.0)	0 – 2	0.24 / -0.83
Sub-17	Alineación de Hombros	0.87 $\pm$ 0.57	[0.66; 1.07]	1.0 (1.0–1.0)	0 – 2	-0.03 / 0.21
Sub-17	Inclinación de Pelvis	1.07 $\pm$ 0.64	[0.84; 1.30]	1.0 (1.0–1.0)	0 – 3	0.79 / 2.28
Sub-17	Ángulo de Rodilla	3.00 $\pm$ 1.05	[2.62; 3.38]	3.0 (2.0–4.0)	1 – 5	0.38 / -0.55
Sub-17	Ángulo de Pies	0.93 $\pm$ 0.52	[0.75; 1.12]	1.0 (1.0–1.0)	0 – 2	-0.11 / 1.09



Reserva	Alineación del Cuerpo	0.60 ± 0.81	[0.31; 0.89]	0.0 (0.0–1.0)	0 – 3	1.30 / 1.22
Reserva	Inclinación de Cabeza	1.33 ± 1.52	[0.79; 1.88]	1.0 (0.0–2.0)	0 – 6	1.49 / 2.40
Reserva	Alineación de Hombros	1.00 ± 1.29	[0.54; 1.46]	0.0 (0.0–2.0)	0 – 4	0.94 / -0.55
Reserva	Inclinación de Pelvis	2.17 ± 1.53	[1.62; 2.72]	2.0 (1.0–3.0)	0 – 5	0.38 / -0.78
Reserva	Ángulo de Rodilla	1.67 ± 1.83	[1.01; 2.32]	1.0 (0.0–2.8)	0 – 6	1.12 / 0.39
Reserva	Ángulo de Pies	2.60 ± 2.08	[1.86; 3.34]	2.0 (2.0–3.0)	0 – 11	2.70 / 9.12

Nota. M=media; DE=desviación estándar; IC=intervalo de confianza; IQR=rango intercuartílico. Valores expresados en grados (°).

Figura 1. Distribución de las variables posturales APECS por categoría competitiva (N=120).



Fuente: elaboración propia

Las pruebas de Shapiro–Wilk aplicadas a las 24 combinaciones grupo × variable revelaron incumplimiento sistemático del supuesto de normalidad (todas las $p < 0,05$). Del mismo modo, la prueba de Levene detectó heterocedasticidad significativa en las seis variables ($p < 0,05$), lo que justificó el uso de pruebas no paramétricas (Tabla 3).

Tabla 3. Supuestos estadísticos — Shapiro–Wilk (síntesis) y Levene

Variable	S–W (rango W)	S–W $p < 0,05$ en	Levene W	Levene p
Alineación del Cuerpo	0.59–0.75	4/4 grupos	3.81	0.0121
Inclinación de Cabeza	0.80–0.92	4/4 grupos	7.44	0.0001
Alineación de Hombros	0.74–0.84	4/4 grupos	4.58	0.0046
Inclinación de Pelvis	0.74–0.93	4/4 grupos	7.28	0.0002
Ángulo de Rodilla	0.83–0.92	4/4 grupos	2.79	0.0434
Ángulo de Pies	0.69–0.91	4/4 grupos	8.15	0.0001

Nota. En ninguna de las 24 combinaciones se aceptó la hipótesis de normalidad. Levene con centro = mediana.

Tabla 4. Comparación entre categorías — Prueba de Kruskal–Wallis y tamaño del efecto

Variable	H (gl=3)	P	ϵ^2	Magnitud
Alineación del Cuerpo	17.18	<0,001	0.122	Medio
Inclinación de Cabeza	10.78	0.013	0.067	Medio
Alineación de Hombros	0.53	0.913	-0.021	Insignificante
Inclinación de Pelvis	17.39	<0,001	0.124	Medio
Ángulo de Rodilla	11.56	0.009	0.074	Medio
Ángulo de Pies	23.15	<0,001	0.174	Grande

Nota. ϵ^2 = epsilon cuadrado (Tomczak & Tomczak, 2014). gl = grados de libertad.

Como se observa en la Tabla 4, cinco de las seis variables presentaron diferencias estadísticamente significativas entre categorías. El ángulo de pies (A6) exhibió el mayor tamaño del efecto ($\epsilon^2=0,17$; $H=23,15$; $p<0,001$), seguido de la inclinación de pelvis ($\epsilon^2=0,12$) y la alineación del cuerpo ($\epsilon^2=0,12$). La alineación de hombros (A3) no mostró diferencias entre grupos ($H=0,53$; $p=0,913$), sugiriendo estabilidad de este segmento a lo largo del proceso formativo.

Tabla 5. Comparaciones por pares — Prueba de Dunn con corrección de Bonferroni (solo significativas)

Variable	Par comparado	Z	p (Bonferroni)	Diferencia
Alineación del Cuerpo	Sub-15 vs Sub-17	-4.07	<0,001	Sub-15 < Sub-17
Alineación del Cuerpo	Sub-17 vs Reserva	2.71	0.041	Sub-17 > Reserva
Inclinación de Cabeza	Sub-13 vs Sub-17	3.14	0.010	Sub-13 > Sub-17
Inclinación de Pelvis	Sub-13 vs Sub-15	-2.83	0.028	Sub-13 < Sub-15
Inclinación de Pelvis	Sub-15 vs Sub-17	3.33	0.005	Sub-15 > Sub-17
Inclinación de Pelvis	Sub-17 vs Reserva	-3.00	0.016	Sub-17 < Reserva
Ángulo de Rodilla	Sub-17 vs Reserva	3.40	0.004	Sub-17 > Reserva
Ángulo de Pies	Sub-13 vs Sub-17	3.86	<0,001	Sub-13 > Sub-17
Ángulo de Pies	Sub-15 vs Sub-17	3.88	<0,001	Sub-15 > Sub-17
Ángulo de Pies	Sub-17 vs Reserva	-4.04	<0,001	Sub-17 < Reserva

Nota. Solo se reportan contrastes con $p<0,05$ tras corrección de Bonferroni para 6 comparaciones por variable.

El análisis post-hoc (Tabla 5, Figura 2) identifica patrones diferenciados de desarrollo postural: (i) la Sub-17 presentó sistemáticamente los ángulos de pies y pelvis más reducidos, diferenciándose significativamente de Sub-13, Sub-15 y Reserva; (ii) la Sub-15 mostró mayor inclinación pélvica respecto de la Sub-13 ($p=0,028$), hallazgo consistente con la etapa del estirón puberal; (iii) el ángulo de rodilla fue mayor en Sub-17 que en Reserva ($p=0,004$), indicando que la consolidación final del miembro inferior ocurre durante el tránsito hacia el profesionalismo.

Figura 2. Perfil postural promedio (en grados) por categoría competitiva.



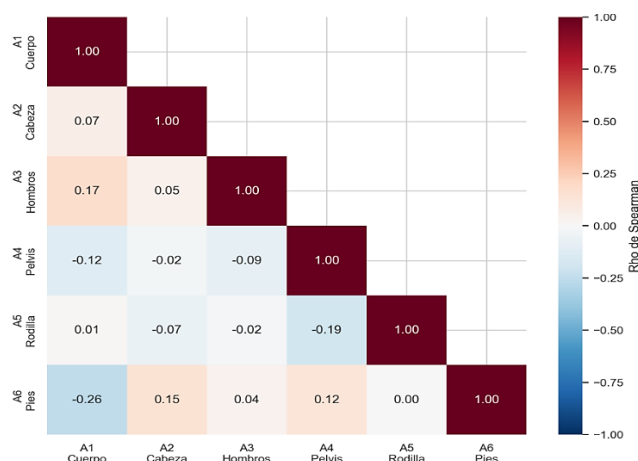
Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Correlaciones entre ángulos posturales — Coeficiente rho de Spearman (N=120)

Variable	Alineación del Cuerpo	Inclinación de Cabeza	Alineación de Hombros	Inclinación de Pelvis	Ángulo de Rodilla	Ángulo de Pies
Alineación del Cuerpo	—	0.07	0.17	-0.12	0.01	-0.26*
Inclinación de Cabeza	0.07	—	0.05	-0.02	-0.07	0.15
Alineación de Hombros	0.17	0.05	—	-0.09	-0.02	0.04
Inclinación de Pelvis	-0.12	-0.02	-0.09	—	-0.19*	0.12
Ángulo de Rodilla	0.01	-0.07	-0.02	-0.19*	—	0.00
Ángulo de Pies	-0.26*	0.15	0.04	0.12	0.00	—

Nota. * $p<0,05$. Coeficientes por encima y debajo de la diagonal son simétricos.

Figura 3. Matriz de correlaciones (Spearman) entre las seis variables posturales APECS.



Fuente: elaboración propia

La matriz de correlaciones evidencia asociaciones lineales débiles entre los ángulos evaluados (Tabla 6, Figura 3). La relación más robusta se observó entre la alineación del cuerpo y el ángulo de pies ($\rho = -0.26$; $p = 0.005$), sugiriendo que a mayor corrección global del eje postural se asocia una menor desviación del apoyo plantar. También se registró asociación negativa entre inclinación pélvica y ángulo de rodilla ($\rho = -0.19$; $p = 0.040$). Estos resultados apoyan la interpretación de cadenas cinéticas relativamente independientes en esta muestra.

Análisis multivariante exploratorio

Las técnicas que se reportan a continuación: análisis de componentes principales y agrupamientos multivariantes se presentan con un propósito estrictamente exploratorio y descriptivo, no confirmatorio. Su objetivo es ofrecer una lectura complementaria de la covariación entre los seis ángulos y de la heterogeneidad interna de la muestra. Los indicadores de ajuste obtenidos, que se reportan íntegramente, incluso cuando resultan modestos, deben leerse como evidencia de una estructura latente débil, propia de un fenómeno biomecánico en desarrollo y de una muestra transversal de tamaño limitado. En consecuencia, los hallazgos de esta sección no deben interpretarse como tipologías clínicas estables, sino como pistas para futuras investigaciones longitudinales y multiplanares (Hair et al., 2019).

Análisis de Componentes Principales (PCA)

Como primer paso exploratorio, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre los datos estandarizados (*z-score*) con el fin de visualizar la estructura de covariación entre las seis variables angulares. La adecuación muestral se verificó mediante la medida de Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO = 0.496$) y la prueba de esfericidad de Bartlett ($\chi^2(15) = 40.25$; $p = 0.0004$). El valor de KMO se sitúa en el límite inferior de aceptabilidad (Kaiser, 1974), lo que advierte que las variables comparten poca varianza común y que el PCA debe interpretarse como herramienta descriptiva, no como modelo factorial confirmatorio.

Tabla 7. Varianza explicada por componente principal

Componente	Eigenvalue	% varianza explicada	% acumulado
PC1	1.541	25.47	25.47
PC2	1.295	21.41	46.88
PC3	1.080	17.86	64.73
PC4	0.808	13.36	78.09
PC5	0.775	12.81	90.90
PC6	0.550	9.10	100.00

Nota. PC = componente principal. Los primeros cuatro componentes acumulan el 78,1 % de la varianza total; cinco componentes acumulan el 90,9 %.

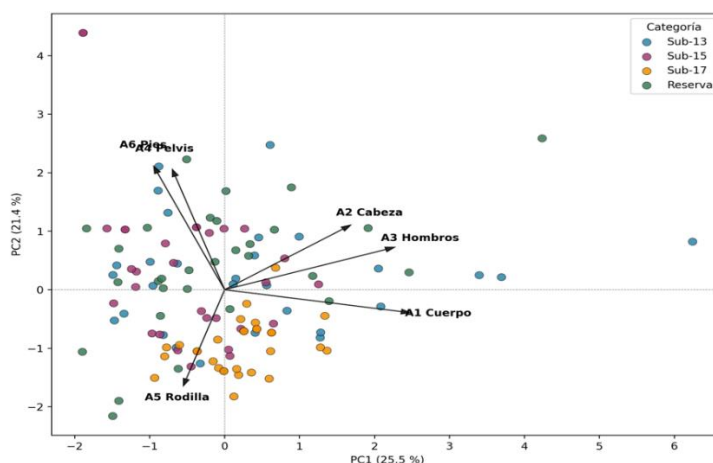
Como muestra la Tabla 7, la varianza se distribuyó de manera relativamente equilibrada entre los componentes (PC1: 25,5 %; PC2: 21,4 %; PC3: 17,9 %), lo que sugiere ausencia de una dimensión postural dominante y la coexistencia de varias cadenas cinéticas parcialmente independientes. La inspección de las cargas factoriales (Tabla 8, Figura 4) muestra que PC1 está saturado positivamente por la alineación del cuerpo (0,77), los hombros (0,71) y la cabeza (0,52), conformando una dimensión de alineación axial superior. PC2 contrasta la inclinación de la pelvis (0,64) y el ángulo de pies (0,66) frente al ángulo de rodilla (-0,51), configurando una dimensión de “estabilidad pélvica-podal”. PC3 expresa principalmente la variabilidad rodilla-pies.

Tabla 8. Cargas factoriales (correlación variable-componente) — PC1 a PC4

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Alineación del Cuerpo	0.77	-0.12	-0.23	0.34
Inclinación de Cabeza	0.53	0.34	0.45	-0.12
Alineación de Hombros	0.71	0.23	0.17	0.04
Inclinación de Pelvis	-0.22	0.64	-0.40	0.58
Ángulo de Rodilla	-0.17	-0.51	0.60	0.59
Ángulo de Pies	-0.30	0.66	0.53	0.01

Nota. Cargas obtenidas como producto de los autovectores por la raíz de los autovalores. Cargas $|\geq 0,40|$ en negrita conceptual.

Figura 4. Biplot PCA (PC1-PC2): proyección de los 120 jugadores con vectores de las seis variables posturales, codificados por categoría competitiva.



Fuente: elaboración propia

Exploración de perfiles posturales mediante clustering multivariante

Sobre los cinco primeros componentes principales (90,9 % de varianza acumulada) se aplicaron cuatro técnicas complementarias de agrupamiento, con el propósito exploratorio de examinar si la muestra presenta tipologías posturales internas distinguibles más allá de la categoría competitiva: (a) K-Means y agrupamiento jerárquico de Ward; (b) Fuzzy C-Means Bezdek (1981); (c) modelos de mezcla gaussiana (GMM) con selección por BIC; y (d) análisis arquetípico de Cutler y Breiman (1994). El uso de cuatro algoritmos con supuestos y criterios de validación distintos permite evaluar la robustez de los patrones recuperados; cuando los métodos divergen, interpretamos que la estructura subyacente es débil, no que un método sea superior a otro.

K-Means y clustering jerárquico de Ward

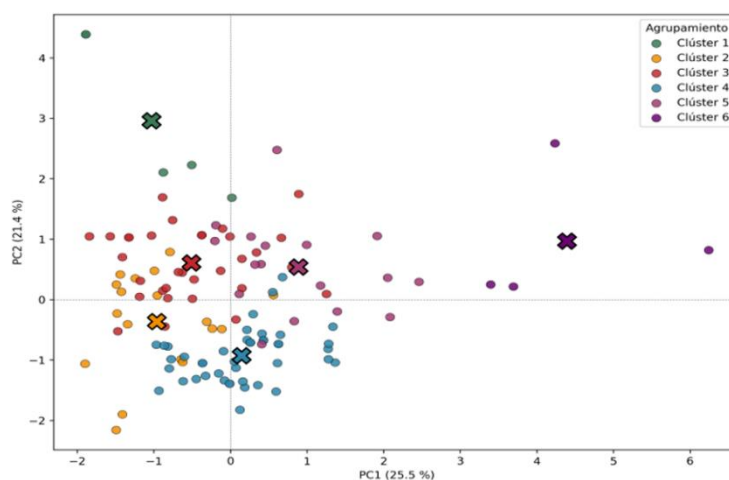
El número de clústeres se seleccionó maximizando el coeficiente de silueta sobre $k = 2 \dots 8$. El óptimo se alcanzó en $k = 6$ (silueta = 0.227; Calinski-Harabasz = 25.39; Davies-Bouldin = 1.279). Los valores absolutos de silueta son moderados ($\leq 0,25$), lo que indica clústeres con fronteras difusas y ausencia de una partición naturalmente separable, hallazgo coherente con la estructura latente débil revelada por el PCA (Tabla 9, Figura 5).

Tabla 9. Validación de K-Means (k = 2...8)

K	WCSS	Silueta	Calinski-Harabasz	Davies-Bouldin
2	544.06	0.197	23.96	1.960
3	452.70	0.218	26.08	1.576
4	387.03	0.219	26.72	1.457
5	347.27	0.221	25.44	1.373
6	313.16	0.224	24.85	1.275
7	284.75	0.223	24.46	1.312
8	265.47	0.201	23.45	1.233

Nota. WCSS = suma de cuadrados intra-clúster. k óptimo = 6 (silueta máxima).

Figura 5. Distribución de los seis clústeres K-Means en el plano PC1-PC2 (silueta media = 0,23). Las marcas X identifican los centroides.

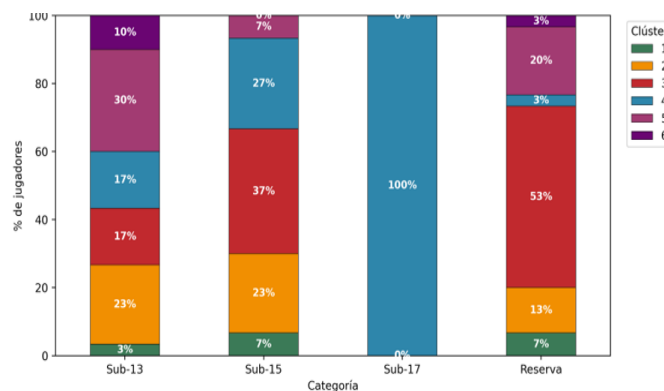


Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Centroides por clúster (K-Means, k = 6) en grados

Clúster	N	Alineación del Cuerpo	Inclinación de Cabeza	Alineación de Hombros	Inclinación de Pelvis	Ángulo de Rodilla	Ángulo de Pies
1	5	0.20	1.60	1.60	4.00	2.20	10.20
2	18	0.06	1.94	0.28	1.33	4.39	3.67
3	32	0.44	1.06	0.50	2.72	0.78	1.97
4	44	0.93	0.73	0.93	1.16	3.09	1.07
5	17	0.59	2.65	2.00	0.65	1.41	3.88
6	4	2.75	4.50	4.25	1.75	1.75	2.00

Nota. Centroides expresados en grados. Clústeres ordenados por puntuación postural media (1 = mejor alineación global; 6 = mayor desviación acumulada).

Figura 6. Composición de los seis clústeres K-Means por categoría competitiva ($\chi^2 = 91,25$; gl = 15; V de Cramer = 0,50; p < 0,001).

Fuente: elaboración propia

La asociación entre los clústeres K-Means y la categoría competitiva fue estadísticamente significativa y de magnitud grande ($V = 0,50$; $p < 0,001$). El clúster 4 ($n = 44$; perfil globalmente alineado) concentró la totalidad de los jugadores Sub-17 ($n = 30$) y agrupó también un número importante de Sub-15 ($n = 8$) y Sub-13 ($n = 5$), lo que confirma desde una perspectiva multivariante el patrón ya observado en los análisis univariantes: Sub-17 constituye el grupo postural más homogéneo y mejor alineado. En contraste, los clústeres minoritarios 1 ($n = 5$; pies muy desviados, $10,2^\circ$) y 6 ($n = 4$; cabeza/cuerpos marcadamente desalineados) reúnen perfiles atípicos distribuidos preferentemente entre Sub-13 y Reserva (Tabla 10, Figura 6).

Fuzzy C-Means

Para acomodar la naturaleza graduada del fenómeno postural los jugadores no se ajustan necesariamente a categorías rígidas, se aplicó Fuzzy C-Means con coeficiente de fuzzificación $m = 2,0$ y $c \in \{2, \dots, 6\}$. El criterio de Xie-Beni identificó $c = 2$ como solución óptima ($XB = 3.245$; coeficiente de partición = 0.543 ; entropía de partición = 0.647), configurando una división fundamental entre dos perfiles posturales gruesos (Tabla 11).

Tabla 11. Validación Fuzzy C-Means ($c = 2 \dots 6$)

C	Función objetivo J	Coef. partición (PC)	Entropía (PE)	Xie-Beni
2	326.24	0.543	0.647	3.245
3	217.31	0.374	1.040	516.832
4	162.94	0.285	1.324	377727.126
5	130.36	0.231	1.546	260243.781
6	108.63	0.196	1.722	53360.036

Nota. PC $\in [1/c, 1]$ (mayor = particiones más nítidas). PE ≥ 0 (menor = mejor). Xie-Beni: menor = mejor relación compactación/separación.

Tabla 12. Centroides Fuzzy C-Means ($c = 2$) en grados

Clúster	N	Alineación del Cuerpo	Inclinación de Cabeza	Alineación de Hombros	Inclinación de Pelvis	Ángulo de Rodilla	Ángulo de Pies
1	68	0.75	1.25	1.04	1.40	2.76	1.91
2	52	0.53	1.61	0.95	1.98	1.87	3.15

El primer clúster fuzzy ($n = 68$) presenta una rodilla más desviada ($M = 2,76^\circ$) y mejor alineación pélvica/podal, mientras que el segundo ($n = 52$) muestra el patrón inverso (rodilla más alineada, pero pies y pelvis más desviados). De los 120 jugadores, 32 (26,7 %) presentaron una pertenencia máxima inferior a 0,55, configurando un cinturón de casos ambiguos entre ambos perfiles. Este resultado refuerza la conclusión de que la frontera entre perfiles posturales es genuinamente difusa en esta población (Tabla 12).

Modelos de mezcla gaussiana (GMM)

Se ajustaron mezclas gaussianas con $k \in \{2, \dots, 8\}$ explorando cuatro estructuras de covarianza (full, tied, diag, spherical). Para preservar la interpretabilidad clínica se restringió la selección a $k \leq 5$ con un tamaño mínimo de clúster ≥ 3 jugadores. El óptimo por BIC resultó $k = 4$ con covarianza esférica (BIC = 1595.74; AIC = 1520.48) (Tabla 13).

Tabla 13. Validación GMM (selección por BIC)

K	Covarianza	BIC	AIC	Silueta
2	Esférica	1652.34	1616.10	0.444
3	Esférica	1623.99	1568.24	0.355
4	Esférica	1595.74	1520.48	0.068
5	Esférica	1607.95	1513.18	0.158
6	Esférica	1619.10	1504.82	0.122
7	Esférica	1588.81	1455.01	0.178
8	Esférica	1659.48	1506.17	0.121

Nota. k seleccionado restringido al rango interpretable ($k \leq 5$; tamaño mínimo ≥ 3).

Tabla 14. Centroides GMM ($k = 4$) en grados

Componente	N	Alineación del Cuerpo	Inclinación de Cabeza	Alineación de Hombros	Inclinación de Pelvis	Ángulo de Rodilla	Ángulo de Pies
1	2	-0.53	1.32	1.55	5.38	0.24	11.46



2	82	0.49	1.52	0.87	1.77	2.10	2.96
3	32	0.85	0.77	0.91	1.14	3.18	0.82
4	4	2.49	4.40	3.83	1.77	2.03	2.12

Nota. El componente 1 ($n = 2$) corresponde a perfiles atípicos persistentes que el GMM identifica de forma estable como mezcla independiente.

El GMM identifica una estructura de cuatro perfiles probabilísticos (Tabla 14): un componente mayoritario ($n = 82$) con desviaciones moderadas, un componente bien alineado ($n = 32$) concentrando los perfiles más sanos, y dos componentes minoritarios ($n = 4$ y $n = 2$) que aíslan jugadores con desviaciones globales severas. Este último hallazgo es metodológicamente relevante: la persistencia con la que el GMM separa estos casos atípicos en todos los valores de k explorados confirma su carácter de perfiles realmente extremos dentro de la muestra y sugiere su evaluación clínica individualizada.

Análisis arquetípico (Archetypal Analysis)

A diferencia de los métodos previos, que muestran patrones promedio, el análisis arquetípico de Cutler y Breiman (1994) identifica vértices extremos del espacio postural y representa a cada jugador como una combinación convexa de esos arquetipos. Esta perspectiva resulta clínicamente más informativa, ya que enfatiza los perfiles característicos en lugar de los centros de masa estadísticos (Tabla 15).

Tabla 15. Validación del análisis arquetípico (R^2 explicado)

k arquetipos	RSS	R^2 explicado	Iteraciones
2	569.28	0.209	44
3	395.92	0.450	30
4	294.85	0.590	68
5	242.49	0.663	41
6	190.05	0.736	68

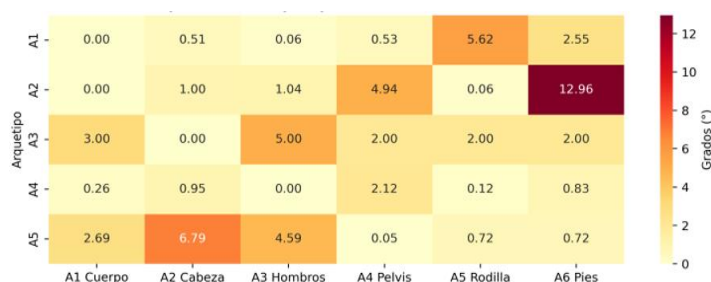
Nota. Selección por equilibrio entre interpretabilidad y $R^2 \geq 0,60$.

Tabla 16. Perfiles posturales arquetípicos ($k = 5$) en grados

Arquetipo	Alineación del Cuerpo	Inclinación de Cabeza	Alineación de Hombros	Inclinación de Pelvis	Ángulo de Rodilla	Ángulo de Pies
A1	0.00	0.51	0.06	0.53	5.62	2.55
A2	0.00	1.00	1.04	4.94	0.06	12.96
A3	3.00	0.00	5.00	2.00	2.00	2.00
A4	0.26	0.95	0.00	2.12	0.12	0.83
A5	2.69	6.79	4.59	0.05	0.72	0.72

Nota. Cada jugador se expresa como combinación convexa (suma=1, pesos ≥ 0) de los 5 arquetipos. R^2 del modelo = 0.663.

Figura 7. Perfiles posturales arquetípicos ($k = 5$): mapa de calor de los centroides en grados, mostrando los vértices extremos del espacio postural.



Fuente: elaboración propia

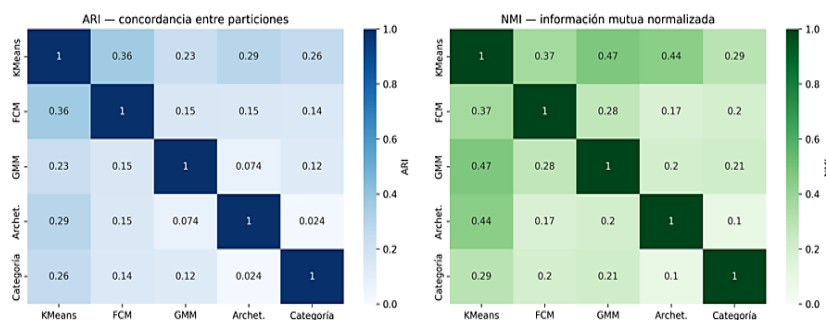
El modelo arquetípico con $k = 5$ alcanzó $R^2 = 0.663$, capturando los siguientes perfiles extremos: A1, perfil con marcado valgo/varo de rodilla aislado (5,6° de rodilla con resto alineado); A2, perfil con desviación pélvica y podal severa (12,9° en pies, 4,9° en pelvis); A3, perfil con desalineación de hombros y cuerpo combinada (5,0° en hombros, 3,0° en cuerpo); A4, arquetipo de alineación óptima global (todos los ángulos $< 2,2^\circ$); y A5, perfil con desviación dominante en cabeza y hombros (6,8° de cabeza, 4,6° de hombros). La asociación entre el arquetipo dominante y la categoría competitiva fue significativa ($\chi^2 =$

26,25; $gl = 12$; $p = 0,010$; $V = 0,27$), con la categoría Sub-17 prácticamente repartida entre los arquetipos A1 (rodilla) y A4 (alineación óptima) (Tabla 16, Figura 7).

Concordancia entre métodos de clustering

Para evaluar la robustez de la estructura recuperada se calcularon los índices ARI Rand ajustado de Hubert y Arabie (1985) y NMI (información mutua normalizada) entre todas las particiones obtenidas y la categoría competitiva. La Figura 8 sintetiza los resultados.

Figura 8. Concordancia entre las cuatro particiones de clustering y la categoría competitiva: índice de Rand ajustado (ARI) e información mutua normalizada (NMI).



Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Índice de Rand ajustado (ARI) entre métodos

	KMeans	FCM	GMM	Archet.	Categoría
KMeans	1.00	0.36	0.23	0.29	0.26
FCM	0.36	1.00	0.15	0.15	0.14
GMM	0.23	0.15	1.00	0.07	0.12
Archet.	0.29	0.15	0.07	1.00	0.02
Categoría	0.26	0.14	0.12	0.02	1.00

Nota. ARI = 1 indica acuerdo perfecto; ARI ≈ 0 indica acuerdo equivalente al azar.

El método K-Means presenta la mayor concordancia con la categoría competitiva (ARI = 0,26; NMI = 0,30), seguido por Fuzzy C-Means (ARI = 0,14) y GMM (ARI = 0,13). Los acuerdos mutuos entre métodos son moderados (KM-FCM: ARI = 0,36) o bajos (resto), confirmando que la muestra no posee una estructura latente fuerte sino más bien un gradiente continuo, una conclusión coherente con el bajo poder explicativo de los primeros componentes principales y con los modestos valores de silueta observados. En conjunto, los hallazgos sugieren que la categoría competitiva captura una parte sustancial, pero no la totalidad, de la variabilidad postural multivariante (Tabla 17).

Discusión

Al analizar la postura de los jóvenes futbolistas a través de las distintas categorías competitivas, se evidencia que el cuerpo no evoluciona de forma lineal con la edad. En lugar de una curva perfecta de alineación al crecer, se ve un escenario dinámico donde se juntan tres fuerzas: la maduración biológica, la acumulación de horas de entrenamiento con gestos repetitivos y el filtro competitivo del propio club (Sarracén-Legrá et al., 2024).

La categoría Sub-17 fue la que mostró los valores más equilibrados en casi todas las zonas analizadas (cabeza, hombros, pelvis y pies). Esto coincide con lo que mencionan Erdem y Akbaş (2020) sobre una especie de tregua en la postura que se suele lograr entre los 15 y 17 años. En este tiempo, la especialización técnica causa un ajuste en la postura que es temporal antes de llegar a la postura adulta definitiva.

Sin embargo, en el día a día de un club, este mejor perfil no surge de forma espontánea. En estas edades, el trabajo de preparación física y fuerza muscular se vuelve mucho más riguroso. El entrenamiento de

la zona media (*core*) y los ejercicios físicos de estabilidad empiezan a contrarrestar las asimetrías que provoca el patear, frenar o girar siempre con la misma pierna.

Ahora bien, no hay que dejar de lado un factor estructural real que afecta a cualquier cantera profesional: el sesgo de selección o supervivencia, lo que coincide con los postulados de Heckman (1979). La Sub-17 o la Reserva no son simplemente los mismos futbolistas de la Sub-13, pero más grandes. El tránsito de Sub-13 a Reserva no es la trayectoria del mismo grupo en el tiempo, sino el resultado de una mejora continua en la que los deportistas con mayores limitaciones biomecánicas tienden a no continuar en la cantera. Por lo tanto, esa mayor simetría en Sub-17 refleja tanto la eficacia del entrenamiento como este efecto de supervivencia, una ambigüedad que el diseño transversal del presente estudio no permite separar del todo.

Por otro lado, el caso de la rodilla merece una mirada aparte. Fue el único segmento que tuvo un cambio notable: la desviación en el plano frontal alcanzó su punto más alto en Sub-17 ($M = 3,00^\circ$) para luego caer drásticamente en Reserva ($M = 1,67^\circ$; $p = 0,004$). Este patrón sugiere una etapa de mayor exposición biomecánica durante la Sub-17, compatible con las observaciones de Muñoz-Cujar et al. (2023) y Afanador et al. (2022), quienes vinculan el incremento del ángulo frontal de rodilla a un mayor riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior. Que este ángulo se corrija al llegar a la Reserva indica que la transición al profesionalismo ofrece una ventana de consolidación neuromuscular favorable previa a un estadio mayor competitivo (Díaz-Cevallos y Álvarez-Álvarez, 2025). Esto respalda la importancia del entrenamiento propioceptivo y de fuerza muscular en esta etapa (Orrala-Benavides y Egas-Romo, 2025).

El ángulo de los pies mostró el mayor tamaño del efecto ($\varepsilon^2 = 0,17$) y permitió $\varepsilon^2 = 0.17$ diferenciar claramente a la Sub-17 del resto de categorías, lo cual refuerza la pertinencia del pie como marcador temprano de asimetría en cadenas cinéticas ascendentes (Campo-Ramírez et al., 2025). Por su parte, la ausencia de diferencias en la alineación de hombros ($H = 0,53$; $p = 0,913$) sugiere $p = 0.913$ que este segmento es estable a lo largo del proceso formativo y poco sensible al monitoreo comparativo, a diferencia de los ángulos de pelvis, rodilla y pies, que sí discriminan entre etapas.

Desde otro lado, la considerable variabilidad observada en la Sub-13 y Sub-15 explica muy bien lo que ocurre en el campo. Durante la transición de sub-13 a sub-15, que coincide con el estirón puberal, los huesos crecen más rápido de lo que el sistema nervioso puede procesar, provocando alteraciones temporales en el control motor. Exigir una postura simétrica en estas etapas es poco realista.

La causa de esta dispersión es variada: futbolistas que recién empiezan a entrenar de forma ordenada, desequilibrios propios del crecimiento y la falta de una base de fuerza estructural. Para los preparadores físicos, esto deja una lección clara: en las edades infantiles no sirven las recetas grupales; el trabajo preventivo debe adaptarse a lo que necesita el cuerpo de cada futbolista y no a la categoría en la que juega.

Por otro lado, el abordaje multivariado aportó una lectura complementaria a los análisis. El PCA reveló que la variabilidad postural se distribuye entre múltiples dimensiones independientes (PC1 explicó solo el 25,5 % y se requirieron cinco componentes para alcanzar el 90 %), descartando la existencia de un único factor postural global y apoyando la idea del cuerpo como un sistema de cadenas cinéticas semi-autónomas (Afanador et al., 2022).

La estructura factorial identificó tres dimensiones: alineación axial superior, estabilidad pélvico-podal y eje rodilla-pies. Además, la convergencia de cuatro técnicas de clustering (*K-Means*, *Fuzzy C-Means*, *GMM* y análisis arquetípico) evidenció que la frontera entre perfiles es genuinamente difusa (26,7 % de los jugadores presentaron pertenencias *fuzzy* inferiores a 0.55).

El análisis arquetípico aisló cinco perfiles posturales extremos (desviación aislada de rodilla, desviación severa pélvico-podal, desalineación combinada de hombros-cuerpo, alineación óptima global y desviación axial superior), respaldando el valor del cribado mediante APECS para detectar a los futbolistas heterogéneos que necesitan un trabajo especial de fuerza muscular antes de cargarlos con volúmenes altos de entrenamiento.

Es importante resaltar que los resultados de este estudio son viables para todas las instancias del club. Sin embargo, para los preparadores físicos y fisioterapeutas se convierten en una herramienta esencial de trabajo, pues les permite individualizar los ejercicios físicos preventivos en correspondencia con las divisiones funcionales detectadas en la presente investigación.



Limitaciones del estudio

Con los aportes del estudio, es necesario reconocer con transparencia sus fronteras metodológicas. En primer lugar, I) al tratarse de un diseño de corte transversal, las mediciones constituyen una instantánea en el tiempo que no permite confirmar relaciones de causa y efecto. Esto deja abierta la duda de si la mejor alineación observada en las etapas superiores se debe al desarrollo individual de los futbolistas o al filtro natural de selección del propio club.

Segundo lugar II) la evaluación se limitó al plano frontal. Aunque la aplicación APECS tiene herramientas para analizar la postura de perfil esencial para evaluar la inclinación pélvica o las curvaturas de la espalda y para registrar pruebas funcionales en movimiento, como la sentadilla profunda, estas opciones no se utilizaron en este protocolo por no ser objeto de estudio. Se suma a esto que la muestra proviene de un único club de Lima y de género masculino, por lo que hay que tener precaución al querer trasladar estos resultados a mujeres, a la primera división o academias formativas.

Tercer lugar III) al no incluir el seguimiento de lesiones o licencias médicas en el tiempo, la aplicación debe entenderse como un recurso rápido de filtrado inicial y no como una herramienta diagnóstica definitiva.

Conclusiones

La caracterización exploratoria del perfil postural de futbolistas peruanos en formación evidenció diferencias significativas entre categorías competitivas en cinco de los seis ángulos evaluados mediante APECS, con tamaños del efecto medios a grandes en pies, pelvis y alineación corporal. La categoría Sub-17 mostró la mejor alineación frontal global, aunque concentró el mayor ángulo de rodilla, marcador biomecánico que merece monitoreo específico.

La alineación de hombros se mantuvo estable a lo largo del proceso formativo. El análisis multivariante exploratorio reveló una estructura latente débil y fronteras difusas entre perfiles posturales, lo que sugiere un gradiente continuo más que tipologías discretas. En conjunto, estos resultados posicionan a la evaluación postural asistida por inteligencia artificial como una herramienta exploratoria de cribado, operativamente viable y replicable, cuyo valor para la toma de decisiones clínicas individuales exigirá futuras investigaciones longitudinales, validación contra patrones de referencia y vinculación con registros de lesión.

El perfil postural en el fútbol formativo peruano se transforma de manera no lineal a lo largo del desarrollo motor: la Sub-13 exhibe inestabilidad angular por falta de maduración y base de fuerza; la Sub-15 alcanza la mayor heterogeneidad debido a la reorganización sensoriomotora propia del estirón puberal; la Sub-17 logra la mejor alineación general por el fortalecimiento muscular y la selección del club, aunque abre una ventana de vulnerabilidad en la rodilla por el aumento de cargas unilaterales; y la Reserva consolida la estabilidad articular previa al profesionalismo gracias al entrenamiento neuromuscular adaptado. Estos hallazgos demuestran que segmentos como la pelvis, la rodilla y los pies a diferencia de los hombros son marcadores biomecánicos clave del crecimiento, lo que confirma el valor de la fotogrametría por IA (APECS) para el cribado masivo en canchas, exigiendo que los programas preventivos de fuerza no se prescriban de forma rígida por edades, sino ajustados al arquetipo postural de cada deportista.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima Perú, a las autoridades y deportistas futbolistas del club de fútbol de Lima.

Financiación

Este estudio fue financiado por la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima Perú.



Afiliación de los autores

Universidad San Ignacio de Loyola (Perú)

Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, (Chile)

Universidad Bolivariana del Ecuador (Ecuador)

Referencias

- Afanador, D. F., Gómez-Rodas, A., y Baena-Marín, M. (2022). Análisis cinemático del ángulo de proyección frontal de rodilla en 2D: Enfoque metodológico. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 11(3), 98–115. <https://doi.org/10.24310/ric-cafd.2022.v11i3.15370>
- Al Ardha, M. A., Jurasán, N., Nur, L., Chaeroni, A., Bikalawan, S. S., y Yang, C. B. (2024). Análisis de aplicaciones basadas en Android en educación física y deportes: Revisión sistemática. *Retos*, 57, 390–398. <https://doi.org/10.47197/retos.v57.107158>
- Arias-González, J. L., y Covinos-Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL
- Bezdek, J. C. (1981). *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Plenum Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0450-1>
- Campo-Ramírez, M. Á., Hernández-Oñate, G. E., y Calero-Saa, P. A. (2025). Características del pie y equilibrio dinámico en futbolistas juveniles colombianos. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 11(2), e2348. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v11.n2.2025.2348>
- Çankaya, M., y Taki, F. N. (2024). Comparison of postural assessment and awareness in individuals receiving posture training using the digital AI posture assessment and correction system. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 30(4), 1311–1317. <https://doi.org/10.1080/10803548.2024.2397836>
- Cutler, A., y Breiman, L. (1994). Archetypal analysis. *Technometrics*, 36(4), 338–347. <https://doi.org/10.1080/00401706.1994.10485840>
- Díaz-Cevallos, A. C., y Álvarez-Álvarez, M. G. (2025). Relación entre la composición corporal, el perfil fuerza-velocidad y las lesiones en futbolistas juveniles. *Revista Médica Electrónica*, 47, Artículo e6839.
- Erdem, E. U., y Akbaş, E. (2020). Postural differences between professional soccer players and sedentary population. *Science & Sports*, 35(2), 99.e1–99.e7. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.03.012>
- Guzmán-Muñoz, E., Alarcón-Rivera, M., Salazar-Orellana, C., Toro-Carrillo, A., Valdés-Badilla, P., Núñez-Espinosa, C., Hernández-Martínez, J., y Yáñez-Sepúlveda, R. (2025). Relación entre el equilibrio postural dinámico con el rendimiento de salto y esprint en futbolistas profesionales. *Retos*, 64, 697–707. <https://doi.org/10.47197/retos.v64.111568>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., y Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8.ª ed.). Cengage Learning
- Hasan, I. A., y Majeed, T. N. (2026). El impacto del aprendizaje móvil mediante la aplicación (Visual Eyes) en el aprendizaje de algunas habilidades con la pelota en gimnasia rítmica para estudiantes de segundo año. *Retos*, 81, 883–891. <https://doi.org/10.47197/retos.v81.119570>
- Heckman, J. J. (1979). Sample selection bias as a specification error. *Econometrica*, 47(1), 153–161. <https://doi.org/10.2307/1912352>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill
- Hubert, L., y Arabie, P. (1985). Comparing partitions. *Journal of Classification*, 2(1), 193–218. <https://doi.org/10.1007/BF01908075>
- Irfan, U., Asif, S., Mumtaz, M., Jamal, S., Khalid, F., Fatima, K., Nawaz, I., Sheikh, N., Rafique, H., y Aslam, I. (2024). Prevalence of poor body posture among physiotherapists using APECS. *Journal of Health and Rehabilitation Research*, 4(1), 1323–1327. <https://doi.org/10.61919/jhrr.v4i1.602>
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>



- Karbalaeimahdi, M., Minoonejad, H., Mousavi, S. H., y Rajabi, R. (2025). Photogrammetry-based smartphone applications for spinal posture assessment: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 16(1), 2885. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32708-1>
- Manescu, D. C. (2025). Inteligencia artificial en el entrenamiento deportivo de élite y perspectiva de su integración en el deporte escolar. *Retos*, 73, 128–141. <https://doi.org/10.47197/retos.v73.117261>
- Moudettir, Y., Ouhrir, S., y Lotfi, S. (2026). Ecosistema de seguimiento móvil sobre compromiso motor y rendimiento físico: Ensayo aleatorizado por conglomerados. *Retos*, 81, 1–16. <https://doi.org/10.47197/retos.v81.119074>
- Muñoz-Cujar, R. A., Urrego-Ortiz, A., y Rojas-Cabas, K. (2024). *Asociación del equilibrio dinámico y el desarrollo de lesiones de rodilla y tobillo en futbolistas de la ciudad de Valledupar* [Trabajo de grado, Universidad de Santander]. Repositorio Institucional UDES. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/c7b44874-250f-42e6-a601-c3a66ef61e91>
- Obërtinca, R., Hoxha, I., Meha, R., Lama, A., Bimbashi, A., Kuqi, D., Shabani, B., y Meyer, T. (2023). Efficacy of multi-component exercise-based injury prevention programs on injury risk among footballers of all age groups: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 53(4), 837–848. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01797-7>
- Orrala-Benavides, A. D., y Egas-Romo, S. R. (2025). Entrenamiento propioceptivo y rendimiento deportivo en el fútbol. *Revista Ciencias de la Educación y el Deporte*, 3(2), 553–564. <https://doi.org/10.70262/rced.v3i2.2025.149>
- Sarracén-Legrá, R., Noa-Cuadro, H., y Milán-Leyva, E. (2024). Concepción teórico-metodológica de identificación y detección de talentos en el fútbol de base. *Ciencia y Deporte*, 9(1), e218. <https://doi.org/10.34982/2223.1773.2024.V9.No1.008>
- Tomczak, M., y Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited: An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*, 21(1), 19–25.
- Villaquirán-Hurtado, A., Rivera-Rujana, D. M., Vernaza-Pinzón, P., y Portilla-Dorado, E. (2024). Controle postural estático e estabilidade do core em atletas de alto desempenho. *Revista Ciencias de la Salud*, 22(3), 1–19. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.12106>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Darvin Manuel Ramírez Guerra	dramirezg1978@gmail.com	Autor, traductor
Yusleidy Marlie Gordo Gómez	ymgordo1978@gmail.com	Autora
Maikel Yelandi Leyva Vazquez	myleyvav@ube.edu.ec	Autor
Joel Blanco Pérez	jblancop@usil.edu.pe	Autor
Giceya de la Caridad Maqueira Caraballo	gdmaqueirac@ube.edu.ec	Autora