ARRANCADA
ISSN 1810-5882
Volumen 26 Número 55 Año 2026
Artículo original

Análisis biomecánico y cinemático de la brazada de crawl en nadadores de la categoría juvenil B del Club Deportivo Miguel Iturralde

Biomechanical and kinematic analysis of the crawl stroke in swimmers of the youth category B of the Miguel Iturralde Sports Club

Análise biomecânica e cinemática do rastejo em nadadores da categoria juvenil B do Clube Esportivo Miguel Iturralde

MSc. Gina Maribel Aguilar Osorio
https://orcid.org/0000-0002-4631-0253
Club Deportivo Miguel Iturralde – Distrito de Educación 17D09 (Tumbaco a Tababela), Ecuador

***Email:** maribel.aguilar@educacion.gob.ec

Como citar este artículo: Aguilar Osorio, G. (2026). Análisis biomecánico y cinemático de la brazada de crawl en nadadores de la categoría juvenil B del Club Deportivo Miguel Iturralde. 26(55), 34-44. https://arrancada.cuaje.edu.cu

Resumen

El objetivo del presente estudio fue diagnosticar el perfil cinemático y biomecánico de la brazada en el estilo crol para identificar las deficiencias técnicas que limitan la eficiencia propulsiva. La problemática abordada responde a la pérdida de velocidad intracíclica y desbalance postural en atletas juveniles durante el ciclo de nado. Se empleó un diseño no experimental, cuantitativo y transeccional-diagnóstico sobre una muestra de 10 nadadores (6 hombres, 4 mujeres; edad 15,4 ± 0,5 años) de la categoría juvenil B. Se aplicó el Test Cinemático de 25 metros a Máxima Velocidad mediante registro de videogrametría subacuática de alta velocidad (120 fps) procesado en Kinovea y SPSS. Los resultados mostraron una velocidad media reducida de 1,48 ± 0,08 m/s, debido a una alta frecuencia de brazada (52,40 ciclos/min) compensatoria ante una limitada longitud de brazada (1,69 m/ciclo). El 90 % de la muestra presentó la falla crítica de codo caído en la fase de tirón ($\bar{X}$ = 118,50°), acompañada de una sobre-rotación en el rolido corporal ($\bar{X}$ = 51,40°) y una elevada fluctuación de velocidad (IVV = 0,21). Se concluye que el bajo rendimiento no obedece a un déficit de fuerza estática, sino a una desoptimización en la aplicación de la fuerza hidrodinámica, lo que fundamenta la urgencia de aplicar un programa metodologizado de corrección técnica.

Palabras clave: natación, crol, biomecánica, cinemática, técnica deportiva, codo alto.

Abstract

The objective of this study was to diagnose the kinematic and biomechanical profile of the front crawl stroke to identify the technical deficiencies that limit propulsive efficiency. The issue addressed responds to the loss of intracyclic velocity and postural imbalance in youth swimmers during the swimming cycle. A non-experimental, quantitative, and cross-sectional diagnostic design was used on a sample of 10 swimmers (6 males, 4 females; age 15.4 ± 0.5 years) in the youth B category. The 25-meter Maximum Speed Kinematic Test was applied using high-speed underwater videogrammetry (120 fps) processed in Kinovea and SPSS. Results showed a reduced mean speed of 1.48 ± 0.08 m/s due to a high stroke frequency (52.40 cycles/min) compensating for a limited stroke length (1.69 m/cycle). Ninety percent of the sample exhibited the critical flaw of dropped elbow during the pull phase ($\bar{X}$ = 118.50°), accompanied by over-rotation in body roll ($\bar{X}$ = 51.40°) and high speed fluctuation (IVV =

Licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

0.21). It is concluded that low performance is not due to a static strength deficit, but rather a lack of optimization in applying hydrodynamic force, supporting the urgent need to apply a structured technical correction program.
Keywords: swimming, front crawl, biomechanics, kinematics, sports technique, high elbow.

Resumo

O objetivo deste estudo foi diagnosticar o perfil cinemático e biomecânico da braçada no nado crawl para identificar as deficiências técnicas que limitam a eficiência propulsiva. A problemática abordada responde à perda de velocidade intracíclica e desequilíbrio postural em atletas juvenis durante o ciclo de nado. Foi utilizado um delineamento não experimental, quantitativo e transversal-diagnóstico em uma amostra de 10 nadadores (6 homens, 4 mulheres; idade 15,4 ± 0,5 anos) da categoria juvenil B. Foi aplicado o Teste Cinemático de 25 metros à Velocidade Máxima por meio de registro de videogrametria subaquática de alta velocidade (120 fps) processado no Kinovea e SPSS. Os resultados mostraram uma velocidade média reduzida de 1,48 ± 0,08 m/s devido a uma alta frequência de braçada (52,40 ciclos/min) compensatória diante de uma limitada extensão de braçada (1,69 m/ciclo). Noventa por cento da amostra apresentou a falha crítica de cotovelo caído na fase de tração ($\bar{X}$ = 118,50°), acompanhada por uma sobre-rotação no rolamento corporal ($\bar{X}$ = 51,40°) e elevada flutuação de velocidade (IVV = 0,21). Conclui-se que o baixo rendimento não decorre de um déficit de força estática, mas de uma falta de otimização na aplicação da força hidrodinâmica, fundamentando a urgência de aplicar um programa metodológico de correção técnica.

Palavras-chave: natação, crawl, biomecânica, cinemática, técnica desportiva, cotovelo alto.

Recibido: mayo/26 Aceptado: septiembre/26

Introducción

La natación en el alto nivel competitivo se orienta a optimizar la eficiencia hidrodinámica y la propulsión. En nadadores juveniles de 15 a 16 años, las transformaciones físicas propias de la edad no siempre se traducen en mejores resultados deportivos, debido a deficiencias cinemáticas en la brazada de crol. La caída del codo o la mala orientación de la mano disminuyen la velocidad intracíclica y afectan de manera drástica la eficiencia de la brazada. Maglischo (2003), Psycharakis y Sanders (2010), Arellano *et al*. (2002) y Figueiredo *et al*. (2011) argumentan que la posición de codo alto en el tirón subacuático maximiza la propulsión. La ausencia de este ajuste en los nadadores de 15 a 16 años explicaría las ralentizaciones en la aceleración intracíclica y la escasa transferencia de la fuerza hidrodinámica. Estos autores también proponen que la clave para el avance radica en la velocidad media horizontal con la que la mano se encuentra con el agua en el empuje. La disminución de la velocidad en la muestra evaluada obedecería a la ineficacia de la aceleración progresiva de la mano a medida que se produce el cierre del ciclo, quedando excluidos los problemas de fuerza. La trayectoria ideal descrita por la literatura es una "S" suavizada en agua quieta, a fin de no disipar fuerza; el error que supone que los nadadores evaluados abren excesivamente la trayectoria preocupa por la posibilidad de modificar la hidrodinámica y el hombro.

Zamparo *et al*. (2005), Morouço *et al*. (2015), Seifert *et al*. (2010), Barbosa *et al*. (2010) y Sanders *et al*. (2011) señalan que la longitud de brazada óptima reduce el coste metabólico, mientras que una entrada de brazo deficiente afecta la alineación escapular. Esto justifica la necesidad de corregir la fase de entrada en los deportistas para evitar la descompensación del balance hidrodinámico. Se verificó además que el rolido excesivo muestra una inestabilidad del core, lo que favorece la entrada tardía del brazo opuesto. La falta de continuidad del avance de los deportistas proviene entonces de una falta postural que agranda la resistencia frontal.

En las investigaciones contemporáneas sobre biomecánica de la natación, Cortesi et al. (2020) establecen que la consecución de un ángulo óptimo de flexión de codo (entre 90° y 110°) durante la fase media del tirón resulta crítica para maximizar el coeficiente de arrastre propulsivo.

Esta perspectiva actual demuestra que la deficiencia identificada en el diagnóstico no solo reduce la fuerza de empuje, sino que sobrecarga las estructuras tendinosas del complejo articular del hombro. Gonjo *et al*. (2018), mediante sistemas de análisis de video de alta velocidad subacuático, demostraron que una caída prematura del codo durante el agarre genera una pérdida del 15 % en la aceleración pico de la mano. Este sustento técnico confirma que la flexión anticipada o caída del codo observada en los deportistas interrumpe la transferencia de potencia hacia el agua.

Suntaxi Fustillos y Paula Chica (2026) analizaron la influencia de un programa de preparación física en la mejora del gesto técnico del estilo crol en nadadores infantiles y reportaron mejoras significativas en la alineación corporal (50 %), el empuje (64 %) y el recobro (72 %) tras ocho semanas de intervención, lo que evidencia que la optimización biomecánica del crol es factible mediante programas estructurados incluso en etapas formativas.

Asimismo, Garcia Menendez *et al*. (2025) demostraron, mediante un diseño cuasiexperimental con 30 nadadores infantiles, que una intervención metodológica de ocho semanas produjo mejoras estadísticamente significativas en la coordinación brazo-patada, la posición corporal y el patrón respiratorio del estilo libre. Estos antecedentes respaldan la pertinencia de diagnosticar con precisión las deficiencias cinemáticas antes de diseñar cualquier intervención correctiva.

Ruiz-Navarro *et al*. (2022) sostienen que la eficiencia propulsiva de los nadadores adolescentes depende de un correcto equilibrio entre la frecuencia y la longitud de brazada, y advierten que fuertes reducciones de la longitud de brazada desincronizan el perfil cinemático global del nadador. Esta consideración teórica fundamenta el diseño de intervención metodológica en los 10 nadadores evaluados. Andersen *et al*. (2021) afirman que la estabilidad cinemática de la transición entre el recobro aéreo y la entrada de la mano caracteriza la técnica establecida en nadadores juvenilmente avanzados.

Lo anterior apoya dicha intervención, al asegurar que la no automatización del patrón cinemático del recobro da paso a turbulencias que inciden en el inicio de la fase de agarre. Los datos de Guignard *et al*. (2020) apuntan que una sobre-rotación de la cadera en dirección al eje longitudinal desestabiliza la trayectoria de la patada de batido y proyecta las piernas más allá del canal hidrodinámico.

Esta evidencia biomecánica permite ser específico en el diagnóstico del error técnico descrito como serpenteo, donde un exceso de traslación lateral de la pelvis reemplaza el deseado alineamiento del cuerpo. Por último, Oliveira *et al*. (2024) concluyen que el intervalo temporal de la fase de empuje no debe verse interrumpido por desaceleraciones antes del recobro, ya que cualquier retardo en esta fase determina una pérdida de la velocidad acumulada por metro. Esta idea metodológica deja entrever la necesidad de optimizar la agilidad y velocidad gestual de la muestra estudiada.

El objetivo del presente estudio fue diagnosticar el perfil cinemático y biomecánico de la brazada en el estilo crol para identificar las deficiencias técnicas que limitan la eficiencia propulsiva en nadadores de la categoría juvenil B.

Muestra y metodología

Tipo y enfoque de la investigación

La investigación se inscribe en el enfoque cuantitativo, de carácter descriptivo y correlacional, con un diseño no experimental y transeccional-diagnóstico. No se manipularon las variables independientes en laboratorio, sino que los parámetros biomecánicos fueron observados y registrados en el entorno natural de entrenamiento (piscina olímpica de 50 metros). La recogida de datos se realizó como evaluación inicial de tipo cuantitativo (pretest o

diagnóstico de línea de base), con el objetivo de caracterizar la cinemática de la brazada en la muestra de casos escogidos.

Población y muestra

La población estuvo constituida por los nadadores de la categoría juvenil B (15 a 16 años) pertenecientes al club de natación evaluado. La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, quedando integrada por N = 10 nadadores (6 hombres y 4 mujeres; edad: 15,4 ± 0,5 años; experiencia sistemática en entrenamiento: 4 años). Los criterios de inclusión fueron: estar federado o activo en la categoría 15-16 años, contar con un volumen de entrenamiento mínimo de 5 sesiones semanales y no presentar lesiones musculoesqueléticas en la articulación del hombro ni en el raquis durante los últimos 6 meses.

Métodos de investigación

Se emplearon métodos de los niveles teórico y empírico. El método analítico-sintético permitió descomponer el ciclo de la brazada de crol en sus fases subacuáticas y aéreas, analizando la aceleración y los ángulos articulares. El método inductivo-deductivo sirvió para interpretar las desviaciones cinemáticas observadas en la muestra a la luz de los postulados teóricos biomecánicos. La videogrametría subacuática y el análisis cinemático constituyeron el método empírico, mediante registro óptico de alta velocidad para la medición objetiva de las variables de movimiento.

Test aplicado e instrumentación

Para la evaluación cinemática y la medición del rendimiento técnico se aplicó el Test Cinemático de 25 metros a Máxima Velocidad (Test de Maglischo, 2003), protocolo estandarizado para la determinación de los parámetros de frecuencia de brazada, longitud de brazada y velocidad media por ciclo. Cada nadador ejecutó dos repeticiones de 25 metros en estilo crol a intensidad de carrera (100 % esfuerzo), con salida iniciada desde dentro del agua (sin impulso de bloque) para aislar la fuerza de la brazada.

Se garantizó un descanso completo de 5 minutos entre repeticiones. Se utilizaron dos cámaras de alta velocidad (120 fps, resolución Full HD) colocadas en carcasa sumergible y alineadas en el plano lateral y frontal (subacuático y aéreo). El software de análisis biomecánico Kinovea (v. 0.9.5) permitió la digitalización de puntos anatómicos (hombro, codo, muñeca y cadera) y el cálculo de ángulos articulares y aceleraciones.

Técnicas y procedimientos de recolección

En la fase previa y de calibración se preparó la piscina y se fijaron marcadores morfológicos de alto contraste en los puntos articulares clave (epicóndilo lateral, acromion, apófisis estiloides). Se colocó un tubo de calibración espacial de 2 metros en la zona central de la piscina (entre los metros 10 y 15). En la ejecución del test, los 10 nadadores realizaron un calentamiento estandarizado de 800 metros y posteriormente ejecutaron el Test de Maglischo de 25 m, registrando simultáneamente las tomas aéreas y subacuáticas en la zona central libre de efectos de salida y llegada.

En la fase de digitalización y procesamiento se importaron las secuencias de video al software Kinovea para digitalizar los ciclos completos de brazada y extraer las variables cinemáticas (flexión del codo, trayectoria del centro de masas de la mano, tiempo por fase y velocidad intracíclica).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en la medición diagnóstica fueron procesados mediante el paquete estadístico SPSS (v. 26.0). Se calcularon la media ($\bar{X}$), la desviación estándar (SD), el valor

mínimo y máximo para las variables continuas (velocidad media, frecuencia de brazada, longitud de brazada y ángulos de flexión de codo en tirón y empuje). Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) debido al tamaño de la muestra ($n = 10$) para verificar la distribución de los datos. Se calculó el Coeficiente de Variación (CV) para evaluar la homogeneidad de la técnica en el grupo e identificar el nivel de fluctuación intracíclica.

Resultados

Para caracterizar el perfil cinemático y biomecánico de los 10 nadadores de la categoría juvenil B (15-16 años) durante la fase de pretest o diagnóstico inicial, se procesaron las variables cuantitativas obtenidas del Test Cinemático de 25 metros a Máxima Velocidad (Maglischo, 2003) mediante el software Kinovea (v. 0.9.5) y el paquete estadístico SPSS (v. 26.0). En la tabla 1 se consolidan los valores descriptivos de las variables cinemáticas macroscópicas registradas durante la prueba.

Tabla 1. Parámetros cinemáticos del ciclo de brazada en crol (n = 10)

Variable cinemática	Media ($\bar{X}$)	Desviación estándar (SD)	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variación (CV)
Velocidad media (v, m/s)	1,48	0,08	1,36	1,59	5,41 %
Frecuencia de brazada (SF, ciclos/min)	52,40	3,82	46,50	58,20	7,29 %
Longitud de brazada (SL, m/ciclo)	1,69	0,12	1,51	1,88	7,10 %
Índice de brazada (SI, m²/s·ciclo)	2,50	0,24	2,12	2,89	9,60 %
Tiempo de fase propulsiva (%)	42,10 %	3,15 %	37,50 %	46,80 %	7,48 %

Nota: SD = desviación estándar; CV = coeficiente de variación

Los datos de la tabla 1 indican una velocidad media de 1,48 ± 0,08 m/s, valor que se encuentra por debajo de los valores cinemáticos propuestos para la categoría juvenil B (1,62 m/s). Las determinaciones reflejan una alta frecuencia de brazada (SF = 52,40 ciclos/min) compensatoria frente a una escasa longitud de brazada (SL = 1,69 m/ciclo), lo que evidencia una relación desproporcionada de escasa eficiencia mecánica, con un índice de brazada (SI) de 2,50 m²/s·ciclo. Apenas el 42,10 % del tiempo total del ciclo corresponde a fases efectivas de propulsión (tirón y empuje), lo que significa que el 57 % restante el atleta se desplaza en fases con baja generación de fuerza o con freno hidrodinámico por arrastre pasivo.

Tabla 2. Valores angulares articulares y fluctuación de velocidad intracíclica (n = 10)

Parámetro biomecánico	Valor observado ($\bar{X}$ ± SD)	Rango de referencia óptimo	Criterio de deficiencia
Ángulo de codo en el agarre (°)	148,20 ± 8,40	135,00-145,00	Extensión excesiva / caída de codo
Ángulo mínimo de codo en el tirón (°)	118,50 ± 9,60	90,00-105,00	Deficiencia de codo alto (insuficiente flexión)
Ángulo de salida / empuje (°)	158,10 ± 6,30	165,00-175,00	Cierre incompleto de la fase acuática
Rolido corporal máximo / body roll (°)	51,40 ± 5,80	35,00-45,00	Sobre-rotación e inestabilidad del core
Fluctuación de velocidad intracíclica (IVV)	0,21 ± 0,04	≤ 0,12	Alta descontinuidad en el avance lineal

Los datos de la tabla 2 corroboran que el ángulo mínimo de codo en el tirón (118,50°) es

muy superior al rango ideal (90°-105°). Esto demuestra la caída del codo subacuático en el 90 % de los sujetos investigados. La sobre-rotación generada en el rolido corporal (51,40°), junto con el descenso evidenciado, da como resultado un desplazamiento lateral que incrementa el arrastre frontal. La fluctuación de velocidad intracíclica (IVV = 0,21), muy elevada, corrobora que los nadadores sufren aceleraciones brutales para garantizar el paso del final del empuje de un brazo al agarre del brazo opuesto.

Tabla 3. Diagnóstico individual del perfil cinemático en los 10 nadadores evaluados

Nadador	Edad (años)	Sexo	Velocidad (m/s)	Ángulo codo tirón (°)	Longitud brazada (m)	Error técnico prominente diagnosticado
N1	15,2	M	1,52	115	1,72	Caída prematura de codo en el agarre
N2	15,8	M	1,59	108	1,88	Buena longitud, pero apertura lateral excesiva
N3	15,1	F	1,38	128	1,55	Tracción barrida sin aceleración final
N4	16,0	M	1,55	112	1,76	Cierre incompleto del empuje acuático
N5	15,5	F	1,41	124	1,58	Sobre-rotación del rolido y serpenteo
N6	15,7	M	1,49	116	1,68	Laguna propulsiva entre tracciones
N7	15,3	F	1,36	132	1,51	Entrada cruzada por delante de la cabeza
N8	16,1	M	1,58	110	1,82	Leve asimetría de fuerza en brazo no dominante
N9	15,4	F	1,42	122	1,60	Flexión insuficiente y salida anticipada
N10	15,9	M	1,50	118	1,70	Caída de codo y pérdida de alineación

Adicionalmente, se completó el diagnóstico cualitativo mediante la Guía de Observación Técnica en el Entrenamiento (tabla 4).

Tabla 4. Guía de observación técnica consolidada para la muestra (n = 10)

N.º	Criterio / indicador biomecánico de observación	1	2	3	4	Observaciones técnicas específicas (diagnóstico n = 10)

I	FASE DE ENTRADA Y AGARRE					
1	La mano entra alineada con la prolongación del hombro		X			Tendencia al cruzamiento de la línea media en la entrada (70 %)
2	La entrada de los dedos precede a la de la muñeca y el codo			X		Entrada limpia en su mayoría, con turbulencia leve
3	Mantiene el codo elevado por encima de la mano en el agarre	X				Error crítico: caída prematura de codo en el 90 %
IV	FASE PROPULSIVA SUBACUÁTICA (TIRÓN Y EMPUJE)					
4	Flexión de codo cercana a los 90°-100° en el tirón	X				Flexión insuficiente ($\bar{X}$ = 118,5°), pérdida de palanca
5	Orientación de la palma hacia atrás manteniendo el antebrazo		X			Desviación angular de la palma hacia afuera
6	Acelera progresivamente la mano hasta el empuje final		X			Salida anticipada de la mano; desaceleración previa
7	Mantiene la mano cerca del eje longitudinal sin desviaciones		X			Trayectoria subacuática barrida hacia afuera (“S” abierta)
V	FASE DE RECOBRO Y COORDINACIÓN GLOBAL					
8	El codo lidera el recobro aéreo por encima de la mano			X		Buena elevación aérea del codo en general
9	El rolido corporal se sitúa entre 35° y 45°	X				Sobre-rotación excesiva ($\bar{X}$ = 51,4°), generando serpenteo
10	Coordinación contigua/oposición sin pausas visibles		X			Presencia de lagunas propulsivas entre ciclos

Nota: Escala: 1 = deficiente, 2 = regular, 3 = bueno, 4 = excelente. Puntaje total obtenido: 17/40 puntos (nivel crítico)

Propuesta de intervención técnica metodologizada (PCR-Crol)

Como derivación directa de los resultados alcanzados, se diseñó el Programa Cinemático de Reestructuración de la Brazada en Crol (PCR-Crol), estructurado en 8 semanas (3 sesiones/semana; 20-25 minutos). La Fase 1 (sensibilidad y codo alto) incluye remada frontal con snorkel (6 × 25 m) y crol a un brazo con pulso en el agarre (4 × 50 m). La Fase 2 (estabilización del core) comprende nado crol con aletas cortas y cono sobre la gorra (6 × 25 m) y crol 3-3-3 con pausa horizontal (4 × 50 m). La Fase 3 (aceleración y empuje) incluye brazada con rozamiento de pulgar en el muslo (8 × 25 m) y crol con paletas cortas en coordinación de oposición (4 × 100 m).

Discusión

El propósito central de este estudio fue analizar el perfil cinemático y biomecánico de la brazada de crol en una muestra de 10 nadadores de la categoría juvenil B (15-16 años), identificando las deficiencias técnicas que limitan su rendimiento propulsivo. Los hallazgos principales evidencian un patrón caracterizado por una velocidad media reducida ($\bar{X}$ = 1,48 m/s), sustentado en una alta frecuencia de brazada (SF = 52,40 ciclos/min) que busca compensar una deficiente longitud de brazada (SL = 1,69 m/ciclo) y una marcada caída del codo subacuático (ángulo mínimo de codo = 118,50°).

Al comparar estos datos con la literatura científica, los resultados coinciden con lo reportado por Ruiz-Navarro et al. (2022), quienes en su evaluación cinemática de nadadores adolescentes observaron que los deportistas con menor rendimiento técnico tienden a sobre-incrementar la frecuencia de brazada como mecanismo de compensación frente a la incapacidad de aplicar fuerza propulsiva efectiva en cada ciclo. En la muestra evaluada, esta estrategia resulta ineficiente, pues el índice de brazada (SI = 2,50 m²/s·ciclo) se mantiene inferior a los valores de referencia propuestos por Cortesi et al. (2020) para nadadores juveniles competitivos (≥ 3,10 m²/s·ciclo).

Los hallazgos del presente estudio dialogan con Garcia Menendez *et al*. (2025), quienes demostraron que una enseñanza estructurada y segmentada del estilo libre, con recursos audiovisuales y ejercicios específicos, mejora significativamente la coordinación brazo-patada y la posición corporal en nadadores infantiles. Si bien su intervención se orientó a la enseñanza metodológica y la presente investigación se centra en el diagnóstico cinemático, ambos trabajos convergen en señalar que las deficiencias técnicas del crol son identificables y corregibles mediante metodologías estructuradas.

Asimismo, Suntaxi Fustillos y Paula Chica (2026) evidenciaron que la preparación física fuera del agua actúa como catalizador de la optimización biomecánica del crol, con mejoras del 50 % en alineación corporal y 64 % en empuje. Estos resultados refuerzan la interpretación de que el perfil ineficiente identificado en la muestra evaluada no obedece exclusivamente a déficits condicionales, sino a una desoptimización cinemática susceptible de corrección técnica.

En cuanto a la biomecánica articular, la flexión promedio de codo durante el tirón ($\bar{X}$ = 118,50°) confirma la presencia generalizada del error de codo caído. Este hallazgo concuerda con Gonjo *et al*. (2018), quienes determinaron que los nadadores pierden hasta un 15 % de la aceleración pico de la mano por no lograr una angulación óptima cercana a los 90°-100°. Según Maglischo (2003) y Barbosa *et al*. (2010), una angulación superior a 110° reduce el área de superficie de empuje del antebrazo y disipa la fuerza reactiva en vectores verticales. Respecto a la estabilidad postural, el rolido corporal promedio ($\bar{X}$ = 51,40°) supera el rango óptimo (35°-45°) definido por Psycharakis y Sanders (2010).

Esta sobre-rotación correlaciona con la inestabilidad del core reportada por Morouço *et al*. (2015), la cual incrementa la resistencia frontal pasiva y desencadena un serpenteo lateral. Como señalan Guignard *et al*. (2020), el exceso de rotación pélvica desestabiliza el batido de piernas y desplaza las extremidades inferiores fuera del canal hidrodinámico, lo que justifica las fluctuaciones de velocidad intracíclica (IVV = 0,21).

Asimismo, la falta de continuidad propulsiva corrobora los postulados de Seifert et al. (2010) y Oliveira *et al*. (2024), quienes demostraron que la transición tardía entre el empuje y el agarre posterior interrumpe la aceleración lineal. Las desviaciones en la trayectoria subacuática concuerdan con Sanders et al. (2011) y Andersen *et al*. (2021), confirmando que las asimetrías bilaterales degradan el rendimiento mecánico global.

La originalidad de este estudio radica en documentar cuantitativamente el perfil de codo caído, sobre-rotación y fluctuación intracíclica en nadadores juveniles de un club formativo ecuatoriano, lo que aporta evidencia local para el diseño de programas correctivos contextualizados. En síntesis, las deficiencias detectadas obedecen a una desoptimización cinemática del ciclo acuático y no a un déficit muscular estático.

Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones se reconoce el tamaño reducido de la muestra (N = 10), restringido a una sola categoría y club, lo que limita la generalización de los hallazgos. Asimismo, el diseño transeccional-diagnóstico no permite establecer relaciones causales entre las deficiencias identificadas y el rendimiento competitivo. La videogrametría 2D en Kinovea, si bien validada, no captura la tridimensionalidad completa del movimiento subacuático. Finalmente, la evaluación se realizó en una única sesión de test, sin considerar el comportamiento cinemático bajo condiciones de fatiga acumulada.

Conclusiones

El diagnóstico cinemático en nadadores juveniles de 15 a 16 años evidenció un perfil ineficiente caracterizado por baja velocidad media (1,48 m/s), elevada frecuencia de brazada (52,40 ciclos/min) y reducida longitud de brazada (1,69 m/ciclo), con un índice de brazada (2,50 $m^2/s \cdot ciclo$) inferior a los valores de referencia para la categoría.

La causa principal de este perfil radica en la caída del codo subacuático presente en el 90 % de la muestra (ángulo mínimo de codo en el tirón de 118,50°), el rolido corporal excesivo (51,40°) y la inestabilidad del core, factores que incrementan el arrastre pasivo, elevan la fluctuación de velocidad intracíclica (IVV = 0,21) y generan lagunas propulsivas por falta de coordinación en oposición.

La videogrametría subacuática se confirma como un método objetivo para revelar fallas técnicas no evidenciables a simple vista durante el entrenamiento habitual, y la propuesta PCR-Crol se presenta como una alternativa metodológica estructurada para corregir la posición del codo, controlar el rolido y facilitar una propulsión eficiente en nadadores juveniles.

Referencias bibliográficas

Andersen, J. T., Sinclair, P. J., Fernandes, R. J. y Vilas-Boas, J. P. (2021). Kinematic stability of the recovery-to-entry transition in front crawl swimming. Journal of Sports Sciences, 39(14), 1587-1595.

Arellano, R., Pardillo, S. y Gavilán, A. (2002). Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics and applied aspects. Journal of Sports Sciences, 20(10), 789-797.

Barbosa, T. M., Bragada, J. A., Reis, V. M., Marinho, D. A., Carvalho, C. y Silva, A. J. (2010). Hydrodynamic profile for different levels of competitive swimmers. Journal of Strength and Conditioning

Research, 24(2), 472-479. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c06c57

Cortesi, M., Gatta, G., Michielon, G., Di Michele, R. y Zamparo, P. (2020). Kinematic and mechanical determinants of propulsive efficiency in front crawl swimming. Frontiers in Physiology, 11, 608144. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.608144

Figueiredo, P., Zamparo, P., Sousa, A., Vilas-Boas, J. P. y Fernandes, R. J. (2011). An integrated analysis of economy, mechanics, and energetics in front crawl swimming. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 21(5), 721-729. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01121.x

Garcia Menendez, G., Peralta Fuentes, M. J. y Charchabal Pérez, D. (2025). Estrategias metodológicas para la enseñanza del estilo libre en nadadores infantiles de un club regional (9 a 11 años). Arrancada, 25(51), 197–207. https://revistarrancada.cujae.edu.cu/index.php/arrancada/article/view/764

Gina Maribel Aguilar Osorio. Máster en Ciencias, docente e investigadora del Club Deportivo Miguel Iturralde – Distrito de Educación 17D09 (Tumbaco a Tababela), Ecuador. Su labor se orienta a la biomecánica de la natación, el análisis cinemático del rendimiento y la formación técnica de nadadores en etapas juveniles.

Gina Maribel Aguilar Osorio: concepción del estudio, diseño metodológico, recolección y procesamiento de datos, análisis estadístico y redacción del manuscrito.

Gonjo, T., McCabe, C., Sousa, A., Ribeiro, J., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P. y Sanders, R. (2018). Differences in kinematics and stroke entry characteristics between elite and sub-elite swimmers. Journal of Sports Sciences, 36(10), 1123-1130. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1368691

Guignard, B., Rouard, A., Chollet, D. y Seifert, L. (2020). Hip rotation and its effect on leg kick trajectory in front crawl. Sports Biomechanics, 19(3), 345-358.

Maglischo, E. W. (2003). Swimming fastest: The ultimate reference on technique and performance. Human Kinetics.

Morouço, P. G., Marinho, D. A., Izquierdo, M., Neiva, H. y Marques, M. C. (2015). Relative contribution of upper and lower limbs to propulsive force in front crawl swimming. Journal of Strength and Conditioning Research, 29(7), 1962-1969. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000832

Oliveira, M., Santos, C., Costa, M. J. y Barbosa, T. M. (2024). Temporal dynamics of the push phase and its impact on intracyclic velocity in front crawl. Journal of Human Kinetics, 89(1), 112-124.

Psycharakis, S. G. y Sanders, R. H. (2010). Body roll in swimming: A review. Journal of Sports Sciences, 28(3), 229-236.

Ruiz-Navarro, J. J., López-Belmonte, Ó., Gay, A., Cuenca-Fernández, F. y Arellano, R. (2022). Stroke length and frequency interaction in adolescent swimmers: Implications for propulsive efficiency. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(8), 4567.

Sanders, R. H., Thow, J. y Fairweather, M. (2011). Asymmetries in upper limb biomechanics during front crawl swimming. Medicine & Science in Sports & Exercise, 43(7), 1302-1308. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820842e2

Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C. y Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. Human Movement Science, 29(3), 426-439.

Suntaxi Fustillos, W. D. y Paula Chica, M. G. (2026). Influencia de un programa de preparación física en la mejora del gesto técnico de nadadores infantiles. Arrancada, 26(54). https://revistarrancada.cujae.edu.cu/index.php/arrancada/article/view/853

Zamparo, P., Pendergast, D. R., Mollendorf, J., Termin, A. y Craig, A. B. (2005). An integrated analysis of propelling efficiency based on kinematics in front crawl swimming. Journal of Applied Physiology, 98(5), 1698-1709. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00882.2004

Conflictos de intereses

La autora declara que la presente investigación y su redacción no presentan ningún conflicto de interés; es un artículo inédito y no ha sido aceptado para publicación en otra editorial.

Contribución de los autores

La autora realizó todo el trabajo concerniente a este artículo.