



VNIVERSITAT D VALÈNCIA



Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport

Programa de doctorado 3161 en Actividad Física y Deporte

ESTADO DE MADUREZ Y SU RELACIÓN CON LA APTITUD FÍSICA E INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Fernando Alvear Vásquez

Dirigida por:

Dr. José Francisco Guzmán Lujan

Dra. Rossana Gómez Campos

Dra. Ana Pablos Monzó

Valencia, julio de 2024.

Rosana Gómez Campos, Ana Pablos Monzó y José Francisco Guzmán Luján, profesores de la Universidad Católica de Maule (Chile), Universidad Católica de Valencia y Universitat de València,

Comunican al Departament d'Educació Física de la Universitat de Valencia el visto bueno para que Fernando Andrés Alvear Vásquez pueda realizar el depósito provisional de la tesis doctoral titulada "Estado de madurez y su relación con la aptitud física e indicadores antropométricos".

Para que así conste, firman la presente en Valencia a 05 de Julio de 2024.

Firmado digitalmente
porROSSANA ANELICE
GOMEZ CAMPOS
Fecha:2024-07-07
21:10+02:00

Firmado por ANA MARIA PABLOS MONZO
- NIF:44505896E el día 07/07/2024 con un
certificado emitido por ACCVCA-120

Fdo. Rosana Gómez Campos

Fdo. Ana Pablos Monzó

JOSE
FRANCISCO|
GUZMAN|LUJAN

Digitally signed by
JOSE FRANCISCO|
GUZMAN|LUJAN
Date: 2024.07.06
18:09:43 +02'00'

Fdo. José F. Guzmán Luján

Dedico esta tesis doctoral a mi pareja Daniela Bravo Agurto que me acompañó y apoyó frente a cada situación de este difícil desafío lejos de casa y seres queridos. A mi familia, mi madre Eliana Vásquez Pacheco y hermanos (Nicol, Dayana y Leandro Alvear Vásquez), quienes me han comprendido, dado fuerza, motivación y apoyó en todo este proceso de formación y experiencia de vida. De forma especial dedico este trabajo y el término de este proceso a mi padre José Mauricio Alvear Vásquez por todo lo que me entrego durante su vida, quién desde este año ya no se encuentra físicamente junto a mí y mi familia, con quién no podré compartir físicamente este logro, pero que desde el alma deseo compartir y dedicar a él, y que se sienta feliz y en paz con la meta cumplida de este gran desafío del cual formó parte junto a mi pareja, madre y hermanos.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. José Francisco Guzmán Lujan la tutorización de esta tesis doctoral, junto con la colaboración de la Dra. Rossana Gómez Campos y la Dra. Ana Pablos Monzó, quienes me otorgaron la confianza, el apoyo y orientación para superar las diferentes etapas y desafíos de esta tesis doctoral, quienes con su conocimiento y experiencia me han permitido terminar este trabajo y llegar a esta meta. Además, agradezco a los integrantes del Grupo de investigación GEISADE junto con las instituciones y participantes que formaron parte de cada estudio, permitiendo el éxito este trabajo, reflejado en el siguiente manuscrito final y en los estudios publicados, que fueron posibles gracias a la colaboración y ayuda de todos los involucrados.

Agradezco a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile por beca otorgada (ANID-PFCHA/Doctorado Becas Chile/2020- folio 72210418), que me permitió realizar programa de doctorado que culmina la presente tesis doctoral.

ÍNDICE

RESUMEN	17
RESUM	19
ABSTRACT	21
1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	25
1.2. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	31
1.2.1. Maduración biológica.....	31
1.2.2. Factores que influyen en la maduración biológica.....	32
1.2.3. Factores intrínsecos o genéticos.....	32
1.2.4. Factores ambientales o extrínsecos	34
1.2.5. Valoración de la maduración.....	38
1.3. JUSTIFICACION	55
2. OBJETIVOS.....	61
2.1. OBJETIVO GENERAL	61
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	61
3. ESTUDIO 1. APTITUD FÍSICA EN JÓVENES FUTBOLISTAS Y NO-FUTBOLISTAS POR EDAD CRONOLÓGICA Y ESTADO DE MADUREZ CHILENOS	
65	
3.1. RESUMEN	65
3.2. INTRODUCCIÓN	67
3.3. METODOLOGÍA.....	68
3.4. RESULTADOS	70
3.5. DISCUSIÓN	74
3.6. CONCLUSIÓN.....	75
3.7. REFERENCIAS.....	76
4. ESTUDIO 2. EL ÁREA DE LA SUPERFICIE CORPORAL ES UN PREDICTOR DEL ESTADO DE MADUREZ EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ESCOLARES	81
4.1. RESUMEN	81

4.2. INTRODUCCIÓN	83
4.3. METODOLOGÍA	84
4.4. RESULTADOS	87
4.5. CONCLUSIÓN.....	92
4.6. REFERENCIAS.....	93
5. ESTUDIO 3. CAMBIOS EN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL SEGÚN ESTADO DE MADUREZ EN ADOLESCENTES DE UNA REGIÓN DE CHILE DURANTE UN PERIODO DE 20 AÑOS.....	99
5.1. RESUMEN	99
5.2. INTRODUCCIÓN	101
5.3. METODOLOGÍA.....	102
5.4. RESULTADOS	104
5.5. DISCUSIÓN	107
5.6. CONCLUSIÓN.....	108
5.7. REFERENCIAS.....	109
6. LIMITACIONES, FORTALEZAS Y FUTURAS INVESTIGACIONES	117
7. CONCLUSIONES.....	121
8. REFERENCIAS	123
9. ANEXOS	137
ESTUDIO 1: “APTITUD FÍSICA EN JÓVENES FUTBOLISTAS Y NO-FUTBOLISTAS POR EDAD CRONOLÓGICA Y ESTADO DE MADUREZ CHILENOS”	137
ESTUDIO 2: “EL ÁREA DE LA SUPERFICIE CORPORAL ES UN PREDICTOR DEL ESTADO DE MADUREZ EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ESCOLARES”	147
ESTUDIO 3: “CAMBIOS EN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL SEGÚN ESTADO DE MADUREZ EN ADOLESCENTES DE UNA REGIÓN DE CHILE DURANTE UN PERIODO DE 20 AÑOS”	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los estadios de Tanner según sexo.....	46
Tabla 2. Características, ventajas y limitaciones de los indicadores de maduración.	48
Tabla 3. Porcentaje de estatura alcanzada según Bayle (1954).	50
Tabla 4. Ecuaciones originales para predecir la compensación de la madurez propuesta por Mirwald et al. (2002)	52
Tabla 5. Ecuaciones modificadas para predecir la compensación de la madurez propuesta por Moore et al. (2015).....	52
Tabla 6. Resumen de las características de los principales métodos de estimación de la maduración biológica y su adecuación al campo de estudio de las ciencias del deport.....	54
Tabla 7. Características antropométricas de la muestra estudiada.	71
Tabla 8. Relación entre desempeño físico con la edad cronológica y el estado de madurez	74
Tabla 9. Características antropométricas de niños y adolescentes categorizados por estado de madurez.....	87
Tabla 10. Modelos de regresión lineal y no-lineal entre el EM por ambos métodos con el ASC en niños y adolescentes de ambos sexos.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imágenes de radiografías de mano y muñeca izquierda del atlas de Greulich y Pyle...	40
Figura 2. Estadios de clasificación según el vello púbico en hombres.....	42
Figura 3. Estadios para la clasificación según el vello púbico en mujeres.....	43
Figura 4. Estadios de clasificación según genitales en hombres.	43
Figura 5. Estadios de clasificación según el desarrollo de los senos en las mujeres.....	44
Figura 6. Comparación del consumo máximo de oxígeno por edad cronológica y estado de madurez en futbolistas y no-futbolistas	72
Figura 7. Comparación del desempeño de del salto horizontal y la velocidad por edad cronológica y estado de madurez en futbolistas y no-futbolistas.	73
Figura 8. Relación no lineal y no lineal entre los valores del ASC con el EM determinado por medio de dos técnicas no-invasivas	89
Figura 9. Comparación del IMC en dos cohortes (1997 y 2017) según estado de madurez (APVC) en adolescentes de ambos sexos.....	106
Figura 10. Relación entre los valores del IMC con el estado de madurez (APVC) en adolescentes de ambos sexos.....	106

ABREVIATURAS

IMC: Índice de masa corporal

PVC: Pico de velocidad de crecimiento

APVC: Años de pico de velocidad de crecimiento

EPVC: Edad del pico de velocidad de crecimiento

EM: Estado de madurez

SH: Salto horizontal

ASC: Área de superficie corporal

RESUMEN

La maduración biológica es un proceso complejo que implica cambios fisiológicos y morfológicos en el cuerpo humano, siendo crucial en el desarrollo físico y funcional. Su manifestación cronológica respecto al tiempo, ritmo, intensidad y duración a lo largo de la pubertad son específicos para cada adolescente y pueden variar significativamente entre personas de una misma edad. Debido a estas variaciones interindividuales, se producen diferencias corporales y de desempeño físico, como en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia. Por ello, la estimación del estado de madurez, especialmente a través de métodos no invasivos como la antropometría, es fundamental en la evaluación de la aptitud y condición física junto con el desarrollo corporal y funcional de las personas, siendo aplicable en programas de acondicionamiento físico, entrenamiento deportivo, el desarrollo de la aptitud física y el control del estado de salud en niños y adolescentes.

La antropometría es sencilla, reproducible y económica, y proporciona valiosos indicadores de crecimiento, estado nutricional y maduración. Siendo estos relevantes para analizar los cambios en el desarrollo físico y el estado de salud de la población adolescente. En este contexto, a continuación, se presenta esta tesis doctoral por compendio de tres estudios de estimación del estado de madurez a través de la antropometría, su relación con la aptitud física y el análisis de indicadores antropométricos

Estudio 1: Su objetivo fue comparar el desempeño físico de jóvenes futbolistas vs escolares (no futbolistas) según edad cronológica y estado de madurez. Se efectuó un estudio descriptivo-comparativo en 139 jóvenes (62 futbolistas con $16,38 \pm 1,30$ años y 77 escolares con $16,35 \pm 1,45$ años). Se evaluó el peso, la estatura, la velocidad en 20 metros, el salto horizontal, y la prueba de aptitud aeróbica de Leger. Se calculó el índice de masa corporal (IMC), los años de pico de velocidad de crecimiento, y el $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y relativo. Como resultado los jóvenes futbolistas presentaron mayor $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y relativo, tanto por edad cronológica y estado de madurez. Hubo correlación positiva significativa ($p < 0.05$) entre la edad y los años de pico de velocidad de crecimiento con el $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y salto horizontal, y negativa con la velocidad en 20 metros. Se concluye que los futbolistas presentaron un mejor $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y relativo, salto horizontal y velocidad 20m en relación a los escolares, tanto por edad cronológica y estado de madurez, aunque, el desempeño físico se observa mejor por estado de madurez, especialmente en el $VO_{2\text{máx}}$ y en el salto horizontal.

Estudio 2: Su Objetivo fue determinar la relación entre el estado de madurez obtenido por métodos antropométricos no invasivos y el área de superficie corporal en niños y adolescentes de ambos sexos en una población regional de Chile. Además, verificar el tipo de relación lineal o no lineal entre el estado de madurez y el área de superficie corporal en ambos sexos. Se efectuó un estudio descriptivo (transversal) en 950 niños y adolescentes (539 hombres y 411 mujeres). La edad osciló entre 6,0 y 17,9 años. Se evaluó: peso corporal, estatura de pie y sentado. El estado de madurez se evaluó por técnicas antropométricas que predicen los años de pico de velocidad de crecimiento a través de una ecuación de regresión para cada sexo. El área de superficie corporal (m^2) se estimó mediante la ecuación de Haycock. En los resultados, el R^2 en el modelo lineal es relativamente menor ($R^2 = 0,80$ a $0,89$ en hombres y $0,74$ a $0,66$ en mujeres) en relación al modelo cuadrático no lineal ($R^2 = 0,81$ en hombres y $0,76$ a $0,69$). En conclusión, el área de superficie corporal se asocia positivamente con estado de madurez determinado mediante dos métodos no invasivos en niños y adolescentes chilenos. El modelo no lineal cuadrático se ajustó mejor a la distribución de datos. Los resultados sugieren el uso del área de superficie corporal como un posible predictor del estado de madurez en jóvenes chilenos.

Estudio 3: Su objetivo fue determinar si existen cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región del centro-sur de Chile durante un intervalo de 20 años. Se diseñó un estudio de cohorte en escolares de ambos sexos con edades entre los 11,0 y 17,0 años. La muestra estuvo compuesta por dos cohortes de escolares con selección de tipo probabilística (aleatoria): Año 1997 ($N = 939$ (471 hombres y 468 mujeres)) y año 2017 ($N = 1026$ (555 hombres y 471 mujeres)). Se evaluó el peso y estatura. Se calculó el IMC y el estado de madurez a partir de variables antropométricas. Como resultado, los adolescentes de ambos sexos de la cohorte 2017 evidenciaron mayor IMC en relación a sus contrapartes de 1997 ($p < 0,05$). No hubo diferencias significativas en el estado de madurez entre ambas cohortes ($p > 0,05$). La correlación entre el IMC y el estado de madurez en hombres aumentó de $r = 0,25$ ($r^2 = 0,062$) a $r = 0,27$ ($r^2 = 0,073$) en 20 años, mientras tanto, en mujeres fue de $r = 0,19$ ($r^2 = 0,036$) a $r = 0,26$ ($r^2 = 0,067$). En conclusión, este estudio verificó un aumento significativo en el IMC en todos los estados de madurez en adolescentes en un período de 20 años, con un incremento mayor en mujeres que en hombres.

Palabras clave: Estado de madurez, adolescencia, aptitud física, indicadores antropométricos

RESUM

La maduració biològica és un procés complex que implica canvis fisiològics i morfològics en el cos humà, sent crucial en el desenvolupament físic i funcional. La seua manifestació cronològica respecte al temps, ritme, intensitat i duració al llarg de la pubertat són específics per a cada adolescent i poden variar significativament entre persones d'una mateixa edat. A causa d'aquestes variacions interindividuals, es produeixen diferències corporals i de rendiment físic, com en estatura, pes, força, velocitat i resistència. Per això, l'estimació de l'estat de maduresa, especialment a través de mètodes no invasius com l'antropometria, és fonamental en l'avaluació de l'aptitud i condició física juntament amb el desenvolupament corporal i funcional de les persones, sent aplicable programes d'acondicionament físic, entrenament esportiu, el desenvolupament de l'aptitud física i el control de l'estat de salut en xiquets i adolescents.

L'antropometria és senzilla, reproducible i econòmica, aquesta proporciona valuosos indicadors de creixement, estat nutricional i maduració. Sent aquests rellevants per a analitzar els canvis en el desenvolupament físic i l'estat de salut de la població adolescent. En aquest context a continuació, es presenta aquesta tesi doctoral per compendi de tres estudis respecte a l'estimació de l'estat de maduresa a través de l'antropometria, la seua relació amb l'aptitud física i l'anàlisi d'indicadors antropomètrics.

Estudi 1: El seu objectiu va ser comparar el rendiment físic de joves futbolistes vs escolars (no futbolistes) segons edat cronològica i estat de maduresa. Es va efectuar un estudi descriptiu-comparatiu en 139 joves (62 futbolistes amb $16,38 \pm 1,20$ anys i 77 escolars amb $16,35 \pm 1,45$ anys). Es va avaluar el pes, l'estatura, velocitat 20 metres, salt horitzontal, i la prova d'aptitud aeròbica de Leger. Es va calcular l'índex de massa corporal (IMC), els anys de pic de velocitat de creixement, i el VO_{2max} absolut i relatiu. Com a resultat els joves futbolistes van presentar major VO_{2max} absolut i relatiu, tant per edat cronològica i l'estat de maduresa. Hi va haver correlació positiva significativa ($p < 0.05$) entre l'edat i els anys de pic de velocitat de creixement amb el VO_{2max} absolut i salt horitzontal, i negativa amb la velocitat de 20 metres. Es conclou que els futbolistes van presentar un millor VO_{2max} absolut i relatiu, salt horitzontal i velocitat 20m en relació als escolars, tant per edat cronològica i l'estat de maduresa, encara que, el rendiment físic s'observa millor per estat de maduresa, especialment en el VO_{2max} i en el salt horitzontal.

Estudi 2: El seu Objectiu va ser determinar la relació entre l'estat de maduresa obtingut per mètodes antropomètrics no invasius i l'àrea de superfície corporal en xiquets i adolescents de tots dos sexes en una població regional de Xile. A més, verificar el tipus de relació lineal o no lineal entre l'estat de maduresa i l'àrea de superfície corporal en tots dos sexes. Es va efectuar un estudi descriptiu (transversal) en 950 xiquets i adolescents (539 homes i 411 dones). L'edat va oscil·lar entre 6,0 i 17,9 anys. Es va avaluar: pes corporal, estatura de peu i assegut. L'estat de maduresa es va avaluar per tècniques antropomètriques prediu els anys de pic de velocitat de creixement a través d'una equació de regressió per a cada sexe. L' àrea de superfície corporal (m^2) es va estimar mitjançant l'equació de Haycock. En els resultats, el R^2 en el model lineal és relativament menor ($R^2 = 0,80$ a $0,89$ en homes i $0,74$ a $0,66$ en dones) en relació al model quadràtic no lineal ($R^2 = 0,81$ en homes i $0,76$ a $0,69$). En conclusió, l'àrea de superfície corporal s'associa positivament amb l'estat de maduresa determinat mitjançant dos mètodes no invasius en xiquets i adolescents xilens: El model no lineal quadràtic s'ajusta millor a la distribució de dades. Els resultats suggereixen l'ús d' àrea de superfície corporal com un possible predictor de l'estat de maduresa en joves xilens.

Estudi 3: El seu objectiu va ser determinar si existeixen canvis significatius en l'IMC segons l'estat de maduresa en adolescents d'una regió del centre-sud de Xile un interval de 20 anys. Es va dissenyar un estudi de cohort de tendència en escolars de tots dos sexes amb edats entre els 11,0 i 17,0 anys. La mostra va estar composta de dues cohorts d'escolars amb selecció de tipus probabilística (aleatòria): 1997 (939 (471 homes i 468 dones) i 2017 (1026 (555 homes i 471 dones))). Es va avaluar el pes i estatura. Es va calcular l'IMC i l'estat de maduresa a partir de variables antropomètriques. Com a resultat, els adolescents de tots dos sexes de la cohort 2017 van evidenciar major IMC en relació a les seues contraparts de 1997 ($p < 0,05$). No hi va haver diferències significatives en l'estat de maduresa entre ambdues cohorts ($p > 0,05$). La correlació entre l'IMC i l'estat de maduresa en homes va augmentar de $r = 0,25$ ($r^2 = 0,062$) a $r = 0,27$ ($r^2 = 0,073$) en 20 anys, mentre tant, en dones va ser de $r = 0,19$ ($r^2 = 0,036$) a $r = 0,26$ ($r^2 = 0,067$). En conclusió, aquest estudi va verificar un augment significatiu en l'IMC en tots els estats de maduresa en adolescents en un període de 20 anys, amb un increment major en dones que en homes.

Paraules clau: Estat de maduresa, adolescència, aptitud física, indicadors antropomètrics

ABSTRACT

Biological maturation is a complex process involving physiological and morphological changes in the human body, crucial for physical and functional development. Its chronological manifestation regarding time, rhythm, intensity, and duration throughout puberty is specific to each adolescent and can vary significantly between individuals of the same age. Due to these inter-individual variations, differences in body composition and physical performance, such as height, weight, strength, speed, and endurance, occur. Therefore, the estimation of maturity status, especially through non-invasive methods like anthropometry, is essential in assessing physical fitness and condition along with body and functional development in individuals, being applicable to physical conditioning programs, sports training, physical fitness development, and health status control in children and adolescents.

Anthropometry is simple, reproducible, and economical, providing valuable indicators of growth, nutritional status, and maturation. These are relevant for analyzing changes in physical development and health status in the adolescent population. In this context, this doctoral thesis by compendium presents three studies regarding the estimation of maturity status through anthropometry, its relationship with physical fitness, and the analysis of anthropometric indicators.

Study 1: Its objective was to compare the physical performance of young soccer players vs. schoolchildren (non-soccer players) according to chronological age and maturity status. A descriptive-comparative study was conducted on 139 young individuals (62 soccer players with 16.38 ± 1.20 years and 77 schoolchildren with 16.35 ± 1.45 years). Weight, height, 20-meter speed, horizontal jump, and the Leger aerobic fitness test were evaluated. Body mass index (BMI), years of peak height velocity, and absolute and relative VO_{2max} were calculated. As a result, young soccer players presented higher absolute and relative VO_{2max} , both by chronological age and maturity status. There was a significant positive correlation ($p < 0.05$) between age and peak height velocity with absolute VO_{2max} and horizontal jump, and a negative correlation with 20-meter speed. It is concluded that soccer players presented better absolute and relative VO_{2max} , horizontal jump, and 20m speed compared to schoolchildren, both by chronological age and maturity status, although

physical performance is observed to be better by maturity status, especially in VO_{2max} and horizontal jump.

Study 2: Its objective was to determine the relationship between maturity status obtained by non-invasive anthropometric methods and body surface area in children and adolescents of both sexes in a regional population of Chile. Additionally, to verify the type of linear or non-linear relationship between maturity status and body surface area in both sexes. A descriptive (cross-sectional) study was conducted on 950 children and adolescents (539 males and 411 females). Age ranged between 6.0 and 17.9 years. The following were evaluated: body weight, standing and sitting height. maturity status was assessed by anthropometric techniques that predict peak height velocity through a regression equation for each sex. body surface area (m^2) was estimated using the Haycock equation. In the results, the R^2 in the linear model is relatively lower ($R^2 = 0.80$ to 0.89 in males and 0.74 to 0.66 in females) compared to the non-linear quadratic model ($R^2 = 0.81$ in males and 0.76 to 0.69). In conclusion, body surface area is positively associated with maturity status determined by two non-invasive methods in Chilean children and adolescents: The quadratic non-linear model fitted the data distribution better. The results suggest the use of body surface area as a possible predictor of maturity status in Chilean youth.

Study 3: Its objective was to determine if there are significant changes in BMI according to maturity status in adolescents from a central-southern region of Chile over a 20-year interval. A cohort study was designed in schoolchildren of both sexes aged between 11.0 and 17.0 years. The sample consisted of two probabilistically (randomly) selected cohorts of schoolchildren: 1997 (939 (471 males and 468 females) and 2017 (1026 (555 males and 471 females)). Weight and height were evaluated. BMI and maturity status were calculated from anthropometric variables. As a result, adolescents of both sexes in the 2017 cohort showed higher BMI compared to their 1997 counterparts ($p < 0.05$). There were no significant differences in maturity status between the two cohorts ($p > 0.05$). The correlation between BMI and maturity status in males increased from $r = 0.25$ ($r^2 = 0.062$) to $r = 0.27$ ($r^2 = 0.073$) in 20 years, while in females it was from $r = 0.19$ ($r^2 = 0.036$) to $r = 0.26$ ($r^2 = 0.067$). In conclusion, this study verified a significant increase in BMI in all maturity states in adolescents over a 20-year period, with a greater increase in females than in males.

Keywords: Maturity status, adolescence, physical fitness, anthropometric indicators.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La maduración biológica es un proceso complejo que implica cambios fisiológicos y morfológicos, involucrando fenómenos de crecimiento y diferenciación celular, durante el progreso hacia la estatura biológicamente madura (Malina et al., 2009; Verdugo, 2015). Este proceso varía entre los sistemas esquelético, reproductivo, somático, neuromuscular, neuroendocrino, dental, entre otros (Malina et al., 2019)

Al hablar de maduración es importante también referirse al concepto de crecimiento, ya que ambos forman parte relevante del desarrollo de todas las personas, siendo fundamentales en el proceso de paso de la adolescencia al estado adulto y maduro. Por un lado, el crecimiento se refiere al aumento en el número y tamaño de las células que componen los diversos tejidos del organismo desencadenando el aumento del tamaño corporal, cambios en las proporciones y la composición corporal junto con los sistemas específicos asociados con el tamaño corporal (Malina et al., 2004, 2019). También se define como la secuencia de modificaciones somáticas que sufre un organismo biológico, explicado por el aumento del número o tamaño de las células que componen sus diversos tejidos (Gómez-Campos et al., 2016). En este contexto, el crecimiento se focaliza en los cambios físicos relacionados con la composición, tamaño y proporciones corporales, mientras que la maduración es un proceso que involucra una mayor cantidad de fenómenos tanto organizacionales, fisiológicos y funcionales que permiten lograr el estado maduro en una persona.

Los factores que influyen en el crecimiento físico y el proceso de maduración son el resultado de una combinación e interacción de factores genéticos y ambientales. Se considera que la velocidad y el patrón de crecimiento, tanto a nivel individual como en una población, son el resultado de la interacción entre la predisposición genética y la calidad ambiental (Fernández et al., 2007). Si bien la genética tiene un alto control sobre el crecimiento y la maduración, también se debe considerar que, si estuvieran completamente determinados por los genes, los cambios o patrones serían más predecibles. En tanto, existen factores externos que pueden alterar la forma en que se manifiestan los genes, que regulan el crecimiento y la maduración. Por ello, además del factor genético, se encuentran

factores ambientales como la nutrición, la condición socioeconómica, la actividad física, y la tendencia secular, entre otros (Campa y Greco, 2022; Fernández et al., 2007; Gómez-campos et al., 2013,2016; Güemes-Hidalgo et al., 2017; Rikhasor et al., 1999).

El desarrollo madurativo no necesariamente se presenta en el mismo tiempo cronológico entre las personas, pudiéndose encontrar diferentes estados de madurez en adolescentes de la misma edad, entendiendo que el estado de madurez es el nivel o estado de maduración de una persona al momento de su evaluación (Malina et al., 2005). Al respecto, también se vincula el término de edad biológica identificada como la edad de un individuo determinada por los procesos de maduración y por influencias exógenas, siendo posible encontrar diferentes edades biológicas entre personas de la misma edad cronológica (Cumming et al., 2011; Lopes-Machado y Barbanti, 2007), entendiendo que la edad cronológica es el tiempo que transcurre desde el nacimiento hasta el momento en que se requiere su estimación (día de medición) (Gallahue,1989; Lloyd et al., 2014). Los grupos establecidos por edad cronológica no tienen en cuenta la variación interindividual de la madurez biológica, donde la extensión, el tiempo y el ritmo de manifestación pueden diferir mucho entre personas de una misma edad (Cumming et al., 2017; Lloyd et al., 2016; Meylan et al., 2010). Por estas variaciones interindividuales adquiere suma relevancia la evaluación y valoración de la maduración y su manifestación en cada persona. Como ejemplo, se conoce que niños o adolescentes que están avanzados en la madurez tienden a desempeñarse mejor en tareas que requieren fuerza, potencia y velocidad en comparación con sus pares de la misma edad, pero con maduración promedio y/o tardía (Malina et al., 2004; Tanner, 1962).

En este contexto, controlar el estado de madurez adquiere vital importancia en el diseño de programas de acondicionamiento físico, en el entrenamiento deportivo y en el desarrollo de la aptitud física de jóvenes deportistas y no deportistas (Granacher et al., 2016Meylan et al., 2010; Lloyd et al., 2014;). Resaltando que entre jóvenes de una misma edad existen diferencias corporales y de desempeño físico, como en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia (Malina et al., 2015; Malina y Bouchard,1991; Mccloy, 1934) A la vez, durante la adolescencia y producto de los cambios corporales, existen potenciales causas de mayor riesgo de lesiones, entre ellas el rápido crecimiento del cuerpo durante el pico de velocidad de altura y los cambios en la longitud y masa de las extremidades, los

momentos de inercia (Adirim y Cheng, 2003; Johnson et al., 2022) y la composición corporal (Canhadas et al., 2010). Bajo este contexto, en vista de que la edad cronológica podría no ser el indicador más preciso para analizar el desempeño físico, uno de los estudios que se incluye en esta tesis por compendio de artículos, supone que el estado de madurez podría ser un mejor indicador para el control de la aptitud física en jóvenes deportistas y no deportistas.

En los últimos años se ha observado una amplia preocupación entre los investigadores sobre el uso de los indicadores de maduración biológica en niños y adolescentes de diversas poblaciones del mundo (Cossio-Bolaños et al., 2021ab; Gillison et al., 2017; Koziel y Malina, 2018; Weber et al., 2022). Estos indicadores permiten identificar acontecimientos o etapas reconocibles en los cambios continuos que se producen durante el proceso de maduración (Cameron y Bogin, 2012). En este sentido, la estimación y monitorización de la maduración entendiéndola como el progreso hacia la madurez dentro de cada sistema biológico, puede evaluarse en términos de estado (nivel de maduración en la edad cronológica de observación), momento (edad cronológica en el que ocurren eventos específicos de maduración) y tempo (tasa en que progresa la maduración) (Malina et al., 2015, 2019). Para su control, han surgido diferentes indicadores, entre los principales se encuentran: 1) La maduración sexual a través de la observación del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, esto permite clasificar en función del estadio de maduración sexual en que se encuentre el niño o niña (Marshall & Tanner, 1969, 1970); 2) la maduración esquelética por medio de la observación del desarrollo esquelético durante entre la niñez y la adultez, permitiendo valorar la edad esquelética a partir de las características óseas (Greulich y Pyle, 1959; Tanner et al., 1975); y 3) la maduración somática, basada en el grado de crecimiento de la estatura general o de dimensiones específicas del cuerpo (Lloyd, et al., 2014).

Un indicador que adquiere cada vez más popularidad es la maduración somática basada en mediciones antropométricas. Ésta, se focaliza en la medición del nivel de crecimiento general de la estatura corporal o en dimensiones específicas del cuerpo de una persona (Lloyd et al., 2014). Dentro de la maduración somática se han utilizado diferentes métodos para la estimación del estado y/o el momento de madurez, pasando por la interpretación de curvas de crecimiento, velocidad del pico de crecimiento y uso de

porcentajes y proyección de la estatura adulta (Lloyd et al., 2014; Malina et al., 2019). En este sentido, la maduración somática a través de la técnica de la antropometría se ha convertido en un importante indicador de maduración, ya que otorga ciertas ventajas en la estimación de la madurez al presentarse como un indicador no invasivo, de menor coste y más práctico (Colyer et al., 2020; Gomez-Campos et al., 2013; Malina et al., 2021) en comparación con los indicadores clásicos como la maduración esquelética y sexual que se han identificado como invasivos, costosos y poco prácticos en los entornos aplicados (Colyer et al., 2020; Malina et al., 2021; Thurlow et al., 2021) como puede ser el ámbito escolar y/o deportivo

En consecuencia, en los últimos años han ido surgiendo técnicas no invasivas que permiten predecir los años a partir de la velocidad de la altura máxima (un valor de compensación de la madurez) mediante el uso de variables antropométricas, como el peso, la estatura de pie, estatura sentada y longitud de las piernas (diferencia entre estatura y estatura sentada) (Mirwald et al., 2002), y el peso y estatura de pie (Moore et al., 2015). Ambas técnicas han sido utilizadas ampliamente en diversos estudios con el propósito de categorizar el estado de madurez en niños y adolescentes (Cossio-Bolaños et al., 2021b; Drenowatz y Greier, 2018; Hogan et al., 2022; Koziel y Malina 2018). Sin embargo, hasta donde se sabe, no se han encontrado nuevos estudios que hayan probado e identificado otros indicadores antropométricos que permitan predecir el estado de madurez en niños y adolescentes.

En ese contexto, se destaca que el área de superficie corporal ha sido utilizada ampliamente para estimar el tamaño corporal y estandarizar parámetros fisiológicos desde principios del siglo XX en adultos (Du Bois y Du Bois, 1916; Meeh, 1879) y en niños (Boyd, 1935; Mosteller, 1987). Por lo general el área de superficie corporal cambia significativamente en la etapa del crecimiento y maduración con el transcurso de la edad, ya que aumenta de $0,2 \text{ m}^2$ al nacer a $1,73 \text{ m}^2$ en la edad adulta, junto con la maduración de la función de los órganos (Feber y Krásničanová, 2012). Estos incrementos durante la etapa del crecimiento y la maduración biológica hacen presagiar una posible relación entre el tamaño corporal determinado por el área de superficie corporal con el estado de madurez en niños y adolescentes. Al respecto, se presenta un segundo estudio para determinar la relación entre el estado de madurez obtenido por métodos antropométricos no invasivos con

el indicador antropométrico del área de superficie corporal en niños y adolescentes de ambos sexos de una población regional de Chile. Adicionalmente, se buscó verificar el tipo de relación, lineal o no lineal, entre el estado de madurez y el área de superficie corporal, en ambos sexos.

En este contexto, la antropometría se presenta como una herramienta importante en la valoración de la maduración. Esta se define como una técnica que permite expresar cuantitativamente la forma del cuerpo a partir de las dimensiones y proporciones corporales externas (Tanner, 1981). Permite, a través de las mediciones corporales de las personas, identificar y comprender las variaciones físicas humanas (Ehrampoush et al., 2017). Esta técnica proporciona importantes indicadores de crecimiento físico y estado nutricional (Gibson, 2005), así como la predicción del estado de madurez (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015). Su relevancia recae en que es un método sencillo, reproducible, accesible y económico (Geraldo et al., 2018). En este sentido, la antropometría permite establecer patrones de vigilancia del crecimiento, desarrollo y maduración de niños y adolescentes (Gómez-Campos et al., 2013,2016). Globalmente permite reflejar el estado general de salud, la adecuación de la dieta, monitorización del crecimiento y desarrollo a lo largo del tiempo (Fryar et al., 2016). El uso de indicadores antropométricos clásicamente ha sido la piedra angular de la vigilancia nutricional en niños, adolescentes y adultos (Lelijveld et al., 2022). Por ello, las mediciones antropométricas clásicas, como la altura y el peso corporal, se utilizan ampliamente como componentes de medida de la forma corporal (Hwaung et al., 2020). De hecho, la medición del peso y la estatura es una práctica común y fundamental en el ámbito de la salud pública, pediatría y la nutrición clínica, especialmente en adolescentes (Madden y Smith, 2016). La combinación de estas dos medidas se refleja en índices antropométricos como el índice de masa corporal (IMC) e Índice tri-ponderal (ITP), cuyas medidas sirven para evaluar la adiposidad corporal en los distintos grupos de edad (Khoshhali et al., 2020). Estas medidas proporcionan una forma cuantitativa de evaluar el estado de salud y pueden ser útiles para analizar los cambios a lo largo del tiempo. El IMC, al relacionar el peso con la estatura, proporciona una categorización general del estado ponderal de una persona y se utiliza ampliamente como herramienta de detección para identificar posibles problemas de peso, como el sobrepeso y la obesidad (Khanna et al., 2022).

En esencia, es alentador saber que se han realizado varios estudios en diferentes regiones geográficas del mundo para investigar los cambios seculares del tamaño corporal e indicadores antropométricos en niños y adolescentes. Estos estudios son de gran importancia ya que proporcionan información valiosa sobre las tendencias en el crecimiento y desarrollo físico de la población juvenil a lo largo del tiempo (Freedman et al., 1997; Guimarey et al., 2014; Kimm et al., 2001; Nagel et al., 2009;), sin embargo, hasta donde se sabe son nulos los estudios que analicen estos patrones según el estado de madurez, considerando que esta variable es relevante en el proceso de desarrollo de niños y/o adolescentes. Por ello, se necesita información sobre estas tendencias para analizar los cambios positivos y/o negativos que se han producido con el paso del tiempo. En este sentido, algunos estudios efectuados en Chile en los últimos años han reportado una transición nutricional extremadamente rápida (Albala et al., 2001; Mujica-Coopman et al., 2020; Vio et al., 2008) y consecuentemente, elevadas prevalencias de obesidad (GBD et al., 2017). Dada esta situación es razonable esperar un incremento de IMC considerable dentro de las últimas décadas en Chile. Posibles diferencias podrían reflejar tanto cambios en los patrones de alimentación y estilo de vida como en las políticas de salud pública implementadas a lo largo del tiempo.

En consecuencia, se presenta un tercer artículo donde, a través de un estudio longitudinal de tendencia, que considera adolescentes evaluados en 1997 y 2017 en Chile, se busca determinar si existen cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región del centro-sur de Chile en un intervalo de 20 años.

Englobando los apartados anteriores, esta tesis doctoral presenta como objetivo general determinar la relación del estado de madurez con la aptitud física, el área de superficie corporal y su utilización en el estudio de la tendencia del IMC en niños y/o adolescentes chilenos.

1.2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

1.2.1. Maduración biológica

La maduración biológica es un proceso que se produce a través de cambios fisiológicos y morfológicos (Malina et al., 2009). Es un periodo de desarrollo físico y de cambio en las funciones fisiológicas del cuerpo (Nazem y Sazvar, 2015) que se manifiesta a través de un conjunto de fenómenos de crecimiento y diferenciación celular que contribuyen a la aparición de determinadas funciones del organismo (Verdugo, 2015). A su vez, es el progreso hacia la estatura biológicamente madura, que varía entre los sistemas esquelético, reproductivo, somático, neuromuscular, neuroendocrino, dental, entre otros (Malina et al., 2019).

Al hablar de maduración, ésta se debe diferenciar del concepto de crecimiento. Ambos forman parte de los procesos que experimenta una persona con el transcurso de su vida, pero el crecimiento se refiere al aumento en el número y tamaño de las células que componen los diversos tejidos del organismo desencadenando en el aumento del tamaño corporal, cambios en las proporciones y la composición corporal junto con los sistemas específicos asociados con el tamaño corporal. (Malina et al., 2004, 2019). Por lo tanto, el crecimiento se focaliza en los cambios físicos relacionados con la composición, tamaño y proporciones corporales, mientras que la maduración es un proceso que involucra una mayor cantidad de factores y fenómenos que permiten lograr el estado maduro, siendo la etapa final de una serie de cambios físicos, fisiológicos, de composición corporal (masa grasa, masa ósea, masa muscular), entre otros (Baxter-Jones et al., 2005); ya que todos los tejidos, órganos y sistemas del cuerpo maduran, pero lo hacen en diferentes momentos y tasas (Malina et al., 2015) durante el proceso madurativo.

Las primeras aproximaciones científicas en la materia del crecimiento y la maduración se registran entre los años 1948 a 1970 con los trabajos de J.M. Tanner, quien investigó en la localidad de Harpenden, Inglaterra, el crecimiento de los niños desde la edad preescolar hasta la madurez. Dichos trabajos, en primera instancia, no presentaron el interés del ámbito de la fisiología y la medicina. Sin embargo, años más tarde su contribución sería considerada por la pediatría, endocrinología, epidemiología, historia y economía (Tanner, 1962).

La maduración presenta variaciones, pudiéndose encontrar diferentes estados en adolescentes de la misma edad cronológica. El estado de madurez se define como el nivel o estado de maduración de una persona al momento de su evaluación (Malina et al., 2005). Del mismo modo, se deriva el termino de edad biológica siendo esta la edad de un individuo definida por los procesos de maduración y por influencias exógenas, siendo posible encontrar diferentes edades biológicas entre individuos de la misma edad cronológica (Cumming et al., 2011; Lopes-Machado y Barbanti, 2007). En este sentido, se acuña el término de edad biológica que se entiende como la edad de una persona definida por los procesos de maduración y por influencias exógenas, siendo posible encontrar diferentes edades biológicas entre personas de una misma edad cronológica (Cumming et al., 2011; Lopes-Machado & Barbanti, 2007). La edad cronológica es el tiempo que transcurre desde el nacimiento hasta el momento en que se requiere su estimación (día de medición) (Gallahue, 1989; Tineo et al., 2006) estableciendo como unidad de medida solo el tiempo transcurrido, mientras que la edad biológica considera el desarrollo madurativo del sujeto para su estimación.

1.2.2. Factores que influyen en la maduración biológica

Los principales factores que influyen en la maduración se pueden clasificar en dos grupos, los de origen genético (herencia) y los ambientales, que interactúan entre sí (Gesell, 1933; Thomis y Towne, 2006). Si bien existe una relación recíproca entre la herencia y el ambiente, son los factores biológicos o genéticos los que ejercen un alto control en el desarrollo (Gómez-Campos et al., 2013). En este sentido, la maduración está controlada por factores genéticos o intrínsecos y por factores ambientales o extrínsecos que modifican, estimulan y contribuyen al desarrollo madurativo (Gesell, 1933; Gómez-Campos et al., 2013).

1.2.3. Factores intrínsecos o genéticos

El concepto de herencia genética se asocia a la carga de material genético que los progenitores entregan a su descendencia desde un punto de vista morfológico y fisiológico (Guillen y Linares, 2002). En este sentido se ha reportado que la talla final adulta, el ritmo o tempo de maduración en el proceso de crecimiento, y la maduración sexual, esquelética y dental están modulados por factores de herencia genética, con una transmisibilidad que

varía entre el 41% y el 71% (Tanner, 1989). Inclusive un estudio, ha estimado que el componente genético en la variación del momento puberal, utilizando una evaluación del cambio en la altura relativa, es del 86% en las niñas y del 82% en los niños, y que se repetían los mismos factores genéticos que intervenían en un 30% y un 49%, en las niñas y niños respectivamente (Wehkalampi et al., 2008)

A modo de ejemplo, se ha dado a conocer que, en igualdad de condiciones ambientales, los descendientes de africanos presentan su estirón puberal aproximadamente un año antes que los europeos. A la vez, en los asiáticos se produce también antes que los europeos, pero después que los africanos (López de Blanco et al., 2021). Se atribuyen estas diferencias poblacionales a factores genéticos que interaccionan con los factores ambientales. Debido a esta diversidad entre las poblaciones se dificulta utilizar una sola referencia para evaluar la normalidad del crecimiento y maduración. (López de Blanco et al., 2021). En la misma línea, un estudio reportó en una muestra de 8739 niños y niñas con un promedio de edad de 9,78 ($\pm 0,3$) años de ascendencia europea, asiática y africana, que el proceso de maduración esquelética fue mayor para todos aquellos de etnia asiática y africana respecto a los niños europeos, tanto en varones como mujeres, indicando que esto se explica en parte por un componente genético (Grgic et al., 2020).

A nivel hormonal, durante la infancia y la etapa previa a la pubertad, la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y las gonadotropinas hipofisarias (LH y FSH) están suprimidas debido a la inhibición activa de la secreción de GnRH. Se ha comprobado que las neuronas que producen GnRH son capaces de secretar esta hormona de manera pulsátil, autorrímica y sin depender de estímulos externos. No obstante, la magnitud de los pulsos de secreción de GnRH, cuyo aumento es característico en el inicio de la pubertad, está controlada por la influencia de señales tanto estimulantes (sistema glutaminérgico, noradrenérgico, dopaminérgico y las kisspeptinas) como inhibitoras (sistema gabaérgico y los opiáceos endógenos) que actúan en el hipotálamo. La secreción de GnRH también está influenciada por la interacción entre las neuronas productoras de GnRH y las células gliales circundantes, así como por el sistema nervioso central (Güemes-Hidalgo et al., 2017; Guillén, 2015; Lomniczi et al., 2015; Ojeda et al., 2010). Si bien los elementos que controlan la actividad del eje hipotalámico-pituitario-gonadal y que modulan el momento de la pubertad aún son difíciles de precisar, es evidente que parte de esta regulación está

determinada por factores genéticos. Se ha establecido que la variabilidad del inicio del momento puberal presenta un alto grado de heredabilidad (Eaves et al., 2004; Mustanski et al., 2004; Van den Berg et al., 2006), sin importar como se mida el momento puberal estas variaciones se les atribuye a los genes tanto en hombres como en mujeres (Corley et al., 2015).

1.2.4. Factores ambientales o extrínsecos

Las variaciones en el crecimiento físico y el proceso de maduración son resultado de una combinación de factores genéticos y ambientales. Se considera que la velocidad y el patrón de crecimiento, tanto a nivel individual como en una población, son el resultado de la interacción entre la predisposición genética y la calidad ambiental (Fernández et al., 2007). Es un hecho que los individuos, sin importar su grupo de pertenencia, comparten una gran similitud en su composición genética, por lo que, si el crecimiento y la maduración estuvieran completamente determinados por los genes, los cambios o patrones serían más predecibles. Se ha demostrado que los factores externos pueden alterar la forma en que se manifiestan los genes que regulan el crecimiento, desarrollo y maduración (Fernández et al., 2007; Güemes-Hidalgo et al., 2017; Rikhasor et al., 1999). Entre estos factores extrínsecos se encuentra la nutrición, la actividad física, la condición socioeconómica y la tendencia secular.

Nutrición

El estado nutricional produce un impacto en el inicio de la pubertad. Se ha observado que los niños con desnutrición crónica y condiciones médicas que afectan la absorción de nutrientes suelen experimentar un retraso en el inicio de la pubertad, por esta razón se postula que la notable reducción en la edad de la menarquía en el caso de las niñas en comparación a épocas anteriores se atribuye a una mejora en la calidad de la alimentación (DiVall y DiBlasi, 2018). El metabolismo y la reproducción se relacionan estrechamente, debido a las señales periféricas que informan del estado nutricional del organismo al cerebro. En este sentido, se ha relacionado la obesidad con el adelanto puberal y la desnutrición con el retraso puberal (Güemes-Hidalgo et al., 2017; Kaplowitz, 2008).

En relación con el sobrepeso, en un estudio reciente en Brasil se observó una disminución de las edades medias en las etapas de maduración sexual a partir de los 5 años

en niños con sobrepeso, especialmente en niñas (Matsuo et al., 2022), lo cual concuerda con lo reportado en China, donde las niñas con sobrepeso y obesidad tenían edades medias más bajas en casi todas las etapas del desarrollo del vello púbico y mamario en comparación con las niñas con peso normal, una tendencia también presente en aquellas con obesidad central (Lian et al., 2019).

Por otro lado, la desnutrición severa, por ejemplo, en el caso de la anorexia nerviosa, puede detener el proceso de desarrollo puberal y provocar un deterioro en la flexibilidad cognitiva y la memoria de trabajo (Scharner y Stengel, 2019). También la nutrición previa de los padres y durante la infancia influye en la forma puberal (Norris et al., 2022). La obesidad materna antes de la concepción predice el inicio temprano de la pubertad en la descendencia (Brix et al., 2019). Asimismo, los niños amamantados durante 6 meses o más presentan un inicio puberal más tardío que los que no (Aghaee et al., 2019).

En conclusión, la nutrición es un factor relevante a considerar, ya que durante la infancia y la adolescencia temprana impacta sobre el momento y la forma en que se produce la pubertad, con los consiguientes efectos sobre el crecimiento lineal, la composición corporal y la maduración de los sistemas.

Actividad física

Realizar actividad física de forma regular promueve un crecimiento normal y mantiene la integridad de los tejidos (Gomez-Campos et al., 2016), por ejemplo, la mejora de la resistencia ósea durante los años de crecimiento (Forwood et al., 2006). A pesar de esto, se han señalado en la literatura los posibles efectos negativos derivados del entrenamiento excesivo en los jóvenes, debido a los riesgos vinculados con una práctica intensa y poco preparada (García-Ubaque et al., 2014), lo cual también podría interferir en el crecimiento y la maduración. (Cooper, 1994).

Dentro de la literatura es importante mencionar que no existe un consenso claro respecto a la influencia de la práctica sistemática de ejercicio físico como modificador del ritmo de maduración (Albaladejo-Saura et al., 2022) por lo menos de forma directa. En esta línea, se ha indicado que la actividad física deportiva puede considerarse como el estímulo que desencadena una serie de mecanismos, principalmente neurohormonales, que intervienen en los procesos de maduración ósea (García et al., 1981) y que el estrés

psíquico y físico de algunos deportes es capaz de modificar los patrones de desarrollo morfológico y estructural de los niños en crecimiento (Strauss, 1979). Por ejemplo, se ha reportado una baja estatura y la maduración tardía en las gimnastas artísticas atribuido a menudo a los efectos del entrenamiento intensivo de gimnasia desde una edad temprana (Malina et al., 2013). Por otro lado, algunos autores han concluido o mencionado que no existe evidencia de que la práctica sistemática y continuada de ejercicio físico tenga un efecto relevante sobre el ritmo de maduración de los niños y adolescentes (Albaladejo-Saura et al., 2022; Malina y Beunen, 1996). En este sentido, se podría diferenciar la influencia dependiendo de si es actividad física habitual (cotidiana) o entrenamiento para el rendimiento competitivo o deportivo, considerando que este último es un trabajo de mayor intensidad y que requiere un alto control del volumen, frecuencia, carga y planificación en la búsqueda del rendimiento físico óptimo.

Aunque parece no haber un consenso claro de la influencia de la actividad física sobre la maduración, por lo menos directamente, es posible atribuirle un impacto indirecto, ya que realizar actividad física en la infancia y adolescencia trae consigo múltiples beneficios como: contribución al desarrollo integral de la persona, control del sobrepeso y la obesidad, mayor mineralización de los huesos y disminución del riesgo de padecer osteoporosis, mejor maduración del sistema nervioso motor y aumento de las destrezas motrices, y mejor rendimiento escolar y sociabilidad. A la vez, a nivel psicológico en: disminución del estrés y ansiedad, relajación del cuerpo y sensación de satisfacción, mejora de la autoconfianza y autoestima, y estabilización del estado de ánimo (Zamora-Mota et al., 2023). Como se puede apreciar son muchos los aspectos de impacto que tiene la actividad física, entre ellos algunos de implicación directa en la maduración como, por ejemplo, el control del sobrepeso u obesidad y del tejido adiposo asociado con el desarrollo maduracional (Güemes-Hidalgo et al., 2017; Kaplowitz, 2008). Por este motivo es importante considerar el factor actividad física como uno de los factores clave en el proceso de maduración.

Condición socioeconómica

Las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de una persona incluyen un nivel cultural adecuado de los padres y una situación económica que asegure la

satisfacción de las necesidades básicas que propicien un óptimo desarrollo (Fernández et al., 2007). En este sentido, el contexto socioeconómico en que se desenvuelve un niño o niña adquiere gran importancia, ya que puede generar un impacto sobre el proceso de maduración.

A modo de ejemplo, se ha reportado que los niños y niñas con niveles socioeconómicos mejores alcanzan la estatura máxima y su maduración sexual a una edad más temprana (Tanner, 1968). Del mismo modo, la variabilidad en la edad de la menarquia de niñas inmigrantes es mayor que en las que no lo son, y que viven en mejores condiciones económicas (Muzzo, 2007). Asimismo, a pesar de que la edad promedio de la menarquia ha bajado en mujeres nacidas en Estados Unidos en los últimos 50 años, estas tendencias difieren dependiendo de la posición socioeconómica (Sun et al., 2017).

Como se puede apreciar los procesos de maduración biológica han sido más marcados en los países industrializados, lo cual hace pensar que una de las causas principales son las mejoras en las condiciones de vida (Hernández-Vásquez, 2022). Entre las mejoras de las condiciones se podrían encontrar: características de la comunidad (como la sociabilidad, seguridad y sentido de pertenencia), disponibilidad y acceso a servicios e instalaciones básicas, y niveles de educación y economía, entre otros, que también pueden ser índices importantes en el desarrollo puberal (Nurius et al., 2015).

Tendencia secular

Los estudios de tendencia analizan los cambios de variables cuantitativas y cualitativas a través del tiempo en una población determinada (Gomez-Campos et al., 2016). De este modo se ha encontrado, en varias poblaciones y etnias, que el fenómeno de crecimiento y desarrollo durante la niñez ha sufrido variaciones a lo largo de los años, relacionándolo con una tendencia secular (Jelenkovic et al., 2016).

En las últimas décadas, han aumentado las evidencias de una tendencia secular a anticipar la maduración sexual (Farello et al., 2019). Ya se había mencionado que, en los últimos 150 años, la pubertad ha ido iniciándose progresivamente a edades cada vez más tempranas, asociándolo a una tendencia secular del crecimiento y desarrollo, y relacionándolo con mejoras en las condiciones de vida y la nutrición (Parent et al., 2003). Del mismo modo, datos de diferentes países occidentales indican que a lo largo de los siglos XIX y XX se ha producido un progresivo adelanto en las edades de aparición de la

menarquía, pasando de los 16-17 años a los 13-14 años, en el periodo 1840-1969 (Santrock, 2003). Inclusive en países subdesarrollados se da una tendencia secular a disminuir la edad de inicio puberal posiblemente por mejoras en los estándares de vida (Muzzo, 2007).

Esta tendencia secular hacia un inicio más temprano de la pubertad también sugiere cambios en el sistema endocrino humano, posiblemente originados por influencias ambientales, surgiendo la necesidad de una evaluación periódica de la influencia de los factores externos e internos (genéticos) que pueden intervenir en el momento de maduración y el desarrollo de la pubertad (Wehkalampi et al., 2008). Además, se debe considerar que en esta época se cuenta con la mayor cantidad de adolescentes de la historia, a la vez que están creciendo en un momento de cambios trascendentales a nivel de urbanización, cambio climático, sistemas alimentarios que se desplazan hacia alimentos con un mayor valor calórico y menor valor nutricional, una pandemia de COVID-19, y una creciente desigualdad socioeconómica, donde las consecuencias de estos contextos cambiantes tienen profundos impactos en la nutrición y el desarrollo de los adolescentes (Norris et al., 2022).

1.2.5. Valoración de la maduración

La maduración puede ser evaluada a través de diferentes indicadores como la maduración esquelética, sexual y somática. Es importante identificar que el estado de madurez es el estado de maduración en el momento de la observación y momento de la madurez que es la edad en la que ocurren eventos de maduración específicos (Malina et al., 2019). Entre los principales métodos de valoración se encuentran: 1) la observación del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios que permite identificar y clasificar en función del estadio de maduración sexual en que se encuentre el niño o niña (Marshall & Tanner, 1969, 1970); 2) la observación del desarrollo esquelético entre la niñez y la adultez, permitiendo valorar la edad esquelética a partir de las características óseas (Greulich y Pyle, 1959; Tanner et al., 1975); 3) la utilización de medidas antropométricas para estimar la edad del pico de velocidad de crecimiento como medida de valoración de la maduración somática (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015); y 4) la valoración de la maduración dental a través de las características dentales propias (Demirjian et al., 1973; Demirjian y Goldstein, 1976). A continuación, se presentan las principales formas de valoración de la maduración.

Maduración esquelética

La edad esquelética se refiere al grado de maduración establecido a través de las características propias de los huesos (Malina, 2011). Su medición se realiza a través de las características radiográficamente visibles de los huesos que se someten a sucesivos cambios durante la maduración. La maduración del sistema esquelético pasa por una transición a largo plazo de las estructuras cartilaginosas hasta un esqueleto completamente maduro a inicios de la edad adulta, desarrollándose desde la osificación temprana hasta el tejido esquelético completamente maduro (Lloyd, et al., 2014). En este sentido cada segmento óseo comienza su maduración primero en el centro de osificación primario y luego, a través de diferentes etapas de agrandamiento y remodelación, hasta alcanzar su forma final. Muchos huesos, como los huesos largos, tienen muchos centros de maduración (epífisis) (Cavallo et al., 2021) siendo las áreas de la muñeca, la mano y la rodilla las que representan los procedimientos más objetivos para su estimación (Tanner, 1962; Tanner et al., 1997). A través de rayos X se observa el grado de osificación de los huesos en sus diferentes etapas, permitiendo calcular la edad ósea. Este método se ha dado a conocer como referencia de estándar de oro para la valoración del estado de madurez (Malina et al., 2015). Entre los métodos estandarizados más representativos y utilizados a nivel mundial se encuentran el método de Greulich-Pyle, el método de Tanner-Whitehouse y el método de Fels (Cavallo et al., 2021).

El método de Greulich-Pyle está basado en un atlas de radiografías de referencia de la muñeca izquierda. El análisis se realiza comparando la referencia con la nueva imagen obtenida a través de rayos X de la persona a quien se desea evaluar. Se sigue empleando el protocolo original que ha sido validado en una población de niños caucásicos americanos (Greulich y Pyle, 1959). El procedimiento implica realizar una radiografía de la mano y muñeca izquierda del sujeto (Figura 1), luego se compara con imágenes de referencia para determinar su edad ósea. Si la radiografía muestra una edad ósea superior a la edad cronológica, se le clasificará como madurador temprano, en cambio, si muestra una edad ósea inferior, se le clasificará como madurador tardío. Se encuentra basado en la suposición de que el hueso madura de manera uniforme. Sin embargo, este método puede sobrevalorar o subestimar la maduración de un individuo (Greulich y Pyle, 1999).



**A) EO: 13 años
varón**



**B) EO: 11 años.
mujer**

A) Edad ósea de 13 años en un varón. B) Edad ósea de 11 años en una niña. Observe la similitud entre ambas imágenes que corresponden con el inicio de la pubertad en varones (A) y en mujeres (B). La flecha en ambas imágenes señala el hueso sesamoideo que suele visualizarse a partir de esas edades óseas coincidiendo con el inicio de la pubertad. Fuente: Castro-Feijóo et al., 2017.

Figura 1. Imágenes de radiografías de mano y muñeca izquierda del atlas de Greulich y Pyle (1959).

El método de Fels analiza el radio, el cúbito, los metacarpianos y las falanges. Cada hueso es clasificado de acuerdo con la edad y sexo, y allí se evalúa la longitud, la anchura de la epífisis y la metáfisis de los huesos largos; así como también se determina el grado de osificación para el pisiforme. En este método, se asigna una calificación a cada hueso según la edad y el sexo de los participantes, considerando proporciones entre la longitud y anchura de los huesos largos y la osificación de los huesos medidos. Estos valores se emplean para estimar la edad ósea, que luego se compara con la edad cronológica de la persona permitiendo clasificarla de acuerdo a su grado de maduración como temprana,

normal o tardía. Este método continúa siendo utilizado conforme al protocolo original y ha sido validado en una población de niños caucásicos americanos que fueron seguidos longitudinalmente para evaluar diversos indicadores de maduración (Roche et al., 1988).

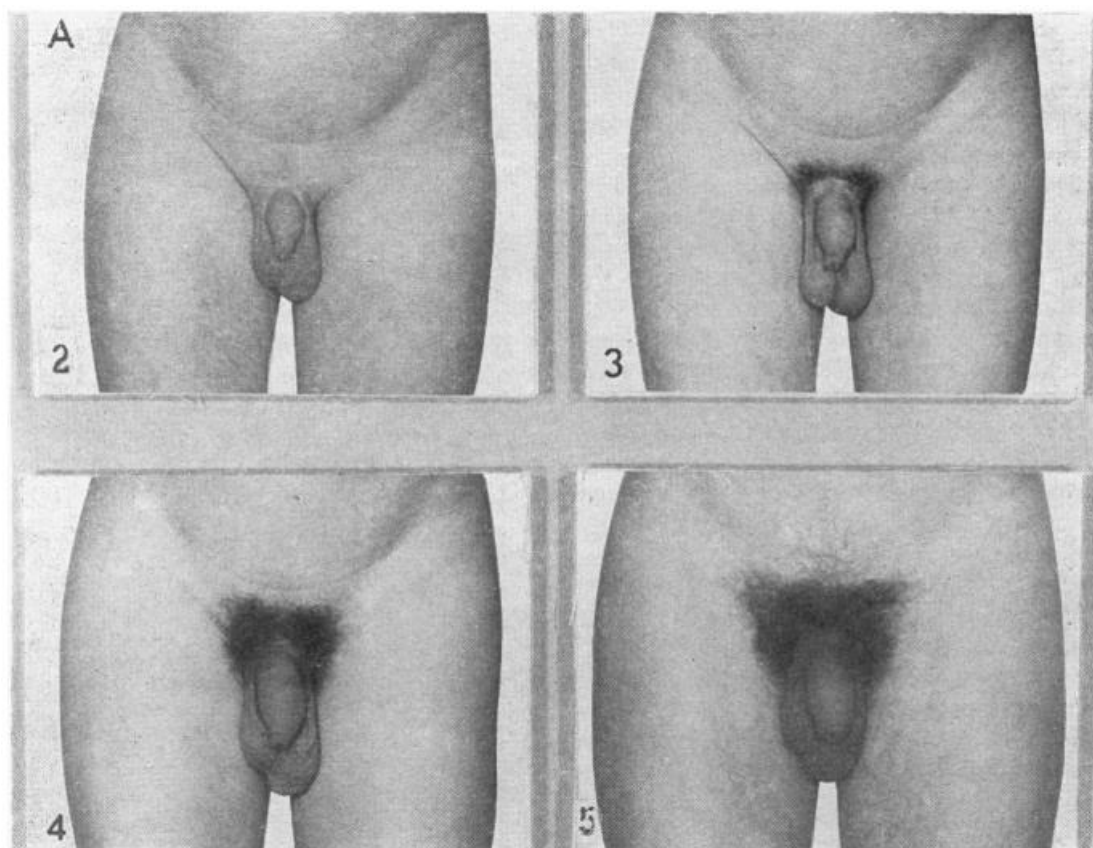
Por último, el método Tanner-Whitehouse 1, 2 y 3, emplea una combinación de múltiples medidas de los huesos de la mano y de la muñeca (radio, cúbito, metatarsianos y falanges). Se analiza cada hueso por medio de radiografías de referencia, a cada estructura ósea se le asigna una puntuación y finalmente se calcula una puntuación acumulada que permite hacer la valoración (Tanner, 1983). Este método fue desarrollado por Tanner y Whitehouse en 1975 y se basa en la evaluación de radiografías de la mano y muñeca izquierda, categorizando de 13 a 20 huesos en distintas regiones de interés. Se aplican criterios específicos sobre la descripción y forma de los huesos analizados. De esta forma se determina un valor de edad ósea que resulta de las evaluaciones de maduración de cada hueso individualmente, el cual se compara con la edad cronológica de la persona. Si la edad ósea es mayor que la edad cronológica correspondiente, se clasifica como madurador temprano; si es menor, se clasifica como madurador tardío. Este método, fue revisado en tres ocasiones habiendo sido validado en poblaciones europeas, sudamericanas, norteamericanas y japonesas (Tanner et al., 1975, 2001).

Maduración sexual

Así como se ha reconocido que la edad esquelética es un indicador del estado de madurez, de igual manera ocurre con los caracteres sexuales secundarios (Malina et al., 2019). Las características sexuales secundarias se manifiestan en las niñas en sus mamas y la menarquia (primer flujo menstrual), mientras que en los niños en los genitales (pene, escroto, testículos y volumen testicular), el cambio de voz y el vello facial. En ambos sexos se considera el vello púbico y axilar (Malina et al., 2015). Este proceso es impulsado por las hormonas gonadales y suprarrenales (Malina et al., 2011), dando paso a la maduración sexual o edad sexual que se refiere al grado de maduración hacia una capacidad reproductiva plenamente funcional (Malina et al., 2004).

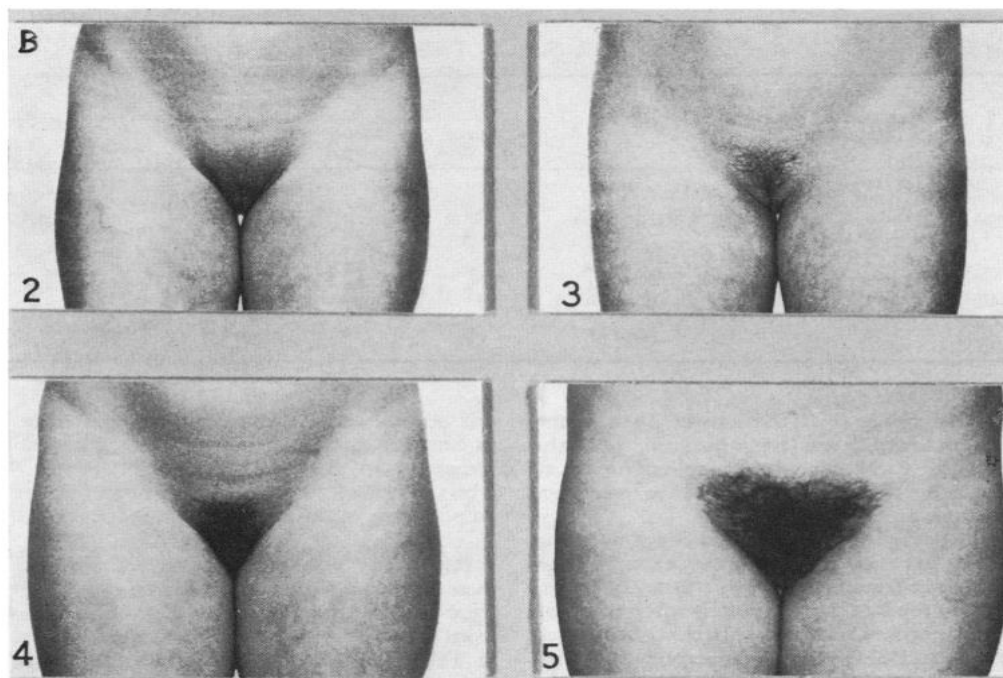
En el ámbito del estudio de la maduración sexual, el método más utilizado es el propuesto por Marshall y Tanner en 1969 y 1970. Este método establece una clasificación de cinco etapas basadas en dos escalas para cada sexo, enfocadas en el desarrollo del vello púbico tanto en chicos (Figura 2) como en chicas (Figura 3), el desarrollo genital en chicos

(Figura 4) y el desarrollo de los senos en chicas (Figura 5). Las descripciones detalladas de cada etapa y las escalas correspondientes se pueden observar en la Tabla 1. Esta metodología se ha diseñado para ser aplicada durante un examen físico o para que los sujetos la completen por sí mismos (Albaladejo-Saura et al., 2022)



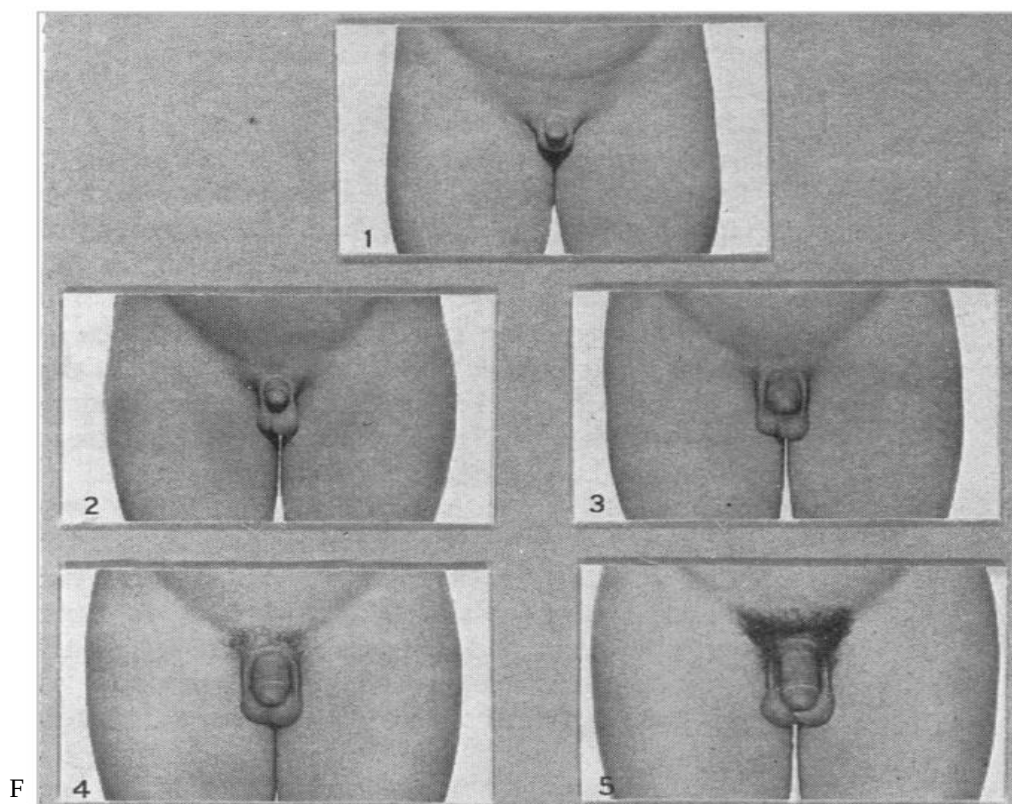
Fuente: Marshall y Tanner, 1970.

Figura 2. Estadios de clasificación según el vello púbico en hombres



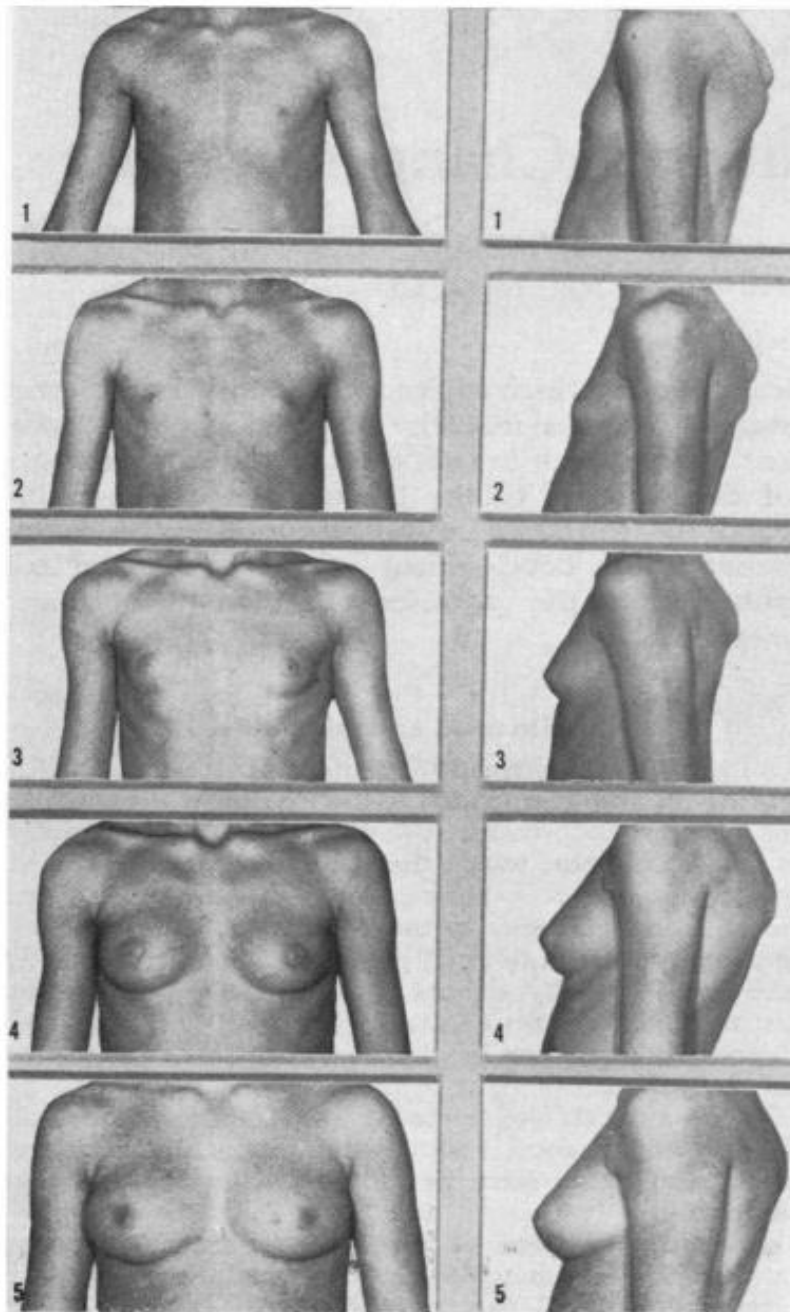
Fuente: Marshall y Tanner, 1969.

Figura 3. Estadios para la clasificación según el vello púbico en mujeres



Fuente: Marshall y Tanner, 1970.

Figura 4. Estadios de clasificación según genitales en hombres.



Fuente: Marshall y Tanner, 1969.

Figura 5. Estadios de clasificación según el desarrollo de los senos en las mujeres

A modo resumido, Guillén (2015) describe algunos hitos importantes en el periodo puberal (Basdemir y Rogol, 2000; Rodríguez-Hierro, 1995) que son los siguientes:

- *Duración global:* El tiempo transcurrido entre el inicio del estadio puberal Tanner II hasta alcanzar el estadio puberal Tanner V es variable, pudiendo oscilar en la mayoría de ocasiones entre tres y cuatro años. Generalmente, este intervalo es menor en las niñas.
- *Adrenarquia:* La aparición de vello púbico y/o axilar es un fenómeno dependiente de la glándula suprarrenal y es independiente del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas. En la mayoría de ocasiones, suele aparecer en los seis meses siguientes al inicio de la telarquia. No obstante, entre un 10-15% de las ocasiones, puede preceder a la telarquia.
- *Menarquia:* la primera menstruación suele presentarse unos dos años después de la aparición de la telarquia. Esta suele aparecer en el estadio puberal Tanner IV.
- *Cambio de voz:* En el niño aparece en el estadio puberal Tanner IV. Con posterioridad, los niños se afeitan. Generalmente, el afeitado completo suele observarse en el estadio puberal Tanner V.
- *Crecimiento:* El pico máximo de crecimiento observado durante la pubertad es algo más temprano en las niñas, entre el estadio puberal Tanner II y III, precediendo a la menarquia. En los niños, esta aceleración de crecimiento se objetiva en el estadio puberal Tanner IV. Desde el comienzo de Tanner II hasta alcanzar la talla adulta, las niñas crecen entre unos 20 y 25 cm de media y los niños, aproximadamente, entre 28 y 30 cm. El remanente medio de crecimiento después de tener la menarquia oscila entre 6 y 8 cm, pudiéndose incrementar si la aparición de la primera menstruación ha sido más temprana.

Tabla 1. Descripción de los estadios de Tanner según sexo.

	Estadio I	Estadio II	Estadio III	Estadio IV	Estadio V
Niña	Es la etapa infantil, el desarrollo mamario no ha comenzado y no hay señales de vello púbico.	Comienza el desarrollo mamario (telarquia) con la formación de un botón mamario pequeño y la areola aumenta ligeramente. Se observa un crecimiento mínimo de un vello lacio, especialmente en los labios mayores.	Aquí, las mamas y los pezones crecen más y adquieren un contorno redondeado. Además, el vello púbico aumenta en cantidad y se vuelve más oscuro, grueso y rizado.	La areola y el pezón han crecido más, formando una pequeña elevación que sobresale del resto de la glándula mamaria. Además, el vello púbico es similar al de una mujer adulta, aunque ocupa una superficie menor.	Las mamas han alcanzado su forma adulta, y el segundo montículo descrito en la etapa anterior desaparece. Además, el vello púbico forma un triángulo invertido y puede extenderse hacia la parte superior de los muslos.
Niño	Es la etapa infantil, los testículos son pequeños, con un volumen menor a 4 cc, sin señales de vello púbico	Los testículos han alcanzado un volumen de al menos 4 cc, y la piel escrotal aumenta su grosor, se vuelve más rugosa y oscura. Además, se observa el crecimiento de vello púbico en la base del pene.	En este estadio, el pene crece significativamente en longitud, mientras que el volumen testicular aumenta hasta alcanzar entre 8 y 12 cc. Además, el vello púbico se vuelve más largo, abundante y rizado, extendiéndose por la zona pubiana.	El pene sigue creciendo en longitud, circunferencia y el glande también aumenta de tamaño. Además, el volumen testicular se sitúa entre 12 y 15 cc. El vello púbico se vuelve más grueso, rizado y oscuro, cubriendo la mayor parte del área pubiana.	Se caracteriza el estado adulto. Los testículos han alcanzado un volumen superior a 15 cc. Además, el vello púbico se extiende a la cara superior e interna de los muslos y a la línea alba.

Fuente: Adaptado de Marshall y Tanner 1969,1970.

La estimación de la maduración sexual, conocida también como escala de Tanner, establece estadios que varían de 1 a 5, a través de un examen físico, que se basa en la observación de las características sexuales secundarias de los adolescentes. Para la clasificación del estado de madurez mediante la valoración de la maduración sexual, se ha

indicado que existen tres categorías derivadas de los estadios propuestos por Tanner (1970), el estadio 1 es pre-púber, los estadios 2, 3 y 4, son de progresión en la pubertad (púber) y el estadio 5 corresponde a la etapa adulta (post-púber) (Gómez-Campos et al., 2013).

Maduración somática

Otro indicador de maduración que adquiere cada vez más relevancia es la maduración somática basada en mediciones antropométricas, la cual se refiere al grado de crecimiento de la estatura general o de las dimensiones específicas del cuerpo (Lloyd, et al., 2014). Presenta según su etapa diferentes variaciones, con períodos de crecimiento rápido intercalado con mesetas relativas, siendo no lineal su manifestación (Stratton y Oliver, 2013). Este método se centra en detectar el pico de velocidad de crecimiento (PVC), que se produce debido al incremento de los niveles de la hormona del crecimiento, la hormona tiroidea y andrógenos, y a las modificaciones que se generan en la estatura, el peso y las proporciones de los diferentes segmentos corporales de una persona (Gómez-Campos et al., 2013; Malina y Bouchard, 1991).

La maduración somática es valorada a través de técnicas antropométricas, donde las variables de peso y estatura, por lo general, son comparadas con tablas referenciales de tipo transversal y/o longitudinal (Gómez-Campos et al., 2013). Del mismo modo, algunas mediciones antropométricas han sido utilizadas en la estimación del estado y/o el momento de madurez, pasando por la interpretación de curvas de crecimiento, el PVC y el uso de porcentajes y proyección de la estatura adulta (Lloyd et al., 2014; Malina et al., 2019).

Estos procedimientos se distinguen por la capacidad de observar directamente el inicio del PVC en estudios longitudinales, donde se identifica un aumento de aproximadamente 9 cm/año en niñas y 10,3 cm/año en niños, a través de mediciones antropométricas continuas que se comparan con valores de referencia (Kelch & Beitins, 1994). En los estudios transversales donde no se utilizan mediciones repetidas, es factible estimar el PVC utilizando mediciones que se incorporan a ecuaciones de regresión para su estimación (Albaladejo-Saura et al., 2022).

La antropometría como medio para valorar la maduración somática presenta ciertas ventajas respecto a los otros métodos de estimación de la madurez. Es un indicador no invasivo, de menor costo y más práctico (Colyer et al., 2020; Gomez-campos et al., 2013; Malina et al., 2021) a diferencia de los métodos de maduración esquelética y sexual que se

han identificado como invasivos, costosos y no prácticos en entornos aplicados sobre todo cuando se necesita valorar una cantidad considerable de personas (Colyer et al., 2020; Malina et al., 2021; Thurlow et al., 2021). Estos son algunos de los principales motivos por los cuales se han estudiado alternativas con mejor viabilidad de aplicación sobre todo si se quiere desenvolver en el ámbito deportivo y/o escolar.

Para una mejor comprensión y diferenciación del indicador de maduración somáticas respecto a los otros, en la tabla 2 se presentan las principales características, ventajas y limitaciones.

Tabla 2. Características, ventajas y limitaciones de los indicadores de maduración.

Indicadores	Características	Ventajas	Limitaciones
Esquelético	Se evalúa mediante la estandarización de placas de rayos X (RX) que determinan la maduración del esqueleto	Es el mejor método para la valoración de la edad biológica. Permite estudiar la madurez biológica desde la niñez hasta la edad de adulto joven	Requiere de equipo especializado, por lo que es costoso e implica la exposición a radiación de RX. Depende de la experiencia del observador
Sexual	Basada en el estudio del desarrollo de las características sexuales secundarias	Técnica no invasiva cuando es aplicada por medio de la auto-observación	Como indicador de madurez, limita su utilización a la edad puberal. Se realiza por observación visual, por intermedio del método de autopercepción, que puede generar una sobrestimación o superestimación de los estadios de maduración. En una situación no clínica se considera no confortable para niños, adolescentes y padres.
Somático	Se evalúa a través de la determinación de la edad en la que sucede el PVC. Indica la edad de máximo crecimiento durante el estirón del adolescente. Es usado en estudios longitudinales y transversales	Puede ser valorada a través de técnicas no invasivas, como la antropometría. Es una herramienta simple, de práctica y de bajo costo. Para estudios transversales, es muy práctica y requiere una única evaluación de pocas variables	En estudios transversales el PVC se obtiene por ecuaciones de predicción que en su aplicación en diferentes poblaciones puede afectar su precisión. Puede verse influenciado por problemas de mala nutrición, enfermedades o estrés mental. En estudios longitudinales, se requiere evaluar varios años cercanos al PVC, no siendo posible realizar en una sola medición

Leyenda: PVC: Pico de velocidad de crecimiento. Fuente: Adaptado de Gómez-campos et al., 2013.

Como se mostró anteriormente, la valoración de la maduración somática por medio de la antropometría, si bien presenta ciertas limitaciones, se destaca por ser un método práctico en su aplicación, con un menor costo y menos invasivo. Al respecto, algunos procedimientos a utilizar para su estimación son: la velocidad de crecimiento, el porcentaje de altura prevista, compensación de la madurez, entre otros.

Velocidad de crecimiento

Se refiere a la tasa de crecimiento de una persona monitoreada longitudinalmente, por lo que no es posible su utilización en estudios transversales de una sola medida (Lloyd et al, 2014; Sherar et al., 2004). Para su aplicación necesita al menos dos mediciones con intervalos no menores de tres meses y no mayores de 18 meses (Gomez-Campos et al., 2013). De esta manera se puede calcular la tasa de cambio de la altura a lo largo del tiempo, donde se han reportado que las velocidades de crecimiento durante el pico de velocidad de crecimiento en la adolescencia oscilan entre 5 y 11 cm en los hombres y entre 5 y 9 cm en las mujeres (Lloyd et al., 2014). La velocidad de crecimiento (VC) se considera normal cuando se ubica al niño y/o adolescente entre los percentiles 10 y 90. Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VC \text{ (cm/año)} = \frac{\text{Estatura actual} - \text{Estatura anterior}}{\text{Edad decimal actual} - \text{Edad decimal anterior}}$$

Porcentaje de la altura adulta prevista

Uno de los métodos clásicos usado para la valoración del porcentaje de estatura alcanzada es el propuesto por Bayle (1954). La tabla 3 muestra el porcentaje de estatura alcanzada a diferentes edades. Para la aplicación de este método se requiere la edad y estatura actual de la persona, para ser incorporada a la siguiente la fórmula: Estatura definitiva ED = (Estatura · 100) / (% Estatura). Para su interpretación se considera que la persona que está más cerca de la estatura adulta final es más madura que otra que está más lejos de alcanzar esta.

Tabla 3. Porcentaje de estatura alcanzada según Bayle (1954).

Edad (años)	% de estatura	
	Niños	Niñas
1	42,2	44,7
2	49,5	52,8
3	53,8	57,0
4	58,0	61,8
5	61,8	66,2
6	65,2	70,3
7	69,0	74,0
8	72,0	77,5
9	75,0	80,7
10	78,0	84,4
11	81,1	88,4
12	84,2	92,9
13	87,3	96,5
14	91,5	98,3
15	96,1	99,1
16	98,3	99,6
17	99,3	100,0
18	99,8	100,0

Leyenda: %: porcentaje. Fuente: Bayle, 1954.

En la década de los ochenta también se propuso como método de estimación del estado de madurez la altura actual expresada como porcentaje de la altura adulta prevista sin necesidad de considerar la edad esquelética para su estimación (Cumming et al., 2017; Roche, 1983). A partir de esto, se han creado ecuaciones específicas según sexo para su predicción a partir de la edad, la altura y el peso de la persona, necesitándose conocer también la altura media de sus progenitores biológicos, tanto de la madre como del padre (Khamis & Roche, 1994; Malina et al., 2021). El porcentaje de altura madura prevista no es un indicador directo de la velocidad de crecimiento, aunque puede usarse para indicar el

progreso de un joven en el período de crecimiento durante la adolescencia (Cumming et al., 2017).

Actualmente, se utiliza este método de estimación del estado de madurez en el trabajo con biobandas aplicado principalmente en deportistas (Malina et al., 2019). La biobanda es el proceso de agrupación en categorías específicas o bandas basadas en la maduración biológica, para un desarrollo atlético potencialmente más óptimo (Cumming et al., 2017). Este método está basado en el estado de crecimiento como porcentaje de la altura final prevista (Thurlow et al., 2021). Para su evaluación existen valores de referencia según sexo para comparar el porcentaje de estatura adulta en que se encuentra el niño, es decir, si llega a tiempo o se retrasa en la maduración, permitiendo agrupar a las personas según el porcentaje de altura adulta prevista, clasificándolos como prepuber $< 85 \%$, puberal temprano $85-89,9 \%$, puberal medio $90-94,9 \%$ y puberal tardío ≥ 95 (Cumming et al., 2017; Malina et al., 2019; Thurlow et al., 2021).

Compensación de la madurez

La compensación de la madurez proporciona, a través de ecuaciones de predicción, un indicador del estado y/o del momento de madurez. Permite indicar el tiempo antes o después (que falta o ha pasado) de que ocurra el PVC. A la vez, es posible valorizar la edad estimada en que se producirá el PVC, que sería la edad cronológica de la persona menos la compensación de la madurez (Malina et al., 2019; Mirwald et al., 2002; Thurlow et al., 2021). Entendiendo que el PVC se refiere a la edad cronológica en que se espera una tasa de crecimiento máximo en altura, denominado como estirón, que se produce en la adolescencia, este inicia con una aceleración del crecimiento (despegue), que continua hasta alcanzar un pico máximo, para posteriormente desacelerar, finalizando en la adolescencia tardía o principios de los 20 años de edad (Malina et al., 2015)

En este contexto, la ecuación propuesta por Mirwald et al. (2002) es uno de los indicadores de madurez más utilizados en la última década, siendo la compensación de la madurez el indicador preferido, igualmente, se utiliza la edad estimada del PVC, pero en menos casos (Malina et al., 2021). La ecuación de Mirwald necesita para su estimación la edad cronológica, las medidas antropométricas de peso, estatura de pie, estatura sentada y la estimación de la longitud de pierna (estatura de pie menos la estatura sentada) (Malina et al., 2021; Mirwald et al., 2002) Para su cálculo se aplicarán las siguientes ecuaciones (tabla 4) según sexo (Mirwald et al., 2002):

Tabla 4. Ecuaciones originales para predecir la compensación de la madurez propuesta por Mirwald et al. (2002)

Ecuaciones
Hombres: $-9,232 + 0,0002708 (LMI \cdot ATC) - 0,001663 (E \cdot LMI) + + 0,007216 (E \cdot ATC) + 0,02292 (P/Est)$
Mujeres: $-9,37 + 0,0001882 (LMI \cdot ATC) + 0,0022 (E \cdot LMI) + 0,005841 (E \cdot ATC) - - 0,002658 (E \cdot P) + 0,07693 (P/Est).$

LMI: longitud de los miembros inferiores; ATC: altura tronco cefálica; E: edad; P: peso; Est: estatura.

Fuente: Mirwald, 2002.

Las ecuaciones de Mirwald han sido recalibradas posteriormente, surgiendo de esta manera las ecuaciones modificadas de Moore (Moore et al., 2015). Las variables incluidas en esta ecuación son la estatura de pie, la estatura sentada y la edad cronológica. Considerando las posibilidades de medición y sexo, en la tabla 5 se muestran las respectivas ecuaciones.

Tabla 5. Ecuaciones modificadas para predecir la compensación de la madurez propuesta por Moore et al. (2015)

Ecuaciones
Hombres considerando estatura de pie $-7,999994 + (0,0036124 \times (edad \times estatura))$
Mujeres considerando estatura de pie $- 7,709133 + (0,0042232 \times (edad \times estatura))$
Hombres considerando estatura sentada $-8,128741 + (0,0070346 \times (edad \times estatura sentada))$

Fuente: Moore et al., 2015.

Las ecuaciones proporcionan como resultado el tiempo en años restantes para que una persona alcance el PVC (si el resultado es negativo) o el tiempo en años transcurridos desde que la persona superó el PVC (si el resultado es positivo), conocido como desfase madurativo, siendo los años de pico de velocidad de crecimiento (APVC) la unidad de medida que es posible obtener a través de las ecuaciones de Mirwald (2002) y Moore (2015). A la vez, al restar el desfase madurativo a la edad cronológica del evaluado, se obtiene la edad del pico de velocidad de crecimiento (EPVC = edad cronológica - desfase madurativo). Estos datos pueden emplearse directamente para clasificar a los a niños y adolescentes como maduradores tempranos, normales o tardíos, según diversos criterios (Albaladejo-Saura et al., 2022). Por ejemplo, la interpretación de ambas ecuaciones

(Mirwald y Moore) para la clasificación del estado de madurez indica: Jóvenes con maduración promedio dentro de -1 a +1 APVC, inferiores a -1 APVC como precoz y superiores a +1 APVC como tardío (Malina y Koziel, 2014).

Esta información permite clasificar el estado de madurez en niños y niñas como avanzados, promedio y atrasados según su madurez (Gillison et al., 2017), siendo de suma relevancia, considerando que la intensidad y la duración de la pubertad son específicas para cada persona y puede variar considerablemente entre unos y otros (Malina et al., 2004; Portella et al., 2017). Ambas técnicas pueden ser una alternativa ante la ausencia de métodos sencillos y prácticos. Entre las principales ventajas que tiene la aplicación de las ecuaciones de estimación en las ciencias del deporte es su aplicabilidad y adaptabilidad en el trabajo de campo considerando los múltiples contextos en que es posible utilizarlas, junto con la fácil formación para su utilización. Por otro lado, se debe tener en cuenta sus limitaciones para no caer en errores de estimación cuando son aplicadas (Albaladejo-Saura et al., 2022). Al respecto, en la tabla 6 se muestra un resumen de las características de los principales métodos de estimación de la maduración biológica y su adecuación al campo de estudio de las ciencias del deporte a partir de su rapidez de medición, costo económico, facilidad de aplicación y su adecuación en las ciencias del deporte (Albaladejo-Saura et al., 2022).

La investigación sugiere que los diferentes indicadores (Esquelético, sexual y somático) poseen relaciones de moderadas a altas respecto a la estimación de la maduración. Aunque la edad esquelética todavía se ve como el método estándar de oro para su valoración, los evaluadores pueden utilizar el método que consideren más pertinente, considerando factores como la disponibilidad de equipo de evaluación, el conocimiento para el análisis de los datos, el grado de invasividad de la evaluación, el tiempo, las consecuencias económicas y grado de error de medición asociado con la evaluación según el método que se utiliza para evaluar la edad biológica (Lloyd, et al., 2014). Últimamente, de los tres métodos de evaluación de la maduración biológica el de maduración somática es el que ha adquirido mayor fuerza en cuanto a su utilización, considerando factores de costo, invasividad, aplicación y análisis, sobre todo en el campo de ciencias del deporte (Gómez-Campos et al, 2013).

Tabla 6. Resumen de las características de los principales métodos de estimación de la maduración biológica y su adecuación al campo de estudio de las ciencias del deporte.

Método	RM	Coste	FI	Adecuación al ámbito de ciencias del deporte	
				Ventajas	Inconvenientes
Maduración esquelética: Radiografía de mano y muñeca según Greulich y Pyle (1969), Tanner & Whitehouse (1975) y Roche et al. (1988)	*	***	*	Considerado "gold standard" para la estimación de la maduración biológica en ciencias del deporte, en contextos en los que se tenga acceso a su utilización.	No cuenta con la capacidad de adaptarse a investigaciones de campo, a la necesidad de personal especializado, al tiempo y al coste de aplicación y a la radiación se exponen los participantes.
Maduración somática: Medidas antropométricas según Mirwald et al. (2002) y Moore et al. (2015)	**	**	**	Método de fácil aplicación, adaptable a trabajos de campo y que requiere poca formación por parte de los investigadores	Se deben tener en cuenta sus limitaciones para no introducir excesivo error en la estimación. Puede subestimar o sobreestimar el valor del desfase madurativo en maduradores temprano o tardíos respectivamente. Es recomendable su uso para clasificar a los deportistas según su ritmo de maduración.
Maduración somática: Medidas antropométricas según Sherar et al. (2005)	**	**	***	Método de fácil aplicación, adaptable a trabajos de campo y que requiere poca formación por parte de los investigadores	Requiere la medición de variables de forma repetida en lapsos de tiempo de entre 3 y 18 meses durante varios años y el posterior análisis individual de las curvas de crecimiento para obtener la EPVC
Maduración sexual: Caracteres sexuales según Marshall y Tanner (1969,1970)	***	*	***	Es fácil de implementar, no requiere instalaciones específicas, coste bajo, rápido de aplicar y puede ser autocomplimentado por la persona a evaluar	Puede ser considerado invasivo para la privacidad de la persona descontextualizado del ámbito clínico. Puede perder fiabilidad cuando se realiza de forma autocomplimentada.
Maduración dental: Radiografía dental según Demirian y Goldstein	*	***	*	Tiene fiabilidad y validez similar a los métodos radiográficos de mano y muñeca para evaluar la maduración biológica	Cuenta con extrema especificidad en cuanto a campos de estudio abarcados. No es posible adaptarlo a investigaciones de campo, precisa de personal altamente especializado y expone a radiación a sus participantes

Leyenda: RM: Rapidez de medición; FI: Facilidad de implementación; *: bajo; **: medio; ***: alto.

Fuente: Adaptado de Albaladejo-Saura et al., 2022.

1.3. JUSTIFICACION

Los grupos establecidos por edad cronológica no tienen en cuenta la variación interindividual de la madurez biológica, donde la extensión, el tiempo y el ritmo de manifestación puede diferir mucho entre personas de una misma edad (Cumming et al., 2017; Lloyd et al., 2016; Meylan et al., 2010). Por estas variaciones interindividuales adquiere suma relevancia la evaluación y valoración de la maduración y su manifestación en cada persona. Por ejemplo, se conoce que niños o adolescentes que están avanzados en la madurez tienden a desempeñarse mejor en tareas que requieren fuerza, potencia y velocidad en comparación a sus pares de la misma edad, pero con maduración promedio y tardía (Malina et al., 2004; Tanner, 1962).

Identificar las diferencias individuales de madurez entre los adolescentes es relevante para el deporte juvenil, el desarrollo del talento y en los estudios de actividad física (Malina, 2014), puesto que las manifestaciones cronológicas en intensidad y duración a lo largo de la pubertad son específicos para cada adolescente y pueden variar significativamente entre cada uno de ellos (Malina et al., 2004). Siendo posible encontrar que entre jóvenes de una misma edad existan diferencias corporales y de desempeño físico, en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia (Malina et al., 2015; Malina y Bouchard, 1991; McCloy, 1934). A la vez, durante la adolescencia producto de los cambios corporales, existen más factores que aumentan el riesgo de lesiones (Adirim y Cheng, 2003; Johnson et al., 2022). En este contexto, el estado de madurez podría ser un indicador más preciso que la edad cronológica para analizar el desempeño o la aptitud física en jóvenes deportistas y no deportistas.

En este sentido, la valoración del estado de madurez adquiere vital importancia en el diseño de programas de acondicionamiento físico, en el entrenamiento deportivo y el desarrollo de la aptitud física de jóvenes deportista y no deportistas, en la búsqueda de maximizar la adecuación del entrenamiento al desarrollo madurativo (Lloyd et al., 2014; Granacher et al., 2016; Meylan et al., 2010). Del mismo modo, la estimación del estado de madurez permite la agrupación de los participantes y las actividades físicas para mejorar la competencia, aumentar las posibilidades de éxito y reducir el riesgo de lesiones (Cumming et al., 2011).

En los últimos años se ha observado una amplia preocupación entre los investigadores sobre el uso de los indicadores de maduración biológica en niños y adolescentes de diversas poblaciones del mundo (Cossio-Bolaños et al., 2021ab; Gillison et

al., 2017; Koziel y Malina, 2018; Weber et al., 2022). Así, es posible encontrar los indicadores clásicos que miden el estado de madurez como la edad esquelética (SA) y las características sexuales secundarias, que a menudo son considerados poco prácticos e invasivos (Cossio-Bolaños et al., 2021a; Koziel y Malina, 2018). En los últimos años también han surgido técnicas basadas en variables antropométricas (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015) orientadas a la medición de la maduración somática con las ventajas de ser no invasivas, de menor costo y más prácticas (Colyer et al., 2020; Gómez-campos et al., 2013; Malina et al., 2021) en comparación con los indicadores clásicos como la maduración esquelética y sexual que se han identificado como invasivos, costosos y poco prácticos en los entornos aplicados (Colyer et al., 2020; Malina et al., 2021; Thurlow et al., 2021) como puede ser el ámbito escolar y/o deportivo.

En general, la literatura destaca que los métodos invasivos tradicionales traen consigo dificultades logísticas, limitando sus usos y aplicaciones (Malina y Beunen, 1996). Por lo tanto, los padres, las organizaciones deportivas, las escuelas y los comités de ética suelen ser reacios a utilizar estos protocolos (Malina et al., 2007). En este contexto, es necesario resaltar nuevas alternativas para estimar el estado de madurez, involucrando el uso de indicadores antropométricos no invasivos que demanden bajo riesgo físico y psicológico entre los jóvenes.

La estimación de la maduración basada en variables antropométricas ha sido utilizada ampliamente en diversos estudios con el propósito de categorizar el estado de madurez en niños y adolescentes (Cossio-Bolaños et al., 2021b; Drenowatz y Greier, 2018; Hogan et al., 2022; Koziel y Malina, 2018). Sin embargo, hasta donde se sabe, no se han encontrado estudios que hayan probado e identificado nuevos indicadores antropométricos para predecir el estado de madurez en niños y adolescentes durante la etapa de crecimiento y desarrollo somático. En consecuencia, esta información podría contribuir al control de las variaciones interindividuales en el estado de madurez entre escolares y atletas jóvenes.

En este contexto, se destaca que el área de superficie corporal ha sido utilizada ampliamente para estimar el tamaño corporal y estandarizar parámetros fisiológicos desde principios del siglo XX en adultos (Du Bois y Du Bois, 1916; Meeh, 1879) y en niños (Boyd, 1935; Mosteller, 1987). Pues, por lo general el área de superficie corporal cambia significativamente en la etapa del crecimiento y maduración con el transcurso de la edad, ya que aumenta de 0,2 m² al nacer a 1,73 m² en la edad adulta, junto con la maduración de la función de los órganos (Feber y Krásničanová, 2012). Estos incrementos durante la etapa

de crecimiento y maduración biológica hacen presagiar una posible relación entre el indicador antropométrico de área de superficie corporal con el estado de madurez en niños y adolescentes, lo que permitiría identificar esta variable como un posible predictor del estado de madurez, colaborando principalmente en la propuesta de posibles indicadores basados en la antropometría para estimar el estado de madurez.

En general, las mediciones antropométricas permiten reflejar el estado general de salud, la adecuación de la dieta, monitorización del crecimiento, desarrollo y maduración a lo largo del tiempo (Fryar et al., 2016; Gómez-Campos et al., 2013;2016). Por ejemplo, la medición del peso y la estatura es una práctica común y fundamental en el ámbito de la salud pública, pediatría y la nutrición clínica, especialmente en adolescentes (Madden y Smith, 2016). Dichas mediciones permiten obtener índices antropométricos, como el IMC, que se utiliza ampliamente como herramienta de detección para identificar posibles problemas de peso, como el sobrepeso y la obesidad (Khanna et al., 2022).

Al respecto, se han realizado varios estudios en diferentes regiones del mundo para investigar los cambios seculares del tamaño corporal e indicadores antropométricos en niños y adolescentes. Estos estudios son de gran importancia ya que proporcionan información valiosa sobre las tendencias en el crecimiento y desarrollo físico de la población juvenil a lo largo del tiempo (Freedman et al., 1997; Guimarey et al., 2014; Kimm et al., 2001; Nagel et al., 2009). Sin embargo, hasta donde se sabe, son nulos los estudios que analicen estos patrones según el estado de madurez. Considerando que esta variable es relevante en el proceso de desarrollo de niños y/o adolescentes, surge la necesidad e interés de generar información sobre estas tendencias para analizar los cambios positivos o negativos que se han producido con el paso del tiempo, sobre todo en un país como Chile que está pasando por una transición nutricional extremadamente rápida (Albala et al., 2001; Mujica-Coopman et al., 2020; Vio et al., 2008). De este modo, las posibles diferencias que puede aportar un estudio longitudinal de tendencia podrían reflejar cambios en los patrones de alimentación y estilo de vida, así como las políticas de salud pública implementadas a lo largo del tiempo en Chile.

Ante los puntos tratados, surge la necesidad e importancia de valorar y considerar el estado de madurez de los niños y/o adolescentes, el cual: 1) Permite mejorar el proceso deportivo y/o formativo tanto en deportistas como no deportistas (escolares); 2) genera un impacto positivo sobre el futuro trabajo con adolescentes, beneficiando al proceso de desarrollo hacia la adultez, ya sea en la búsqueda del rendimiento deportivo en clubes,

federaciones, asociaciones, entre otros o en el proceso formativo escolar (establecimientos educacionales o centros de educación); 3) permite orientar o colaborar con los profesionales respecto al diseño de programas de actividad física y entrenamiento, en la selección de talentos, en la disminución de lesiones, en equiparar la competencia y actividades en base al estado de madurez en post de mejorar la planificación y evolución de los adolescente hacia el óptimo rendimiento deportivo y/o el óptimo estado de salud al llegar al estado adulto; 4) aporta a entrenadores, profesores y profesionales de la actividad física y/o salud una herramienta no invasiva, de bajo costo y práctica para controlar o monitorizar el estado de madurez en niños y/o adolescentes a través de variables antropométricas; 5) permite evaluar de forma más precisa la aptitud física, el desempeño físico, el estado nutricional, el tamaño corporal, indicadores antropométricos como el IMC o el área de superficie corporal, entre otras variables de relevancia para el desarrollo y la salud de niños y/o adolescentes; 6) posibilita la mejora del proceso formativo y desarrollo individual en niños y adolescentes, a través de la planificación y las adaptaciones estratégicas de intervención en los respectivos campos de aplicación en que se necesite el control del estado de madurez; 7) en consecuencia, beneficia a la comunidad en general que busca el mejorar desarrollo de las capacidades y la salud de los adolescentes en el ámbito de la actividad física, deporte y salud, como los padres o tutores, directivos, gestores deportivos y/o formativos, entre otros.

A nivel global, este trabajo colaborará con orientaciones teóricas y de aplicación respecto a la estimación del estado de madurez a través de mediciones antropométricas y su aplicación en el control y/o monitorización de la aptitud física e indicadores antropométricos, que puede ser utilizado en futuros estudios por diversos investigadores que necesiten o estén interesados en desarrollar estudios relacionados con la maduración, ya sea en estudios de tipo transversal, longitudinal, experimental, entre otros. A nivel de país, se entrega información relevante sobre la situación regional respecto al comportamiento de indicadores antropométricos y sus cambios en la última década considerando el control del estado de madurez, que es posible de llevar a la practica en grandes muestras a través de la antropometría, lo que constituye un sustento teórico-practico respecto a la evaluación y aplicación de políticas públicas de intervención para mejorar el desarrollo y la salud de niños y/o adolescentes de la región y del país, pensando en su replicabilidad.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Este trabajo se encuentra compuesto de tres estudios orientados a analizar la relación y utilización del estado de madurez con la aptitud física e indicadores antropométricos como el área de superficie corporal e índice de masa corporal. Por ello, se plantea un objetivo general que engloba a todos los estudios, junto con, los objetivos específicos para cada uno en particular.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación del estado de madurez con la aptitud física, el área de superficie corporal y su utilización en el estudio de la tendencia del índice de masa corporal en niños y/o adolescentes chilenos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudio 1: *Aptitud física en jóvenes futbolistas y no-futbolistas por edad cronológica y estado de madurez chilenos*

Objetivo específico: Comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no futbolistas chilenos según edad cronológica y estado de madurez.

Estudio 2: *El área de la superficie corporal es un predictor del estado de madurez en niños y adolescentes escolares*

Objetivo específico 1: Determinar la relación entre el estado de madurez obtenido por métodos antropométricos no invasivos y el área de superficie corporal en niños y adolescentes de ambos sexos en una población regional de Chile.

Objetivo específico 2: Verificar el tipo de relación lineal o no lineal entre el estado de madurez y el área de superficie corporal en ambos sexos.

Estudio 3: *Cambios en el Índice de masa corporal según estado de madurez en adolescentes de una región de Chile durante un periodo de 20 años.*

Objetivo específico: Determinar si existen cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región del centro-sur de Chile en un intervalo de 20 años.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO 1:

APTITUD FÍSICA EN JÓVENES FUTBOLISTAS Y NO- FUTBOLISTAS POR EDAD CRONOLÓGICA Y ESTADO DE MADUREZ CHILENOS

3. ESTUDIO 1. APTITUD FÍSICA EN JÓVENES FUTBOLISTAS Y NO-FUTBOLISTAS POR EDAD CRONOLÓGICA Y ESTADO DE MADUREZ CHILENOS

3.1. RESUMEN

Introducción: Durante el periodo de la adolescencia se producen cambios en el crecimiento y la composición corporal, siendo importante identificar las diferencias individuales de madurez entre los adolescentes. En el caso de los futbolistas, estos podrían evidenciar mejor aptitud física que sus similares no-futbolistas.

Objetivo: Comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no futbolistas, según edad cronológica y estado de madurez.

Metodología: Se efectuó un estudio de tipo descriptivo comparativo en 139 jóvenes (62 futbolistas con $16,38 \pm 1,30$ años y 77 escolares con $16,35 \pm 1,45$ años). La selección de la muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia. El rango de edad oscila desde los 14 hasta los 18 años. Se evaluó el peso, la estatura, velocidad en 20 metros, salto horizontal (SH), y la prueba de aptitud aeróbica de Leger. Se calculó el índice de masa corporal (IMC), los años de pico de velocidad de crecimiento (APVC), y el $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y relativo.

Resultados: Los jóvenes futbolistas presentaron mayor $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y relativo en comparación con sus similares no-futbolistas, tanto por edad cronológica y estado de madurez. Hubo correlación positiva significativa ($p < 0.05$) entre la edad y los APVC con el $VO_{2\text{max}}$ absoluto y salto horizontal, y negativa con la velocidad de 20 metros. No hubo correlación entre la edad y APVC con el $VO_{2\text{máx}}$ relativo (edad y $VO_{2\text{máx}}$ $r = 0,10$, $p = 0,023$ y APVC y $VO_{2\text{máx}}$, $r = 0,07$, $p = 0,036$).

Conclusión: Los jóvenes futbolistas presentaron un mejor $VO_{2\text{max}}$ absoluto y relativo, SH y velocidad 20m en relación a los no-futbolistas, tanto por edad cronológica y estado de madurez, aunque, el desempeño físico se observa mejor por estado de madurez, especialmente en el $VO_{2\text{máx}}$ y en el SH. Estos resultados sugieren que los profesionales que trabajan en las categorías de base del fútbol deben considerar el control del estado de madurez como una alternativa para categorizar a los futbolistas cuando se evalúa y trabaja el desempeño físico.

Palabras clave: Jóvenes, fútbol, estado de madurez, aptitud física.

3.2. INTRODUCCIÓN

La condición física es definida como la capacidad de una persona para realizar ejercicio, y está compuesta por las funciones y estructuras que intervienen en la función cardiorrespiratoria, muscular, esquelética, hematocirculatoria, psiconeurológica y endocrino-metabólica (Cossio-Bolaños et al., 2011). Entre los indicadores de la condición física se encuentra el desempeño físico, refiriéndose a este como la valorización de la ejecución de una acción o prueba física. Su abordaje puede ser desde el punto de vista de la salud y del rendimiento físico.

De hecho, considerar la aptitud física desde el punto de vista del rendimiento físico en jugadores de fútbol juvenil es relevante, pues durante la pubertad, los principales componentes de la composición corporal (grasa corporal total, masa corporal magra, contenido mineral óseo) aumentan, lo que implica diferencias en el desempeño físico entre los jóvenes (Gäbler et al., 2018; Siervogel et al., 2003) especialmente en la fuerza muscular y la resistencia aeróbica a lo largo del crecimiento físico y maduración biológica (Albaladejo-Saura et al., 2021)

En ese sentido, identificar las diferencias individuales de madurez entre los adolescentes son relevantes en el deporte juvenil (Malina, 2014), pues las manifestaciones cronológicas en intensidad y duración a lo largo de la pubertad son específicas para cada adolescente y pueden variar significativamente entre cada uno de ellos (Malina et al., 2004).

En general, controlar el estado de madurez en jóvenes futbolistas adquiere importancia vital en el diseño de programas de acondicionamiento físico, en el entrenamiento deportivo y en el desarrollo de la aptitud física de jóvenes deportistas y no deportistas (Granacher et al., 2016; Lloyd et al., 2014; Meylan et al., 2010). Pues es ampliamente conocido que entre jóvenes de una misma edad existen diferencias corporales y de desempeño físico, como en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia (Malina et al., 2015; Malina y Bouchard, 1991; McCloy, 1934).

Por lo tanto, en los últimos años, varios estudios transversales se han propuesto en jóvenes futbolistas (De los reyes y Ortega, 2016; Leite Portella et al., 2011; Pérez-Contreras et al., 2021; Toselli et al., 2022), sin embargo, son escasos los estudios en jóvenes futbolistas que han comparado el desempeño físico con jóvenes no-futbolistas.

Por ello, estudiar el desempeño físico de ambos grupos (futbolistas y no futbolistas) según edad cronológica y estado de madurez es sumamente relevante, sin embargo, en vista de que la edad cronológica no es un indicador preciso para analizar el desempeño físico, este estudio supone que el estado de madurez podría ser un mejor indicador en ambos grupos de futbolistas y no futbolistas.

Por tanto, el objetivo del estudio fue comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no futbolistas chilenos según edad cronológica y estado de madurez.

3.3. METODOLOGÍA

Tipo de estudio y muestra

Se efectuó un estudio de tipo descriptivo-comparativo, con 62 jóvenes futbolistas con un promedio de edad de 16,38 ($\pm 1,30$) años y 77 jóvenes escolares con un promedio de edad de 16,35 ($\pm 1,45$) años. La selección de la muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia. Los jóvenes futbolistas pertenecían a las categorías inferiores de un club profesional de Chile. Estos jóvenes entrenan 5 veces por semana (1 día de competencia y 1 día de descanso). Las sesiones son de 90 minutos por día. El grupo no-futbolista (grupo control) pertenecían a una escuela pública de la región y realizaban clases de educación física una vez por semana (90 minutos/día). Ambos grupos cursaban los mismos grados de educación secundaria con similares características en las condiciones socioeconómicas (ambos grupos estaban matriculados en colegios municipales-públicos), que a menudo son de condición socioeconómica media. El rango de edad osciló desde los 14 hasta los 18 años.

El estudio se desarrolló de acuerdo a las pautas establecidas en la declaración de Helsinki para seres humanos. Fueron incluidos los futbolistas y escolares que contaban con su consentimiento y asentimiento informado autorizado, y que completaron las pruebas y mediciones del estudio. Se excluyeron los jugadores y/o escolares con alguna lesión o dificultad motora-física que afectara su desempeño en las mediciones y los escolares que estuvieran adheridos a la disciplina del fútbol.

Procedimientos

Las evaluaciones de los futbolistas se efectuaron en las instalaciones y laboratorio de la Universidad, mientras que la evaluación de los escolares se ejecutó en las instalaciones del colegio considerando mantener igualdad de condiciones y materiales utilizados para las mediciones correspondientes. En ambos casos se evaluaron inicialmente las medidas antropométricas, luego se efectuó un calentamiento de 10 a 15 minutos para posteriormente realizar las pruebas de aptitud física.

La edad decimal se calculó con la fecha de nacimiento (día, mes, año) y la fecha en que se tomaron las evaluaciones. Las mediciones antropométricas se evaluaron siguiendo las recomendaciones de Ross & Marfell-Jones (1991). Se evaluó el peso corporal (kg) usando una balanza electrónica (Tanita, Reino Unido) con escala de 0 a 150 kg con precisión de 100 g. La estatura de pie con un estadiómetro portátil (Seca GmbH & Co. KG, Hamburgo, Alemania) con precisión de 0.1 mm. Se calculó el índice de masa corporal (IMC) utilizando la fórmula: $IMC = \text{peso (kg)} / \text{estatura}^2 \text{ (m)}$.

El estado de madurez (EM) se estableció para ambos grupos por medio de la ecuación sugerida por Moore et al., (2015), donde estado de madurez (APVC) en hombres es $APVC = -7,999994 + (0,0036124 \times (\text{edad} \times \text{estatura}))$. Para clasificar el EM, se utilizó la sugerencia descrita por Malina y Koziel (2014), considerando a los jóvenes con maduración promedio dentro de -1 a $+1$ APVC, inferiores a -1 APVC como precoz, y superiores a $+1$ APVC como tardío.

La aptitud aeróbica se evaluó por medio de la prueba de ida y vuelta de 20m., de Leger et al., (1988), registrándose la distancia recorrida por cada participante y estimando el consumo máximo de oxígeno en L/min^{-1} y $ml/kg^{-1}/\text{min}^{-1}$.

La prueba de salto horizontal (SH) se realizó según las recomendaciones de Castro-Piñero et al., (2010), donde se utilizó una cinta métrica metálica de 3 m con una precisión de 0,1 cm para medir la distancia del salto horizontal. El ejecutante se ubicó con los pies juntos atrás de una línea delimitada, realizó un movimiento de salto hacia adelante con el máximo impulso posible, buscando la mayor distancia entre la línea de salida y el talón del pie más próximo a esta. La ejecución fue de dos intentos cada persona y se registró la mayor distancia alcanzada.

La prueba de velocidad se efectuó con una carrera de 20 metros con partida alta (de pie), siendo activado el cronómetro en el momento del primer paso de salida hasta la llegada a la meta. Se utilizó un cronómetro digital Casio ® (1/100Seg), siguiendo los procedimientos de Grosser y Starischka (1988).

Estadística

Se verificó la normalidad de los datos en todas las variables, a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, los datos fueron analizados a partir de estadígrafos descriptivos de media aritmética y desviación estándar para ambos grupos (futbolistas y no-futbolistas) a la vez se agruparon según edad y APVC para el análisis de la aptitud física. Para establecer las diferencias de los escolares respecto a los futbolistas se utilizó test t para muestras independientes. Las relaciones entre variables se verificaron por medio del coeficiente de correlación de Pearson, seguido del poder explicativo R^2 y error estándar de estimación (EEE). En todos los casos se adoptó una probabilidad de $p < 0,05$. El análisis estadístico se efectuó en SPSS v.23.0.

3.4. RESULTADOS

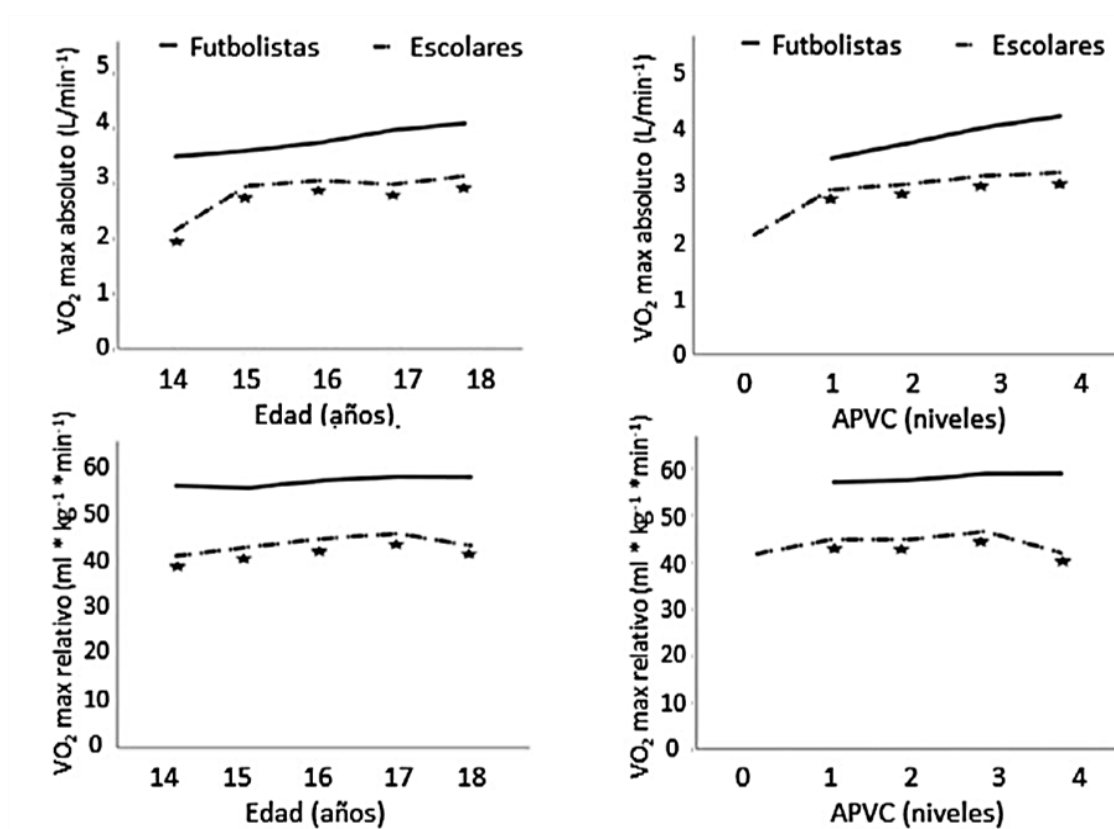
Las variables antropométricas como peso, estatura, CC e IMC se observan en la tabla 7. Los futbolistas presentaron mayor peso corporal a los 14 años en relación a los no-futbolistas ($p < 0,05$), sin embargo, no hubo diferencias significativas en la estatura y el IMC entre ambos grupos y en todas las edades ($p > 0,05$). En general, ambos grupos presentaron similares características antropométricas.

Tabla 7. Características antropométricas de la muestra estudiada.

Edad		Peso (kg)		Estatura (cm)		IMC (kg/m ²)	
(años)	n	X	DE	X	DE	X	DE
Futbolistas							
14	8,00	60,95	8,95	167,88	5,75	21,54	2,20
15	21,00	63,30	6,53	171,96	6,37	21,39	1,64
16	15,00	64,17	6,46	172,17	6,25	21,60	1,14
17	9,00	67,03	5,44	171,91	3,84	22,67	1,46
18	9,00	69,26	4,72	172,13	2,97	23,35	1,01
Escolares							
14	6,00	*51,00	4,82	162,50	4,72	19,31	1,60
15	20,00	67,80	11,00	172,40	7,66	22,83	3,74
16	22,00	67,05	8,41	173,55	4,98	22,27	2,73
17	14,00	64,07	8,60	169,57	5,97	22,23	2,33
18	15,00	72,33	10,24	171,87	7,45	24,55	3,73

Leyenda: CC; Circunferencia de cintura, IMC; Índice de masa corporal, *; Diferencia significativa en relación a los futbolistas ($p < 0,05$)

Las comparaciones de las variables VO_{2max} absoluto y relativo entre ambos grupos se observan en la figura 6. Tanto por edad cronológica y estado de madurez, los jóvenes futbolistas presentaron mayor VO_{2max} absoluto y relativo en comparación con sus similares no-futbolistas. El VO_{2max} de los futbolistas por estado de madurez es más pronunciado y aumenta conforme los APVC se incrementan. En los no-futbolistas, el VO_{2max} absoluto presenta un aumento importante entre los 14 y 15 años y el EM (APVC 0 y 1), luego se mantiene al igual que VO_{2max} relativo con valores estables, tanto por edad cronológica y por estado de madurez (APVC), por lo que, a edades más avanzadas y estado de madurez, los escolares disminuyen el VO_{2max} , sin embargo, en los jóvenes futbolistas se produce un efecto contrario, evidenciando un incremento del VO_{2max} .

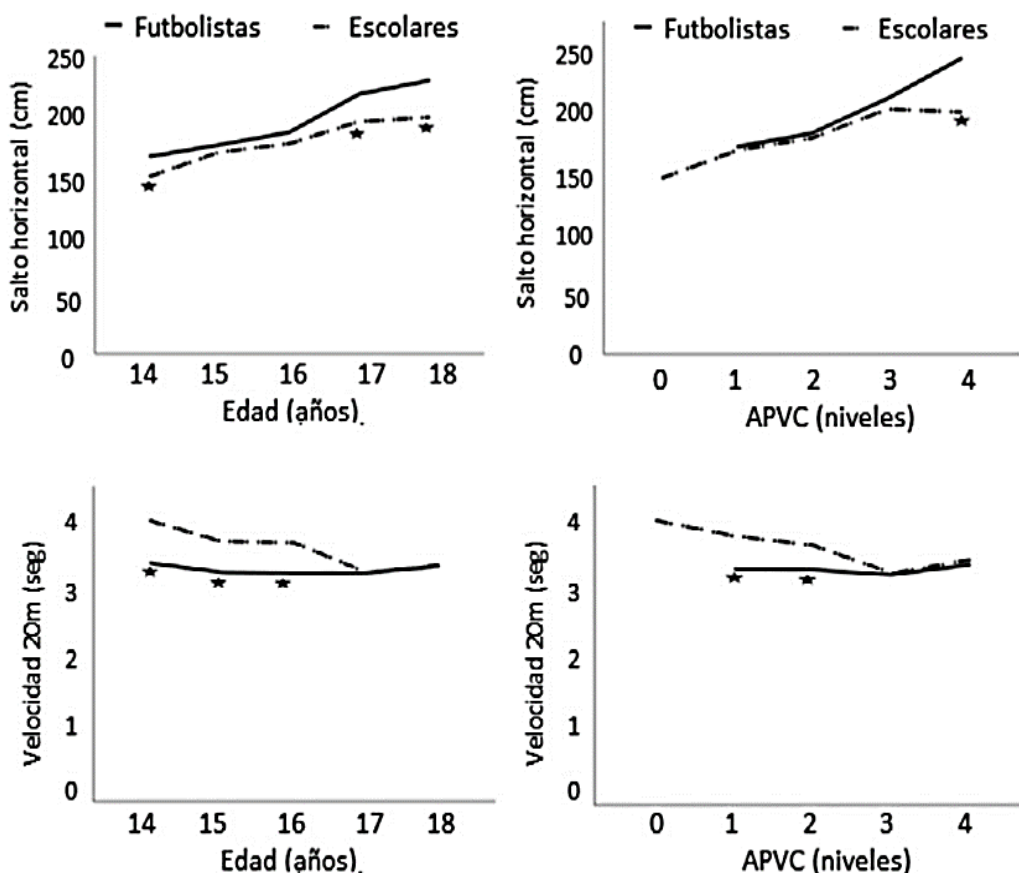


Leyenda: APVC; Años pico de velocidad de crecimiento, *: Diferencia significativa en relación con los futbolistas ($p < 0,05$).

Figura 6. Comparación del consumo máximo de oxígeno por edad cronológica y estado de madurez en futbolistas y no-futbolistas

Las comparaciones del SH y la velocidad (20m) entre futbolistas y no-futbolistas se observan en la figura 7. Cuando se comparó por edad cronológica, los futbolistas presentaron mejores resultados en el SH a los 14, 17 y 18 años y en la velocidad a los 14, 15 y 16 años en comparación con los no futbolistas ($p < 0.05$). Cuando se comparó por estado de madurez (APVC), los futbolistas evidenciaron similar patrón en 1APVC, 2APVC y 3APVC, sin embargo, a los 4APVC, los futbolistas aumentan significativamente la fuerza explosiva en relación a los no-futbolistas ($p < 0,05$). En la velocidad (20m), los futbolistas presentaron mejor rendimiento que sus similares no-futbolistas a los 14, 15 y 16 años ($p < 0.05$), luego los valores fueron similares a los 17 y 18 años. Por estado de madurez, la velocidad de los futbolistas se mantuvo constante desde 1APVC hasta los 4APVC, sin embargo, en los no-futbolistas, la velocidad fue mejorando conforme el estado de madurez avanza, hasta reflejar similares resultados en ambos grupos. En general, los jóvenes

futbolistas en cuanto maduran más, incrementan más el SH, y la velocidad se mantiene constante a lo largo de los años



Leyenda: APVC; Años pico de velocidad de crecimiento, *: Diferencia significativa en relación con los futbolistas ($p < 0,05$).

Figura 7. Comparación del desempeño de del salto horizontal y la velocidad por edad cronológica y estado de madurez en futbolistas y no-futbolistas.

La relación entre el desempeño físico ($VO_{2\text{máx}}$, salto horizontal y velocidad) con la edad cronológica y el estado de madurez se observa en la tabla 8. Hubo correlación positiva significativa ($p < 0,05$) entre la edad y los APVC con el $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y SH, y negativa con la velocidad de 20 metros. No hubo correlación entre la edad y APVC con el $VO_{2\text{máx}}$ relativo ($p = 0,023$, $p = 0,036$). En general, las correlaciones entre las pruebas de aptitud física fueron ligeramente superiores con los APVC que por edad cronológica.

Tabla 8. Relación entre desempeño físico con la edad cronológica y el estado de madurez

Variables	Edad		APVC	
	R	p-valor	R	p-valor
VO _{2max} Relativo (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	0,10	0,235	0,07	0,363
VO _{2max} Absoluto (L/min-1)	0,28**	0,001	0,39**	0,000
Salto Horizontal (cm)	0,54**	0,000	0,55**	0,000
Velocidad 20m (seg)	-0,36**	0,000	-0,38**	0,000

Legenda: APVC; Años pico de velocidad de crecimiento, *: Diferencia significativa en relación con los futbolistas (p<0,05).

3.5. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no-futbolistas según edad cronológica y estado de madurez. Los resultados indican que el VO_{2max} absoluto y relativo, el SH y la velocidad presentaron mejor desempeño físico en los futbolistas en comparación con sus similares no futbolistas.

Estos hallazgos son consistentes con algunos estudios efectuados en jóvenes deportistas y no deportistas donde se reporta mejor desempeño físico debido a los entrenamientos sistemáticos a los que son sometidos (Formenti et al., 2021; Trecroci et al., 2016; Williams y Hodges, 2005), e incluso, cuando se comparan jóvenes futbolistas según niveles competitivos, los jóvenes de élite son más rápidos que los jugadores de sub-élite en las pruebas de velocidad máxima, tiempo de sprint e incluso, son más resistentes y fuertes (Reilly et al., 2000; Toselli et al., 2022). De hecho, las actividades basadas en estímulos específicos y no específicos del deporte mejoran el desempeño físico ostensiblemente de jóvenes que practican regularmente un deporte específico (Baker et al., 2003; Trecroci et al., 2016), por lo que mejoran su desempeño físico y las condiciones fisiológicas de adaptaciones agudas y crónicas en relación a los que no practican regularmente un deporte específico (Baker et al., 2003).

Por otro lado, verificamos también que el estado de madurez es un mejor indicador que la edad cronológica, ya que las correlaciones entre el estado de madurez con el VO_{2max} absoluto, SH y velocidad fueron ligeramente superiores respecto a la edad cronológica. Estos hallazgos nos indican que el estado de madurez evaluado por medio de los APVC es un mejor indicador para controlar la aptitud física, no solo de los jóvenes futbolistas, sino

también de los no futbolistas. Algunos estudios anteriores ya habían confirmado estos hallazgos (Fernandez-Fernandez et al., 2023; Kunrath et al., 2017; Živković et al., 2022), en el que sugieren el uso de una técnica no invasiva para determinar el estado de madurez como la ecuación antropométrica de Moore et al. (2015).

En consecuencia, controlar el estado de madurez en adolescentes deportistas es importante porque ayuda a equilibrar la competencia entre los deportistas (Malina et al., 2005), mejorar el diseño de los programas deportivos, categorizar a los jóvenes (Granacher et al., 2016; Lloyd et al., 2014; Meylan et al., 2010), apoyar el desarrollo y selección de los talentos deportivos (Cumming et al., 2017), así como la selección, programación y evaluación de las actividades que involucren indicadores de aptitud física, tanto en el ámbito deportivo, como escolar, respectivamente.

Entre las potencialidades de este estudio se destaca que es uno de los primeros que compara futbolistas con no futbolistas (escolares) en Chile. Además, la ecuación de Moore utilizada en este estudio ha sido validada previamente para una muestra de escolares de Chile (Cossio-Bolaños et al., 2021a), lo cual, garantiza el uso de la ecuación para determinar el estado de madurez de los participantes investigados. Por otro lado, entre las limitaciones de este estudio, se encuentra que la amplitud de la muestra principalmente en los futbolistas no alcanzó a cubrir la etapa previa al momento de maduración (0APCV), lo que hubiese permitido una mejor observación de la variabilidad de la aptitud física. Además, al tratarse de un diseño transversal no se pueden estipular relaciones causa efecto, motivo por el cual, se podrían considerar estos elementos para futuras investigaciones. Además, sería atractivo e interesante replicar este estudio con una muestra de sexo femenino o considerando ambos sexos, ya que tanto la aptitud física, así como el proceso madurativo en las mujeres tienen sus características propias respecto a los hombres.

3.6. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio han evidenciado que los jóvenes futbolistas presentaron un mejor VO_{2max} absoluto y relativo, SH y velocidad 20m en relación a los no-futbolistas, tanto por edad cronológica y estado de madurez, aunque, el desempeño físico se observa mejor por estado de madurez, especialmente en el VO_{2max} y en el SH. Estos resultados sugieren que los profesionales que trabajan en las categorías de base del fútbol deben considerar el control del estado de madurez como una alternativa para categorizar a los futbolistas cuando se evalúa y se entrena las capacidades físicas.

3.7. REFERENCIAS

- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., González-Gálvez, N., & Esparza-Ros, F. (2021). Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 328. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010328>
- Baker, J., Cote, J., & Abernethy, B. (2003). Sport-specific practice and the development of expert decision-making in team ball sports. *Journal of Applied Sport Psychology*, 15(1), 12-25.
- Castro-Piñero, J., Ortega, F. B., Artero, E. G., Girela-Rejón, M. J., Mora, J., Sjöström, M., & Ruiz, J. R. (2010). Assessing muscular strength in youth: usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1810-1817.
- Cossio-Bolaños, M.A., Eduardo-Espanhol, J., Monje, C.M., & Arruda, M.D. (2011). Desempeño de la condición física relacionada a la salud en función del índice nutricional en niños de moderada altitud. *Pediatría de México*. 2011;13(3):96-102.
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 34-47.
- De los Reyes, Y. G., & Ortega, J. A. F. (2016). Características de jóvenes futbolistas colombianos en el terreno de juego. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 4(126), 55-63.
- Fernandez-Fernandez, J., Canos-Portales, J., Martinez-Gallego, R., Corbi, F., & Baiget, E. (2023). Effects of maturation on lower-body neuromuscular performance in youth tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(1), 167-173. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004187>
- Formenti, D., Rossi, A., Bongiovanni, T., Campa, F., Cavaggioni, L., Alberti, G., ... & Trecroci, A. (2021). Effects of non-sport-specific versus sport-specific training on physical performance and perceptual response in young football players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1962.
- Gäbler, M., Prieske, O., Hortobágyi, T., & Granacher, U. (2018). The Effects of Concurrent Strength and Endurance Training on Physical Fitness and Athletic Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 1057. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01057>

- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., Gollhofer, A., & Behm, D. G. (2016). Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*, 7, 164. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00164>
- Grosser M, & Starischka S. (1988). *Test de la Condición Física*. Barcelona: Ediciones Martinez Roca, S.A.
- Kunrath, C. A., Gonçalves, E., Teoldo, I., & Assis Marques Barbosa, M. (2017). Maturação somática e aptidão física em jovens jogadores de futebol. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 10(4), 187-191. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.01.002>
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). La prueba de carrera de 20 metros para el fitness aeróbico es de varias escenas. *Revista de Ciencias del Deporte*, 6(2), 93-101.
- Leite Portella, D., Arruda, M. D., & Cossio-Bolanos, M. A. (2011). Valoración del rendimiento físico de jóvenes futbolistas en función de la edad cronológica. *Apunts. Educació Física i Esports*, 106, 42-49. [https://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2011/4\).106.05](https://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2011/4).106.05)
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & Croix, M. B. D. S. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464.
- Malina, R. M. (2014). Top 10 research questions related to growth and maturation of relevance to physical activity, performance, and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 157-173.
- Malina, R. M., & Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *Journal of Sports Sciences*, 32(5), 424-437. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828850>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Human Kinetics.
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Morano, P. J., Barron, M., & Miller, S. J. (2005). Maturity status of youth football players: a noninvasive estimate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 1044-1052.
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., e Silva, M. J. C., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852-859.

- Malina, R.M., Bouchard, C. (1991). *Growth Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Mccloy, CH. (1934). *The Measurement of Athletic Power*. New York: Barnes & Co;1-36.
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 5(4), 571-592
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1755-64.
- Pérez-Contreras, Jorge, Merino-Muñoz, Pablo, & Aedo-Muñoz, Esteban. (2021). Vínculo entre composición corporal, sprint y salto vertical en futbolistas jóvenes de élite de Chile. *MHSalud*, 18(2), 60-76. <https://dx.doi.org/10.15359/mhs.18-2.5>
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683.
- Ross, W. D., & Marfell-Jones, M. J. (1991). Kinanthropometry. In J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Geeny (Eds.), *Physiological Testing of Elite Athlete* (pp. 223, 308–314). Human Kinetics.
- Siervogel, R. M., Demerath, E. W., Schubert, C., Remsberg, K. E., Chumlea, W. C., Sun, S., Czerwinski, S. A., & Towne, B. (2003). Puberty and body composition. *Hormone Research*, 60(Suppl 1), 36–45. <https://doi.org/10.1159/000071224>
- Toselli, S., Mauro, M., Grigoletto, A., Cataldi, S., Benedetti, L., Nanni, G., . . . Greco, G. (2022). Assessment of body composition and physical performance of young soccer players: Differences according to the competitive level. *Biology*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/biology11060823>
- Trecroci, A., Milanović, Z., Rossi, A., Broggi, M., Formenti, D., & Alberti, G. (2016). Agility profile in sub-elite under-11 soccer players: is SAQ training adequate to improve sprint, change of direction speed and reactive agility performance? *Research in Sports Medicine*, 24(4), 331-340.
- Williams, A. M., & Hodges, N. J. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: Challenging tradition. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 637-650.
- Živković, M., Stojiljković, N., Trajković, N., Stojanović, N., Đošić, A., Antić, V., & Stanković, N. (2022). Speed, Change of Direction Speed, and Lower Body Power in Young Athletes and Nonathletes According to Maturity Stage. *Children*, 9(2), 242. <https://doi.org/10.3390/children9020242>

CAPÍTULO 4

ESTUDIO 2:

EL ÁREA DE LA SUPERFICIE CORPORAL ES UN PREDICTOR DEL ESTADO DE MADUREZ EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ESCOLARES

4. ESTUDIO 2. EL ÁREA DE LA SUPERFICIE CORPORAL ES UN PREDICTOR DEL ESTADO DE MADUREZ EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ESCOLARES

4.1. RESUMEN

Introducción: Generalmente, el área de superficie corporal (ASC) cambia significativamente durante el crecimiento y la maduración. Estos aumentos presagian una posible relación entre el tamaño corporal determinado por ASC y el estado de maduración en niños y adolescentes.

Objetivo: Determinar la relación entre el estado de madurez (EM) obtenidos por métodos antropométricos no-invasivos con el ASC en niños y adolescentes de ambos sexos en una población regional de Chile. Además, se buscó verificar el tipo de relación lineal o no lineal entre el EM y el ASC en ambos sexos.

Metodología: Se diseñó un estudio descriptivo (transversal) en 950 niños y adolescentes de ambos sexos (539 hombres y 411 mujeres). El rango de edad osciló entre 6,0 a 17,9 años. Se evaluó las medidas antropométricas: peso corporal, estatura de pie, estatura sentada. El EM se evaluó por medio de dos técnicas antropométricas no-invasiva. Ambas técnicas predicen los años de pico de velocidad de crecimiento (APVC) a través de una ecuación para cada sexo. Se estimó el ASC (m^2) por medio de la ecuación de Haycock.

Resultados: El R^2 en el modelo lineal es relativamente inferior ($R^2 = 0,80$ a $0,89$ en hombres y $0,74$ a $0,66$ en mujeres) en relación al modelo no lineal cuadrático ($R^2 = 0,81$ en hombres y $0,76$ a $0,69$). El modelo cuadrático no lineal reflejó un ajuste adecuado (RMSE) para el conjunto de datos, siendo en hombres (RMSE = $1,080$ y $1,125$), mientras que en mujeres (RMSE = $1,779$ y $1,479$).

Conclusión: El ASC se asocia positivamente con el EM determinado por dos métodos no-invasivos en niños y adolescentes chilenos: El modelo no lineal cuadrático se ajustó mejor a la distribución de datos. Los resultados sugieren el uso del ASC como un posible predictor del estado de madurez en jóvenes chilenos.

Palabras clave: Estado de madurez, Superficie corporal, Niños, Adolescentes.

4.2. INTRODUCCIÓN

La maduración se define como una progresión de cambios cuantitativos o cualitativos que conducen de un estado indiferenciado o inmaduro, a un estado altamente organizado, especializado y maduro (Cameron y Bogin, 2012). Todos los tejidos, órganos y sistemas del cuerpo humano maduran, pero lo hacen en diferentes tiempos y ritmos (Beunen et al., 2006).

En los últimos años se ha observado una amplia preocupación entre los investigadores sobre el uso de los indicadores de maduración biológica en niños y adolescentes de diversas poblaciones del mundo (Cossio-Bolaños et al., 2021a, b; Gillison et al., 2017; Koziel y Malina, 2018; Weber et al., 2022). Porque estos indicadores permiten identificar eventos o etapas reconocibles dentro de los continuos cambios que ocurren durante el proceso de maduración (Cameron y Bogin, 2012).

De hecho, los indicadores clásicos que miden el estado de madurez como la edad esquelética (SA) y las características sexuales secundarias que a menudo son considerados poco prácticos e invasivos (Cossio-Bolaños et al., 2021a; Koziel y Malina, 2018). Así, en los últimos años han ido surgiendo técnicas no-invasivas que permiten predecir los años a partir de la velocidad de la altura máxima (un valor de compensación de la madurez). Esto, mediante el uso de variables antropométricas, como el peso, la estatura de pie, la estatura sentada y la longitud de las piernas (diferencia entre estatura y estatura sentada) (Mirwald et al., 2002), y el peso y estatura de pie (Moore et al., 2015).

Ambas técnicas han sido utilizadas ampliamente en diversos estudios con el propósito de categorizar el estado de madurez en niños y adolescentes (Cossio-Bolaños et al., 2021b; Drenowatz y Greier, 2018; Hogan et al., 2022; Koziel y Malina, 2018). Incluso se utiliza para verificar las diferencias interindividuales en los deportes juveniles, especialmente durante la transición a la adolescencia (Malina et al., 2007). En consecuencia, investigar el estado de madurez de la creciente población escolar y el desarrollo somático en diversas regiones del mundo resulta sumamente relevante.

En general, la literatura destaca que los métodos invasivos tradicionales traen consigo dificultades logísticas, limitando sus usos y aplicaciones (Malina y Beunen, 1996). Por lo tanto, los padres, las organizaciones deportivas, las escuelas y los comités de ética suelen ser reacios a utilizar estos protocolos (Malina et al., 2007). En este contexto, es

necesario resaltar nuevas alternativas para estimar el estado de madurez, involucrando el uso de indicadores somáticos no invasivos que demandan bajo riesgo físico y psicológico entre los jóvenes.

De hecho, históricamente, el área de superficie corporal (ASC) se ha utilizado ampliamente para estimar el tamaño corporal y estandarizar parámetros fisiológicos desde principios del siglo XX en adultos (Du Bois y Du Bois, 1916; Meeh, 1879) y en niños (Boyd, 1935; Mosteller, 1987). En general, el ASC cambia significativamente en la etapa del crecimiento y maduración con el transcurso de la edad, ya que aumenta de 0,2 m² al nacer a 1,73 m² en la edad adulta, junto con la maduración de la función de los órganos (Feber y Krásničanová, 2012).

Estos incrementos durante la etapa del crecimiento y maduración biológica presagian una posible relación entre el tamaño corporal determinado por el ASC con el estado de madurez en niños y adolescentes. Hasta donde sabemos, no se han encontrado estudios nacionales e internacionales que hayan probado e identificado indicadores antropométricos no invasivos para predecir el estado de madurez durante la etapa de crecimiento y desarrollo somático. En consecuencia, hasta donde sabemos, esta información podría contribuir al control de las variaciones interindividuales en el estado de madurez entre escolares y atletas jóvenes.

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre el estado de madurez obtenidos por métodos antropométricos no invasivos con el ASC en niños y adolescentes de ambos sexos de una población regional de Chile. Adicionalmente, se buscó verificar el tipo de relación lineal o no lineal entre el EM con la ASC en ambos sexos.

4.3. METODOLOGÍA

Tipo de estudio y muestra

Se diseñó un estudio descriptivo (transversal) en 950 niños y adolescentes de ambos sexos (539 hombres y 411 mujeres). El rango de edad osciló entre 6,0 a 17,9 años. Se invitó a los escolares a participar voluntariamente en el estudio. Los participantes provinieron de 04 escuelas primarias y secundarias de la región del Maule (Chile). La selección de la muestra fue no probabilística (cuotas).

Los colegios que participaron en el estudio son públicos y están localizados en la zona urbana de la región. Uno de los investigadores, solicitó permiso a la Dirección de cada colegio para recopilar los datos antropométricos.

Se incluyeron en el estudio todos los niños y adolescentes cuyos padres y/o tutores firmaron el consentimiento informado para participar en el estudio y aquellos que se encontraban dentro del rango de edad establecido. Se excluyeron los estudiantes que presentaron problemas locomotores o dificultades físicas que impidieron la evaluación de las mediciones antropométricas y aquellos que no asistieron o no completaron las mediciones antropométricas.

El estudio fue previamente aprobado por el Comité de Ética de la Universidad (protocolo n°. 100/2019). El protocolo se basó en el Acuerdo de la Declaración de Helsinki (Asociación Médica Mundial) para seres humanos.

Técnicas y procedimientos

El procedimiento de recolección de datos se efectuó en las instalaciones de cada colegio. El departamento de Educación física se acondicionó para evaluar las medidas antropométricas. El proceso de recolección de datos se efectuó en los meses de octubre y noviembre del 2022 en horario escolar (8:00 am a 13:00 pm).

Las medidas antropométricas fueron evaluadas de acuerdo al protocolo descrito por Ross y Marfell-Jones (1991). Los escolares fueron pesados descalzos, en pantalones cortos y camiseta. Se utilizó una báscula digital Tanita (Ltd Japan) con 100g de precisión y una escala de 0 a 150 kg. La estatura (m) se evaluó descalzo ubicado en el plano de Frankfurt. Se utilizó un estadiómetro de aluminio graduado en milímetros de marca Seca, con una escala de 0 - 2,50 m y con precisión de 0,1 cm. La altura tronco-cefálica (estatura sentada) fue medida usando un banco de madera con una altura de 50 cm, con una escala de medición de 0 a 150 cm y con una precisión de 1mm.

El estado de madurez de los niños y adolescentes se evaluó por medio de las técnicas antropométricas no-invasivas propuestas por Mirwald et al. (2002) y Moore et al. (2015). La primera se basa en edad cronológica, peso, estatura de pie, estatura sentada y la longitud de las piernas (la altura de pie menos la altura de sentado) y sus interacciones. La segunda, utiliza la edad cronológica, peso y estatura. Ambas técnicas predicen los años de

pico de velocidad de crecimiento (APVC) a través de una ecuación de regresión para cada sexo. Estas técnicas indican el tiempo antes o después del PVC.

La clasificación del EM se efectuó mediante lo descrito por Malina y Koziel (2014), clasificando como promedio a los jóvenes de -1 a +1 años de PHV, a los menores de -1 años de PHV clasificados como precoces y a los mayores de +1 años de PHV clasificados como tardíos.

El ASC (m^2) se estimó por medio de la ecuación de Haycock et al. (1978). Esta ecuación fue propuesta en bebés, niños y adultos a partir de la altura (longitud) y el peso y sus correspondientes ajustes alométricos: $ASC = 0,024265 \times \text{peso}(\text{kg})^{0,5378} \times \text{estatura}(\text{cm})^{0,3964}$.

El control de calidad de las mediciones antropométricas fue determinado por el error técnico de medida ETM relativo (intra-evaluador e inter-evaluador). Se evaluó al 10% de la muestra total. Para ambos casos, los valores oscilaron entre 0,8 y 1,2%.

Análisis estadístico

La distribución normal de los datos se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se efectuó análisis estadístico descriptivo de media aritmética, desviación estándar y rango. Las diferencias en cada género se determinó con la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Las regresiones por sexo y para cada método de predicción del EM se realizaron utilizando el modelo lineal y cuadrático. Se calculó el coeficiente de determinación R^2 y el error cuadrático medio (RMSE). El EM de Mirwald et al. (2002) y Moore et al. (2015) se consideraron como variables dependientes, mientras que el ASC, como independiente: para Hombres [EM-Mirwald = $-11,297 + 6,594 \times ASC$ (Modelo lineal), EM-Mirwald = $-16,792 + 14,418 \times ASC - 2,636 \times ASC^2$ (Modelo cuadrático)]; Mujeres [EM-Mirwald = $-14,462 + 11,226 \times ASC$ (Modelo lineal), EM-Mirwald = $-23,905 + 24,909 \times ASC - 4,766 \times ASC^2$ (Modelo cuadrático)].

Hombres [EM-Moore = $-10,694 + 6,810 \times ASC$ (Modelo lineal), EM-Moore = $-17,098 + 15,929 \times ASC - 3,072 \times ASC^2$ (Modelo cuadrático)]; Mujeres [EM-Moore = $-10,525 + 7,767 \times ASC$ (Modelo lineal), EM-Moore = $-20,984 + 22,918 \times ASC - 5,278 \times ASC^2$ (Modelo cuadrático)],

En todos los casos se consideró significativa una $p < 0,05$. Los cálculos se realizaron en hojas de cálculo de Excel, SPSS 18.0 y en R.

4.4. RESULTADOS

Las variables antropométricas que caracterizan a la muestra estudiada se pueden observar en la tabla 9. Las categorías del EM se determinaron por dos métodos (Mirwald y Moore). Cuando se comparó la edad y las variables antropométricas por Mirwald y Moore, hubo diferencias significativas entre ambos métodos en la categoría pre púber y en la categoría púber ($p < 0,05$), sin embargo, no hubo diferencias entre ambos métodos en la categoría post púber ($p > 0,05$).

En las mujeres, hubo diferencias significativas entre ambos métodos en la categoría púber ($p < 0,01$), sin embargo, en las demás categorías como pre púber y post púber, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). En general, los escolares de ambos sexos categorizados como pre púberes, evidenciaron menor edad y parámetros antropométricos inferiores en relación a los categorizados como púberes y post púberes ($p < 0,05$), incluso, los púberes presentaron valores inferiores en relación a los posts púberes ($p < 0,05$).

Tabla 9. Características antropométricas de niños y adolescentes categorizados por estado de madurez

EM	n	Edad (años)		Peso (kg)		Estatura (cm)		ATC (cm)		LP (cm)		ASC (m²)	
		X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE	X	DE
Categorías		EM Hombres (Mirwald)											
Pre Púber	295	10,7	2,6	41,6	13,1	142,8	15,3	74,2	7,2	68,6	9,6	1,27	0,25
Púber	70	14,8a	0,7	62,8a	10,8	167,3a	5,4	86,9a	2,6	80,4a	5,5	1,70a	0,14
Post Púber	174	16,8a,b	0,8	70,3a,b	12,2	171,4a,b	6,4	90,4a,b	3,3	81,0a,b	5,8	1,82a,b	0,15
Total	539	13,2	3,4	53,6	18,3	155,2	18,2	81,1	9,6	74,2	10,1	1,50	0,33
		EM hombres (Moore)											
Pre Púber	188	9,2*	1,9	35,4*	10,3	133,8*	10,8	70,4*	5,7	63,4*	7,1	1,13*	0,19
Púber	177	13,9†	1,1	56,5†	11,7	161,4†	7,2	83,8†	5,0	77,6†	5,5	1,58†	0,16
Post Púber	174	16,8	0,8	70,3	12,2	172,1	5,6	89,8	3,9	82,3	5,2	1,82	0,15
Total	539	13,2	3,4	53,6	18,3	155,2	18,2	81,1	9,6	74,2	10,1	1,50	0,33
		EM Mujeres (Mirwald)											
Pre Púber	120	8,8	1,5	34,3	7,9	132,8	9,8	69,3	4,7	63,5	5,9	1,11	0,16
Púber	29	11,2a	0,6	46,7a	8,8	149,8a	4,5	77,7a	3,7	72,0a	3,7	1,39a	0,12
Post Púber	262	15,4a,b	2,0	59,0a,b	12,0	157,6a,b	5,5	83,2a,b	4,1	74,4a,b	4,7	1,59a,b	0,15
Total	411	13,1	3,5	50,9	15,5	149,8	13,1	78,8	7,6	71,1	7,0	1,43	0,26
		EM Mujeres (Moore)											
Pre Púber	101	8,5	1,4	32,8	7,2	130,4	8,5	68,2	4,2	62,2	5,2	1,08	0,14
Púber	117	11,9†	1,1	50,8†	9,8	152,9†	6,6	79,5†	4,2	73,4†	4,2	1,46†	0,15
Post Púber	193	16,3	1,2	60,5	12,6	158,2	5,4	83,8	4,2	74,3	4,9	1,61	0,16
Total	411	13,1	3,5	50,9	15,5	149,8	13,1	78,8	7,6	71,1	7,0	1,43	0,26

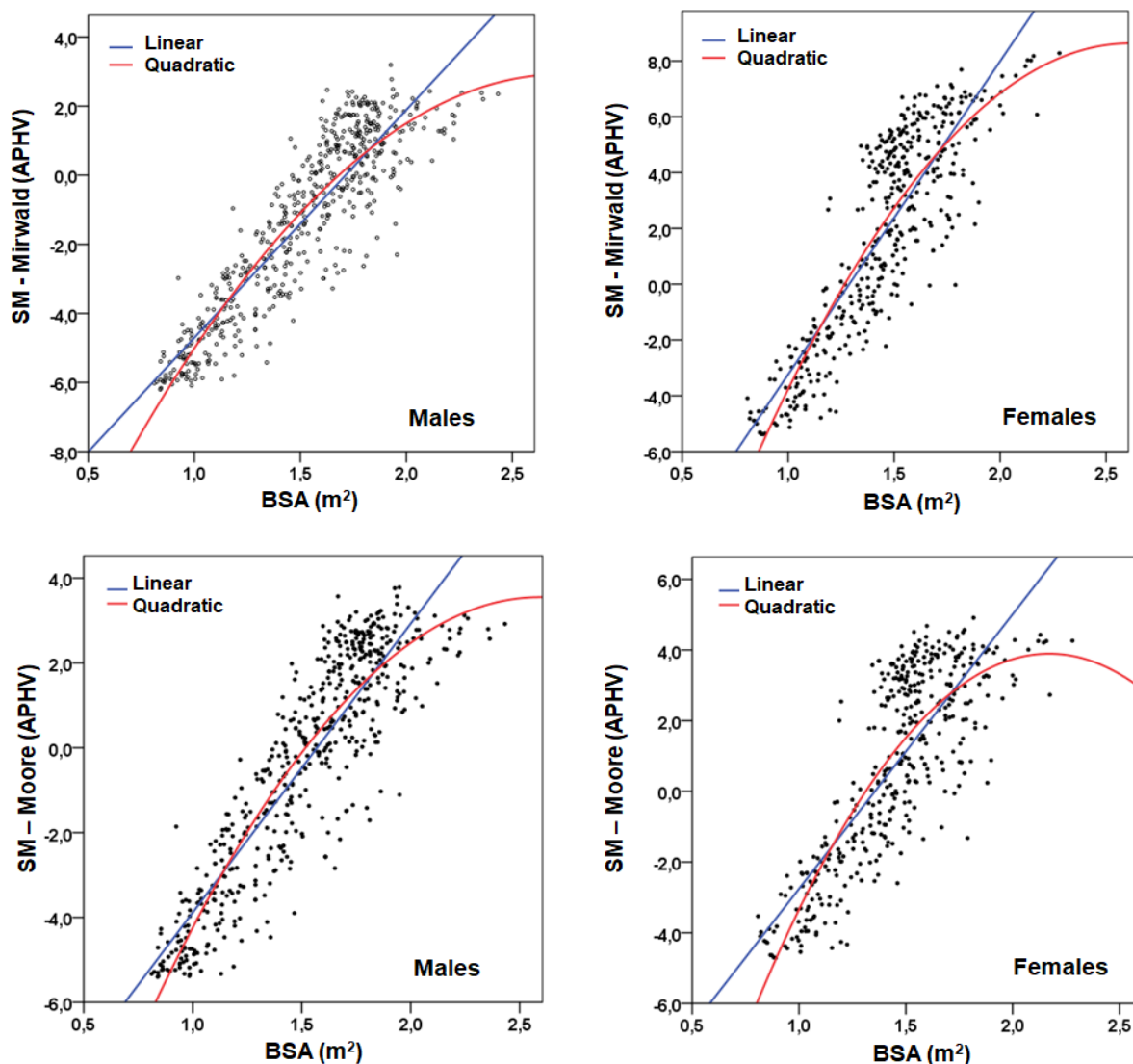
Leyenda: EM: Estado de madurez, ATC: Altura tronco-cefálica, LP: longitud de piernas, ASC: Área de superficie corporal, x: Media, DE: Desviación estándar, *: Diferencia significativa entre categorías de pre púber, †: diferencia significativa entre categorías de púber.

Los valores de regresión lineal y no lineal entre el EM con el ASC se pueden ver en la tabla 10. El R^2 en el modelo lineal es relativamente inferior al modelo no lineal (cuadrático). El modelo cuadrático evidenció un poder explicativo superior desde 1 a 3%. En general, el modelo cuadrático no lineal reflejó un ajuste adecuado (RMSE) para el conjunto de datos, siendo en hombres RMSE = 1,080 y 1,125, mientras que en mujeres RMSE = 1,779 y 1,479. En la figura 8 se observa una parábola producto del modelo cuadrático, donde los hombres púberes (-1APHV a +1PHV) evidenciaron un ASC desde 1,55 a 1,79 m² por la técnica de Mirwald y 1,57 a 1,79 m² por la técnica de Moore, mientras tanto, las mujeres púberes (-1APHV a +1PHV) reflejaron un ASC desde 1,32 a 1,45 m² por Mirwald y 1,36 a 1,58 m² por Moore.

Tabla 10. Modelos de regresión lineal y no-lineal entre el EM por ambos métodos con el ASC en niños y adolescentes de ambos sexos.

Modelos	EM Mirwald et al. (2002)						EM Moore et al. (2015)					
	R ²	F	g1	g2	P	RMSE	R ²	F	g1	g2	P	RMSE
Hombres												
Lineal	0,80	2147,8	1	537,0	0,000	1,130	0,79	2063,5	1	537,0	0,000	1,190
Cuadrático	0,81	1206,7	2	536,0	0,000	1,080	0,81	1193,2	2	536,0	0,000	1,125
Mujeres												
Lineal	0,74	1186,9	1	409,0	0,000	1,840	0,66	778,1	1	409,0	0,000	1,570
Cuadrático	0,76	653,9	2	408,0	0,000	1,779	0,69	469,1	2	402,0	0,000	1,479

Leyenda: EM: Estado de madurez, RMSE: error cuadrático medio



Leyenda: BSA: área superficie corporal, APHV: Años pico de velocidad de crecimiento, SM: estado de madurez

Figura 8. Relación lineal y no lineal entre los valores del ASC con el EM determinado por medio de dos técnicas no-invasivas

Los resultados del estudio han demostrado que existe relación lineal y no lineal entre el EM y el ASC en ambos sexos, sin embargo, el mejor ajuste en la concentración de los datos se observó en la relación no lineal cuadrática, donde el poder de explicación fue superior del 1 a 3% y el RMSE evidenció valores inferiores (RSME=1,080 y 1,175 en hombres y RMSE= 1,779 y 1,479 en mujeres), respecto al modelo lineal (RSME= 1,130 y 1,190 en hombres y RMSE= 1,740 y 1,570 en mujeres).

Estos hallazgos indican que el ASC puede ser considerado como un excelente predictor del EM de niños y adolescentes de una población regional de Chile. Por lo que futuros estudios que pretendan proponer nuevos métodos de evaluación del EM mediante antropometría podrían incluir el ASC en sus modelos de predicción.

De hecho, desde la publicación del estudio de Mirwald et al. (2002), en el que se propone la ecuación de predicción del EM en ambos sexos, han transcurrido más de 20 años, en los que ha sido ampliamente utilizada en poblaciones escolares (Cossio-Bolaños et al., 2021a; Pezoa-Fuentes et al., 2023; Portella et al., 2017) y deportivas (Montenegro Barreto et al., 2021; Radnor et al., 2020; Toselli et al., 2022), incluso, el mismo grupo de estudio utilizando la misma base de datos, realizó un ajuste a las ecuaciones iniciales, en el que se eliminó la estatura sentada, y publicó nuevas ecuaciones con un menor error de predicción (conocidas como ecuaciones de Moore et al. (2015)).

En este estudio verificamos un poder explicativo similar (relación cuadrática) entre ASC con la ecuación de Mirwald y Moore. (81%). Sin embargo, en las mujeres, el poder explicativo fue mayor con la ecuación de Mirwald. (79%) y menor con la Ecuación de Moore. (69%). Estos hallazgos indican que parece que la técnica de Mirwald y Moore pueden ser métodos apropiados para estimar la EM en hombres, mientras que en mujeres sólo la técnica de Mirwald es apropiada.

De hecho, los pocos estudios realizados sobre este tema generalmente varían en sus estimaciones de regular a moderada entre los métodos (Parr et al., 2020; Salter et al., 2022). Por lo tanto, dada la ausencia de un método de criterio para comparar las estimaciones de EM, es necesario que estudios futuros planifiquen una investigación longitudinal a gran escala para aclarar estas brechas y discrepancias entre los métodos.

En general, la ecuación original de Mirwald ha sido criticada por su capacidad de predicción, en el que se destacan varias limitaciones en ambos sexos (Kozziel y Malina, 2018; Malina y Kozieł, 2014; Malina et al., 2016). Incluso, recientemente algunos estudios destacan que la ecuación modificada por Moore et al (2015) presenta algunas limitaciones importantes que deben ser consideradas por los investigadores (Kozziel y Malina, 2018; Malina y Kozieł, 2014; Salter et al., 2021). Por tanto, quizás podría ser oportuno incluir el ASC en estas dos técnicas que predicen el EM en niños y adolescentes de ambos sexos.

Además, se debe considerar la relación no lineal en ambas técnicas, lo que podría mejorar el poder explicativo en los modelos de predicción.

En esencia, el tamaño y la constitución corporal a lo largo de los años ha ido cambiando en pacientes pediátricos de origen étnico/racial (Akkawi et al., 2020; Nwoye, 1989; Orimadegun y Omisanjo, 2014), por lo que las ecuaciones que predicen el EM posiblemente requieran actualizar sus modelos de regresión. Es ampliamente conocido que las técnicas utilizadas para predecir el EM necesitan evaluaciones periódicas, por lo que el ASC podría ser un predictor apropiado para controlar tales variaciones en la forma y constitución del cuerpo durante la etapa del crecimiento y desarrollo.

En resumen, si bien el ASC se relaciona con ambas técnicas del EM en niños y adolescentes de ambos sexos, clásicamente el ASC ha sido considerada por Brozek et al. (1987) como una medida establecida desde hace mucho tiempo en mediciones como el recubrimiento, triangulación, planimetría, predicción a partir de las principales dimensiones corporales. Por lo tanto, se debe prestar atención como un posible predictor del EM, ya que no es sorprendente que en la literatura se hayan informado varias expresiones que correlacionan el área de superficie corporal con mediciones directas de la masa y longitud corporal (Wang y Hihara, 2004), aunque, es necesario considerar otras variables y métodos adicionales o alternativos como complemento para estimar la maduración somática (Malina et al., 2021).

De hecho, la maduración es un proceso complejo que involucra cambios en la estructura y función del cuerpo, y estos cambios pueden variar entre individuos y poblaciones. Por lo tanto, su evaluación mediante técnicas antropométricas puede ayudar a predecir el desplazamiento de la madurez y adaptarse a las diferencias individuales entre los adolescentes (Mirwad et al., 2002).

Mientras tanto, el estudio de metodologías para evaluar la maduración biológica durante la etapa de crecimiento y desarrollo sigue siendo una brecha, por lo que los estudios futuros deberían continuar abordando estrategias para generar nuevas metodologías no invasivas.

En general, este estudio tiene algunas limitaciones en su diseño transversal, por lo que estudios futuros deberían utilizar diseños longitudinales para confirmar nuestros hallazgos. Por ejemplo, el indicador de madurez más utilizado en los estudios

longitudinales durante la adolescencia es el pico de velocidad de crecimiento PVC que requieren mediciones seriadas durante varios años en torno a los años que rodean la aparición de la velocidad máxima de crecimiento (Malina et al., 2004). Además, destacamos también que no fue posible modelar estos datos de niños y adolescentes de ambos sexos a través de modelos matemáticos como Preece-Baines (1978) y Sitar (Cole et al., 2010). Se sugiere que futuros estudio analicen tales modelos y verifiquen las asociaciones con el PVC. Sin embargo, sin perjuicio de lo anterior, destacamos que este estudio es una de las primeras investigaciones que demostró la utilidad del ASC en niños y adolescentes, incluso, esta información puede ser útil para investigadores que cuenten con bases de datos longitudinales, en el que se pueda probar el uso y aplicabilidad del ASC en niños y adolescentes de diversas regiones geográficas del mundo.

4.5. CONCLUSIÓN

Este estudio concluye que el ASC se asocia positivamente con el EM determinado mediante dos métodos no invasivos en niños y adolescentes chilenos: El modelo cuadrático no lineal se ajusta mejor a la distribución de los datos. Los resultados sugieren el uso potencial del ASC como un posible predictor de EM en atletas jóvenes y no atletas y abren nuevas posibilidades y alternativas en la investigación de la maduración biológica para explorar su validez y confiabilidad.

4.6. REFERENCIAS

- Akkawi E. R., Lindemalm, S., Nydert, P., & Eksborg, S. (2021). Estimation of body surface area in neonates, infants, and children using body weight alone. *International Journal of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 8(4), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpam.2020.09.003>
- Beunen, G. P., Rogol, A. D., & Malina, R. M. (2006). Indicators of biological maturation and secular changes in biological maturation. *Food and Nutrition Bulletin*, 27(4 Suppl Growth Standard), S244–S256. <https://doi.org/10.1177/15648265060274S508>
- Boyd, E. (1935). *The Growth of the Surface Area of the Human Body*. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press.
- Brožek, J., Pařízková, J., Mendéz, J., & Bartkett, H. L. (1987). The evaluation of body surface, body volume and body composition in human biology research. *Anthropologie* (1962-), 235-259.
- Cameron, N., & Bogin, B. (2012). *Human Growth and Development* (2a ed.). San Diego, CA, USA: Elsevier Science.
- Cole, T. J., Donaldson, M. D., & Ben-Shlomo, Y. (2010). SITAR--a useful instrument for growth curve analysis. *International Journal of Epidemiology*, 39(6), 1558–1566. <https://doi.org/10.1093/ije/dyq115>
- Cossio Bolaños, M., Vidal-Espinoza, R., Minango Negrete, J., Urzua-Alul, L., Cossio Bolaños, W., Sulla Torres, J., Castelli-Correia de Campos, L. F., & Gómez-Campos, R. (2021b). Propuesta de percentiles para evaluar el crecimiento físico y la adiposidad corporal en función del estado de madurez en niños y adolescentes chilenos. *Nutricion Hospitalaria*, 38(5), 935–942. <https://doi.org/10.20960/nh.03563>
- Cossio-Bolaños, M., Vidal-Espinoza, R., Castelli Correia de Campos, L. F., Sulla-Torres, J., Cossio-Bolaños, W., Urra Albornoz, C., & Gómez-Campos, R. (2021). Equations predicting maturity status: Validation in a cross-sectional sample to assess physical growth and body adiposity in Chilean children and adolescents. *Endocrinologia, Diabetes y Nutricion*, 68(10), 689–698. <https://doi.org/10.1016/j.endien.2021.11.033>
- Drenowatz C, Greier K (2018) Associations between Maturity Status and Dietary Intake in Austrian Adolescents. *Int J Pediatr Res*, 4, 046. <https://doi.org/10.23937/2469-5769/1510046>

- Du Bois, D., & Du Bois, E. F. (1916). Clinical calorimetry: Tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Archives of Internal Medicine* (1908), XVII (62), 863-871. <https://doi.org/10.1001/archinte.1916.00080130010002>
- Feber, J., & Krásničanová, H. (2012). Measures of body surface area in children. *Handbook of Anthropometry*, 1249-1256. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1788-1_76
- Gillison, F., Cumming, S., Standage, M., Barnaby, C., & Katzmarzyk, P. (2017). Assessing the impact of adjusting for maturity in weight status classification in a cross-sectional sample of UK children. *BMJ Open*, 7(6), e015769. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015769>
- Haycock, G. B., Schwartz, G. J., & Wisotsky, D. H. (1978). Geometric method for measuring body surface area: a height-weight formula validated in infants, children, and adults. *The Journal of Pediatrics*, 93(1), 62–66. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(78\)80601-5](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(78)80601-5)
- Hogan, C., Abbott, S., Halaki, M., Torres Castiglioni, M., Yamauchi, G., Mitchell, L., Salter, J., Romann, M., & Cobley, S. (2022). Maturation-based Corrective Adjustment Procedures (Mat-CAPs) in youth swimming: Evidence for restricted age-group application in females. *PloS One*, 17(10), e0275797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275797>
- Kozieł, S. M., & Malina, R. M. (2018). Modified maturity offset prediction equations: Validation in independent longitudinal samples of boys and girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221-236. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0750-y>
- Malina, R. M., & Beunen, G. (1996). Matching of opponents in youth sports. *The Child and Adolescent Athlete*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Malina, R. M., & Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *Journal of Sports Sciences*, 32(5), 424–437. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828850>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Human kinetics.
- Malina, R. M., Choh, A. C., Czerwinski, S. A., & Chumlea, W. C. (2016). Validation of Maturity Offset in the Fels Longitudinal Study. *Pediatric Exercise Science*, 28(3), 439–455. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0090>
- Malina, R. M., Dompier, T. P., Powell, J. W., Barron, M. J., & Moore, M. T. (2007). Validation of a noninvasive maturity estimate relative to skeletal age in youth football players. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the*

- Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(5), 362–368.
<https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815400f4>
- Malina, R. M., Martinho, D. V., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., & Koziel, S. M. (2021). Growth and Maturity Status of Female Soccer Players: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1448. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041448>
- Meeh, K. V. (1879). Ober flachenmessungen des menschlichen korpers. *Zeitschrift Fur Biologie*, 15, 425-458.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(4), 689-694.
- Montenegro Barreto, J., Vidal-Espinoza, R., Gomez Campos, R., De Arruda, M., Urzua Alul, L., Sulla-Torres, J., Cossio-Bolaños, M., & Mendez-Cornejo, J. (2021). Relationship between muscular fitness and bone health in young baseball players. *European Journal of Translational Myology*, 31(1), 9642. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2021.9642>
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1755-64.
- Mosteller, R. D. (1987). Simplified calculation of body-surface area. *The New England Journal of Medicine*, 317(17), 1098. <https://doi.org/10.1056/NEJM198710223171717>
- Nwoye L. O. (1989). Body surface area of Africans: a study based on direct measurements of Nigerian males. *Human Biology*, 61(3), 439–457.
- Orimadegun, A., & Omisanjo, A. (2014). Evaluation of five formulae for estimating body surface area of nigerian children. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 4(6), 889–898. <https://doi.org/10.4103/2141-9248.144907>
- Parr, J., Winwood, K., Hodson-Tole, E., Deconinck, F. J. A., Parry, L., Hill, J. P., Malina, R. M., & Cumming, S. P. (2020). Predicting the timing of the peak of the pubertal growth spurt in elite male youth soccer players: evaluation of methods. *Annals of Human Biology*, 47(4), 400–408. <https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1782989>
- Pezoa-Fuentes, P., Cossio-Bolaños, M., Urrea-Albornoz, C., Alvear-Vasquez, F., Lazari, E., Urzua-Alul, L., de Campos, L. F. C. C., & Gomez-Campos, R. (2023). Fat-free mass and maturity status are determinants of physical fitness performance in

- schoolchildren and adolescents. *Jornal de Pediatria*, 99(1), 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2022.03.007>
- Portella, D. L., Arruda, M., Gómez-Campos, R., Portella, G. C., Andruske, C. L., & Cossio-Bolaños, M. A. (2017). Physical growth and biological maturation of children and adolescents: proposed reference curves. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 70(4), 329–337. <https://doi.org/10.1159/000475998>
- Preece, M. A., & Baines, M. J. (1978). A new family of mathematical models describing the human growth curve. *Annals of Human Biology*, 5(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/03014467800002601>
- Radnor, J. M., Oliver, J. L., Waugh, C. M., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2020). The Influence of Maturity Status on Muscle Architecture in School-Aged Boys. *Pediatric exercise science*, 32(2), 89–96. <https://doi.org/10.1123/pes.2019-0201>
- Ross, W. D., & Marfell-Jones, M. J. (1991). Kinanthropometry. In J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Geeny (Eds.), *Physiological Testing of Elite Athlete* (pp. 223, 308–314). Human Kinetics.
- Salter, J., Cumming, S., Hughes, J.D., & De Ste Croix, M. (2022). Estimating somatic maturity in adolescent soccer players: Methodological comparisons. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(1), 11–17. <https://doi.org/10.1177/17479541211020418>
- Toselli, S., Mauro, M., Grigoletto, A., Cataldi, S., Benedetti, L., Nanni, G., Di Miceli, R., Aiello, P., Gallamini, D., Fischetti, F., & Greco, G. (2022). Assessment of Body Composition and Physical Performance of Young Soccer Players: Differences According to the Competitive Level. *Biology*, 11(6), 823. <https://doi.org/10.3390/biology11060823>
- Wang, J., & Hihara, E. (2004). Human body surface area: a theoretical approach. *European Journal of Applied Physiology*, 91(4), 425–428. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-1011-3>
- Weber, V. M. R., da Costa, J. C., Volpato, L. A., Romanzini, M., Castro-Piñero, J., & Ronque, E. R. V. (2022). Association between cardiorrespiratory fitness and cognitive control: is somatic maturity an important mediator? *BMC pediatrics*, 22(1), 699. <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03777-2>

CAPÍTULO 5

ESTUDIO 3:

**CAMBIOS EN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL SEGÚN
ESTADO DE MADUREZ EN ADOLESCENTES DE UNA
REGIÓN DE CHILE DURANTE UN PERIODO DE 20 AÑOS.**

5. ESTUDIO 3. CAMBIOS EN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL SEGÚN ESTADO DE MADUREZ EN ADOLESCENTES DE UNA REGIÓN DE CHILE DURANTE UN PERIODO DE 20 AÑOS.

5.1. RESUMEN

Introducción: Los índices antropométricos son herramientas esenciales en la evaluación del estado de salud y pueden ser útiles para analizar los cambios a lo largo del tiempo.

Objetivo: Determinar si existen cambios significativos en el índice de masa corporal (IMC) según el estado de madurez (EM) en adolescentes en un intervalo de 20 años.

Metodología: Se diseñó un estudio de cohorte en escolares de 11,0 a 17,0 años. La muestra estuvo compuesta de dos cohortes correspondientes al año 1997 y 2017. La selección de la muestra fue de tipo probabilística (aleatoria), para la cohorte de 1997 se seleccionó 939 adolescentes y para el 2017 fueron 1026 adolescentes. Se evaluó el peso y estatura. Se calculó el IMC y EM a partir de variables antropométricas.

Resultados: Los adolescentes de ambos sexos de la cohorte 2017 evidenciaron mayor IMC en relación a sus contrapartes de 1997. No hubo diferencias significativas en el EM entre ambas cohortes. La correlación entre el IMC y el EM en hombres aumentó de $r=0,25$ ($r^2=0,062$) a $r=0,27$ ($r^2=0,073$) en 20 años, mientras tanto, en mujeres fue de $r=0,19$ ($r^2=0,036$) a $r=0,26$ ($r^2=0,067$). Esto refleja incrementos del IMC en ambos sexos, aunque ligeramente más en mujeres que en hombres.

Conclusión: Este estudio verificó un aumento significativo en el IMC en todos los EM a lo largo de un período de 20 años, con un incremento mayor en mujeres que en hombres. Estos hallazgos resaltan la urgencia de intervenir a esta población para abordar el problema del sobrepeso y la obesidad.

Palabras clave: Tendencia, condición nutricional, madurez biológica, crecimiento

5.2. INTRODUCCIÓN

La antropometría implica la medición externa de los rasgos morfológicos de los seres humanos (Ulijaszek y Kerr, 1999). Esta técnica proporciona importantes indicadores de crecimiento físico, estado nutricional (Gibson, 2005), así como la predicción del estado de madurez a partir de un método práctico y no invasivo que predice años a partir de la velocidad máxima de altura (un valor de compensación de madurez) mediante el uso de variables antropométricas (Mirwald et al., 2002; Moore et al., 2015).

En general, las mediciones antropométricas permiten reflejar el estado general de salud, la adecuación de la dieta, la monitorización del crecimiento y desarrollo a lo largo del tiempo (Fryar et al., 2016). Por el ello, el uso de indicadores antropométricos clásicamente ha sido la piedra angular de la vigilancia nutricional en niños, adolescentes y adultos, aunque, siempre ha sido un tema de debate (Lelijveld et al., 2022). Por ello, las mediciones antropométricas clásicas, como la altura y el peso corporal, se utilizan ampliamente como componentes de medida de la forma corporal (Hwaung et al., 2020). De hecho, la medición del peso y la estatura es una práctica común y fundamental en el ámbito de la salud pública, la pediatría y la nutrición clínica, especialmente en adolescentes (Madden y Smith, 2016). La combinación de estas dos medidas se refleja en índices antropométricos, como el índice de masa corporal (IMC) o el Índice tri-ponderal (ITP), cuyas, medidas sirven para evaluar la adiposidad corporal en los distintos grupos de edad (Khoshhali et al., 2020).

En general, los índices antropométricos, como el IMC y el ITP, son herramientas esenciales en la evaluación del estado del peso y el tamaño corporal en personas de todas las edades. Estas medidas proporcionan una forma cuantitativa de evaluar el estado de salud y pueden ser útiles para analizar los cambios a lo largo del tiempo. El IMC, al relacionar el peso con la estatura, proporciona una categorización general del estado ponderal de una persona y se utiliza ampliamente como herramienta de detección para identificar posibles problemas de peso, como el sobrepeso y la obesidad (Khanna et al., 2022). El ITP, por su parte, ofrece una alternativa al IMC y se ha sugerido que puede ser más preciso en la evaluación de la adiposidad corporal y riesgo metabólico en ciertos grupos, como los niños y adolescentes (Peterson et al., 2017; Wang et al., 2020).

En esencia, es alentador saber que se han realizado varios estudios en diferentes regiones geográficas del mundo para investigar los cambios seculares del tamaño corporal e índices antropométricos en niños y adolescentes. Estos estudios son de gran importancia ya que proporcionan información valiosa sobre las tendencias en el crecimiento y desarrollo físico de la población juvenil a lo largo del tiempo (Freedman et al., 1997; Guimarey et al., 2014; Kimm et al., 2001; Nagel et al., 2009), sin embargo, hasta donde se sabe son nulos los estudios que analizan estos patrones según el estado de madurez. Por lo que se necesita información sobre estas tendencias para analizar los cambios positivos o negativos que se han producido, bajo este contexto entre los años 1997 y 2017 en Chile. Además, algunos estudios efectuados en Chile, en los últimos años han reportado una transición nutricional extremadamente rápida (Albala et al., 2001; Mujica-Coopman et al., 2020; Vio et al., 2008) y consecuentemente, elevadas prevalencias de obesidad (GBD et al., 2017).

Dada esta situación, es razonable esperar que los adolescentes evaluados en 2017 muestren un mayor IMC en comparación con los evaluados en 1997. Estas diferencias podrían reflejar tanto los cambios en los patrones de alimentación y estilo de vida como las políticas de salud pública implementadas a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue determinar si existen cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región del centro-sur de Chile en un intervalo de 20 años. Esta información podría ayudar a comprender mejor la evolución de la salud y el estado del peso corporal en una población regional de Chile.

5.3. METODOLOGÍA

Tipo de estudio y muestra

Se diseñó un estudio de cohorte en adolescentes escolares de ambos sexos con edades entre los 11,0 a 17,0 años. La muestra estuvo compuesta de dos cohortes correspondientes al año 1997 y 2017. Los participantes (ambas cohortes) pertenecían a establecimientos educacionales de cuatro provincias de la región del Maule ubicada en el centro-sur de Chile. (Cauquenes, Curicó, Linares y Talca). Los datos fueron recolectados por el mismo grupo de investigación.

La selección de la muestra fue de tipo probabilística (aleatoria) para las dos cohortes (1997 y 2017). Para la cohorte 1997 el universo fue de 9000 adolescentes (4530 hombres y

4470 mujeres), se seleccionaron 939 adolescentes (10,4%) [471 hombres (5,2%) y 468 mujeres (5,2%]. Para la cohorte 2017, el universo fue de 9900 adolescentes (5370 hombres y 4530 mujeres), se seleccionaron 1026 adolescentes (10,4%) [555 hombres (5,6%) y 471 mujeres (4,8%)].

Los participantes de ambas cohortes del estudio en general eran escolares pertenecientes a colegios públicos y de zonas urbanas de la región. En Chile generalmente los escolares de colegios públicos pertenecen a una condición socioeconómica media (Cossio-Bolaños et al., 2016). Todos los adolescentes contaban con el consentimiento informado firmado por sus padres y/o tutores correspondientes en ambas cohortes, del mismo modo, cada uno de los participantes dieron su consentimiento por escrito. También se contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Autónoma de Chile (certificado # 2413) para la cohorte 2017, no hubo registro al respecto para la cohorte de 1997. Ambas cohortes fueron evaluadas de acuerdo a la Declaración de Helsinki para seres Humanos.

Se incluyeron en el estudio a todos los adolescentes escolares cuyos padres autorizaron la participación voluntaria en el estudio. Se incluyó en el estudio a los adolescentes que estaban dentro del rango de edad establecido. Se excluyeron a quienes vivían en zonas rurales de la región y a los que presentaban algún tipo de impedimento físico que dificultara la evaluación antropométrica.

Técnicas y procedimientos

La edad decimal se calculó con la fecha de nacimiento (día, mes, año) y la fecha en que se tomaron las evaluaciones. Las mediciones antropométricas se evaluaron siguiendo las recomendaciones de Ross & Marfell-Jones (1991). El peso corporal y la estatura se midieron con la menor cantidad de ropa posible (pantalón corto, camiseta y sin zapatos). El peso (kg) se evaluó con una balanza digital de marca Seca con precisión de (100g) y una escala de (0 a 150kg). La estatura (m) se evaluó de acuerdo al plano de Frankfort a través de un estadiómetro de aluminio de marca Seca graduado en milímetros con una escala de (0 a 2,50m). Se calculó el Índice de Masa Corporal (kg/m^2) a través de la fórmula: $[\text{IMC} = \text{Peso}(\text{kg}) / \text{Estatura}(\text{m})^2]$.

El estado de madurez (EM) se evaluó a través de las ecuaciones propuestas por Moore et al. (2015) para ambos sexos. Las ecuaciones consideran, por ejemplo, la edad cronológica y estatura de pie para su estimación para ambos sexos (Mujeres: Estado de madurez (APVC) = $-7,709133 + (0,0042232 \times (\text{edad} \times \text{estatura}))$ y para hombres: Estado de madurez (APVC) = $7,999994 + (0,0036124 \times (\text{edad} \times \text{estatura}))$), donde APVC: años de pico de velocidad de crecimiento). Para clasificar el EM, se utilizó la sugerencia descrita por Malina y Koziel (2014), considerando a los adolescentes con maduración promedio (Púber) dentro de -1 a $+1$ APVC; inferiores a -1 APVC (Pre púber); y superiores a $+1$ APVC (Post púber).

Estadística

La distribución normal de los datos del peso y estatura de ambas cohortes se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se efectuaron los cálculos de estadística descriptiva: promedio, desviación estándar, frecuencias, porcentajes y rango. Las diferencias entre ambas cohortes se efectuaron mediante test t para muestras independientes. Para relacionar las variables en cada cohorte se utilizó el coeficiente de Pearson y para el poder de explicación se utilizó R^2 . Para todos los casos, se adoptó $p < 0,05$ y los cálculos se efectuaron en planillas de Excel, SPSS 18.0 y en MedCalc 11.1.0.

5.4. RESULTADOS

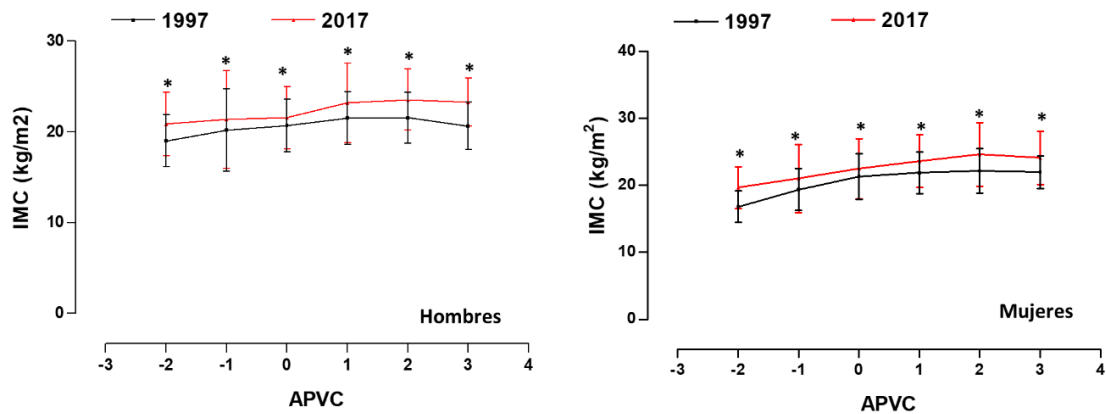
En la tabla 11 se observan las variables antropométricas y los niveles del estado de madurez en adolescentes de ambos sexos. No hubo diferencias significativas en la edad cronológica y estatura entre ambas cohortes y en ambos sexos ($p > 0,05$). El estado de madurez se mantuvo estable en ambas cohortes y en ambos sexos, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). En cuanto al peso y el IMC, si hubo diferencias significativas en ambas cohortes, donde los adolescentes de ambos sexos evidenciaron mayor peso e IMC en el año 2017 ($p < 0,05$).

Tabla 1. Características antropométricas y estado de madurez de adolescentes chilenos de 1997 y 2017.

Variables	Hombres							Mujeres						
	1997			2017			p-valor	1997			2017			p-valor
	n	Media	DE	n	Media	DE		n	Media	DE	n	Media	DE	
Edad (años)		14,1	2,0		14,0	2,1	0,320		13,9	2,0		13,9	2,2	0,560
Antropometría														
Peso (kg)		55,1	12,4		60,0	15	0,001		52,3	9,8		57,2	13,0	0,001
Estatura (cm)		162,1	12,2		163,7	12	0,050		155,4	7,5		155,9	7,8	0,250
IMC (kg/m ²)		20,8	3,2		22,2	4,1	0,001		21,6	3,2		23,4	4,5	0,001
E. Madurez														
Pre púber (APVC)	119	-2,0	0,6	141	-1,9	0,6	0,182	36	-1,4	0,4	44	-1,6	0,3	0,260
Púber (APVC)	153	0,2	0,6	190	0,1	0,6	0,126	149	0,1	0,6	141	0,1	0,5	>0,99
Post púber (APVC)	199	1,9	0,6	224	2,0	0,6	0,078	283	2,5	0,8	286	2,6	0,9	0,162

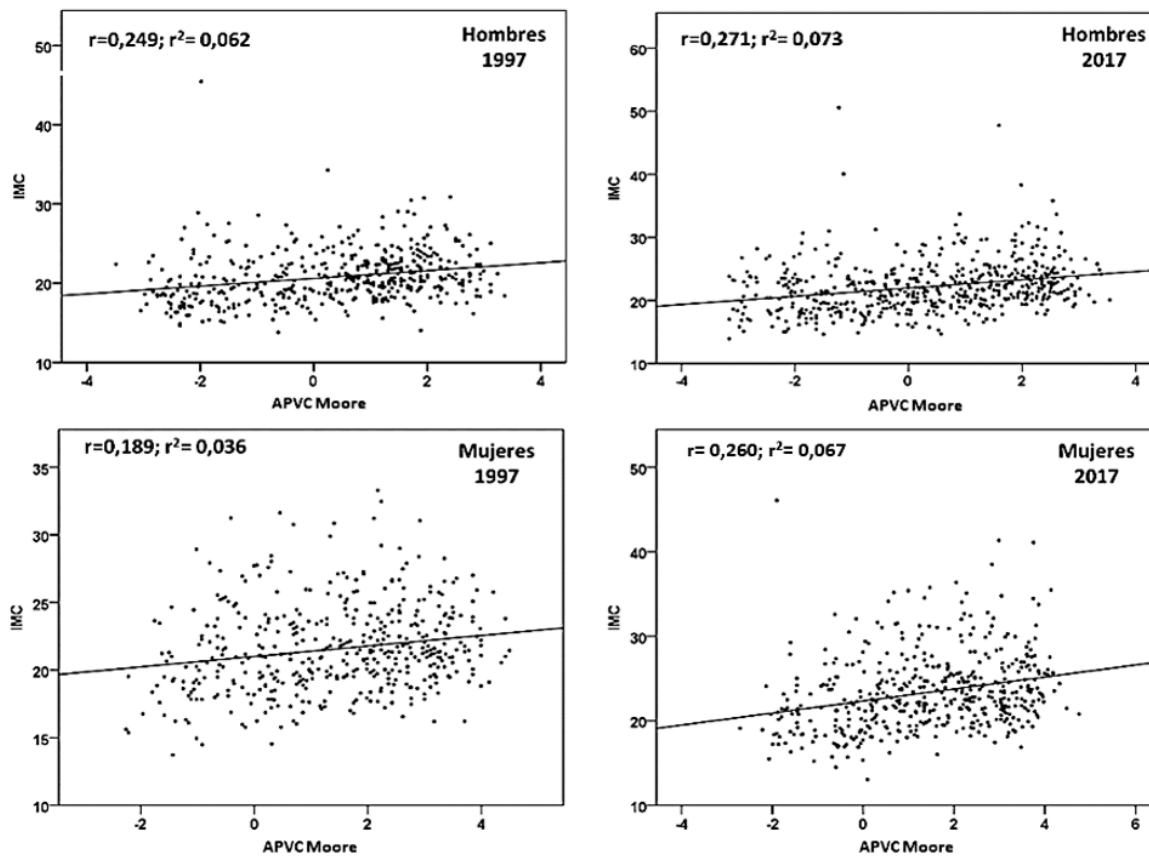
Legenda: DE: Desviación estándar, E: Estado, IMC: Índice de masa corporal, APVC: años de pico de velocidad de crecimiento.

Las comparaciones del IMC según niveles del estado de madurez se observan en la figura 9. Los adolescentes de ambos sexos de la cohorte 1997, reflejan valores significativamente inferiores de IMC en comparación con la cohorte 2017 ($p < 0,05$). En la figura 10, se observa la relación entre el estado de madurez con los valores del IMC de ambas cohortes y ambos sexos. La correlación entre el IMC y el estado de madurez en hombres aumentó de $r = 0,25$ ($r^2 = 0,062$) a $r = 0,27$ ($r^2 = 0,073$) en 20 años, mientras tanto, en mujeres fue de $r = 0,19$ ($r^2 = 0,036$) a $r = 0,26$ ($r^2 = 0,067$). Esto refleja incrementos del IMC en ambos sexos, aunque ligeramente superiores en las mujeres que en hombres.



Legenda: IMC: Índice de masa corporal, APVC: Años de pico de velocidad de crecimiento, * Diferencias significativas en el IMC respecto al año 1997.

Figura 9. Comparación del IMC en dos cohortes (1997 y 2017) según estado de madurez (APVC) en adolescentes de ambos sexos.



Legenda: IMC: Índice de masa corporal, APVC: Años de pico de velocidad de crecimiento

Figura 10. Relación entre los valores del IMC con el estado de madurez (APVC) en adolescentes de ambos sexos.

5.5. DISCUSIÓN

Este estudio tuvo como objetivo determinar si existen cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región de Chile. Los resultados indican que hubo cambios significativos en el IMC en todos los APVC (estados de madurez) y en ambos sexos en la población regional de Chile durante un período de 20 años.

Este hallazgo refleja tendencias globales en el aumento del peso corporal. Varios estudios a nivel internacional han evidenciado incrementos significativos a lo largo de diferentes períodos de tiempo (Blundell et al., 2024; Patalay y Gage, 2019). Incluso en los últimos años, algunos estudios efectuados en Chile han reportado incrementos positivos del IMC y la adiposidad corporal (East et al., 2020; Gatica-Mandiola et al., 2013; Herrera et al., 2017).

Este aumento en el IMC puede atribuirse a una serie de factores, como cambios en la alimentación y la nutrición, aumento del sedentarismo, fácil acceso a los alimentos procesados y altos en calorías, mejora del nivel socioeconómico, del estilo de vida y las opciones de salud de la población (Agrawal et al., 2013; Fox et al., 2019; Kerkadi et al., 2019). Un IMC elevado es un factor de riesgo de enfermedades no transmisibles como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y los trastornos musculoesqueléticos, lo que resulta en una disminución dramática de la calidad y la esperanza de vida (Lin y Li, 2021). Por ello, es necesario fomentar una alimentación equilibrada y la práctica regular de ejercicio físico, así como la educación sobre la importancia del mantenimiento de un peso corporal adecuado desde la adolescencia (Oukheda et al., 2023).

De hecho, en un país como Chile, donde el aumento de la prevalencia de sobrepeso en niños y adolescentes es casi del 40% y de obesidad alrededor del 31% (MINSAL, 2018; Mujica-Coopman et al., 2020) es plausible que el IMC haya aumentado en los últimos 20 años. También cabe resaltar que, en Chile en las últimas décadas, se han producido cambios importantes en las condiciones socioeconómicas de la población, por lo que el crecimiento económico, la urbanización y la globalización han modificado profundamente el modo de vivir de los chilenos (Kain et al., 2005). Estos cambios pueden haber contribuido a las tendencias observadas en este estudio, por lo que es necesario desarrollar estrategias de salud pública que aborden los determinantes sociales de la salud y promuevan entornos que favorezcan estilos de vida saludables para los adolescentes.

En general, el aumento del sobrepeso y la obesidad en niños y adolescentes es un problema de salud pública importante que puede tener consecuencias a largo plazo para la salud de la población. Estas tendencias están causando graves problemas de salud pública y en muchos países amenazan la viabilidad de la prestación de atención sanitaria básica (Raj y Kumar, 2010), aumenta también el riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer (Scully et al., 2021). Estas enfermedades pueden requerir tratamientos prolongados y costosos, y pueden tener un impacto negativo en la calidad de vida de los adolescentes estudiados. Esto implica, no solo tratar las enfermedades una vez que se desarrollan, sino también implementar estrategias de prevención que promuevan estilos de vida saludables y opciones de salud positivas desde edades tempranas.

El estudio presenta algunas limitaciones que tienen que ver con las medidas antropométricas recolectadas en las dos cohortes. Por ejemplo, no fue posible evaluar medidas de adiposidad corporal como pliegues cutáneos y circunferencia del abdomen, además, no fue posible recolectar información sobre los niveles de actividad física. Esta información hubiera contribuido en discutir mejor los hallazgos de este estudio. Por ello, es necesario que futuros estudios incluyan en sus diseños estas variables. También el estudio presenta algunas fortalezas, como el hecho de ser un estudio que abarca la región central de Chile, presenta un tamaño de muestra grande y la selección de la muestra fue probabilística en ambas cohortes.

5.6. CONCLUSIÓN

Este estudio verificó un aumento significativo en el IMC en todos los estados de madurez en adolescentes a lo largo de un período de 20 años, con un incremento mayor en mujeres que en hombres. Estos hallazgos resaltan la urgencia de intervenir a esta población de adolescentes para abordar el problema del sobrepeso y la obesidad. Se sugiere que, a corto plazo, es necesario implementar medidas concretas y específicas para enfrentar este desafío de salud pública como programas de actividad física, así como intervenciones relacionadas con la dieta, la educación y el apoyo psicológico para lograr resultados óptimos en la salud y el bienestar de los adolescentes.

5.7. REFERENCIAS

- Agrawal, P., Gupta, K., Mishra, V., & Agrawal, S. (2013). Effects of sedentary lifestyle and dietary habits on body mass index change among adult women in India: findings from a follow-up study. *Ecology of Food and Nutrition*, 52(5), 387–406. <https://doi.org/10.1080/03670244.2012.719346>
- Albala, C, Vio, F, Kain, J, et al. (2001) Nutrition transition in Latin America: the case of Chile. *Nutr Rev*, 59, 170–176.
- Blundell, E., De Stavola, B. L., Kellock, M. D., Kelly, Y., Lewis, G., McMunn, A., Nicholls, D., Patalay, P., & Solmi, F. (2024). Longitudinal pathways between childhood BMI, body dissatisfaction, and adolescent depression: an observational study using the UK Millenium Cohort Study. *The lancet. Psychiatry*, 11(1), 47–55. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(23\)00365-6](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(23)00365-6)
- Cossio-Bolaños, M., Vasquez, P., Luarte-Rocha, C., Sulla-Torres, J., & Gómez Campos, R. (2016). Assessment of self-perception of physical fitness and proposal for standards among Chilean adolescent students: the EAPAF study. Evaluación de la autopercepción de la aptitud física y propuesta de normativas en adolescentes escolares chilenos: estudio EAPAF. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 114(4), 319–328. <https://doi.org/10.5546/aap.2016.eng.319>
- East, P., Delker, E., Blanco, E., Lozoff, B., Correa, P., Burrows, R., & Gahagan, S. (2020). BMI Trajectories from Birth to 23 Years by Cardiometabolic Risks in Young Adulthood. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 28(4), 813–821. <https://doi.org/10.1002/oby.22754>
- Fox, A., Feng, W., & Asal, V. (2019). What is driving global obesity trends? Globalization or "modernization"? *Globalization and Health*, 15(1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0457-y>
- Freedman, D. S., Srinivasan, S. R., Valdez, R. A., Williamson, D. F., & Berenson, G. S. (1997). Secular increases in relative weight and adiposity among children over two decades: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics*, 99(3), 420–426. <https://doi.org/10.1542/peds.99.3.420>

- Fryar, C. D., Gu, Q., Ogden, C. L., & Flegal, K. M. (2016). Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2011-2014. *Vital and Health Statistics. Series 3, Analytical studies*, (39), 1–46.
- Garrow, J. S., & Webster, J. (1985). Quetelet's index (W/H²) as a measure of fatness. *International Journal of Obesity*, 9(2), 147-153.
- Gatica-Mandiola, P., Vargas-Vitoria, R., Jirón Amaro, O., Herrera Blanco, M., Duarte Farfán, C., Gómez-Campos, R., ... & Cossio-Bolaños, M. A. (2013). Cambios en la adiposidad corporal de adolescentes escolares (1997-2007). *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 33(3), 23-29.
- GBD 2015 Obesity Collaborators, Afshin, A., Forouzanfar, M. H., Reitsma, M. B., Sur, P., Estep, K., Lee, A., Marczak, L., Mokdad, A. H., Moradi-Lakeh, M., Naghavi, M., Salama, J. S., Vos, T., Abate, K. H., Abbafati, C., Ahmed, M. B., Al-Aly, Z., Alkerwi, A., Al-Raddadi, R., Amare, A. T., ... Murray, C. J. L. (2017). Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. *The New England Journal of Medicine*, 377(1), 13–27. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1614362>
- Gibson, R. S. (2005). *Principles of nutritional assessment*. Oxford university press, USA.
- Guimarey, L. M., Castro, L. E., Torres, M. F., Cesani, M. F., Luis, M. A., Quintero, F. A., & Oyhenart, E. E. (2014). Secular changes in body size and body composition in schoolchildren from La Plata City (Argentina). *Anthropologischer Anzeiger; Bericht Uber Die Biologisch-Anthropologische Literatur*, 71(3), 287–301. <https://doi.org/10.1127/0003-5548/2014/0364>
- Herrera, J. C., Lira, M., & Kain, J. (2017). Vulnerabilidad socioeconómica y obesidad en escolares chilenos de primero básico: comparación entre los años 2009 y 2013 [Socioeconomic vulnerability and obesity in Chilean schoolchildren attending first grade: comparison between 2009 and 2013]. *Revista Chilena de Pediatría*, 88(6), 736–743. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062017000600736>
- Hwaung, P., Heo, M., Kennedy, S., Hong, S., Thomas, D. M., Shepherd, J., & Heymsfield, S. B. (2020). Optimum waist circumference-height indices for evaluating adult adiposity: An analytic review. *Obesity Reviews: An Official Journal of the*

- International Association for the Study of Obesity*, 21(1), e12947.
<https://doi.org/10.1111/obr.12947>
- Kain B, Juliana, Uauy D, Ricardo, Lera M, Lydia, Taibo G, Marcela, Espejo, Francisco, & Albala B, Cecilia. (2005). Evolución del estado del estado nutricional de escolares chilenos de 6 años (1987- 2003). *Revista Médica de Chile*, 133(9), 1013-1020. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872005000900003>
- Kerkadi, A., Sadig, A. H., Bawadi, H., Al Thani, A. A. M., Al Chetachi, W., Akram, H., Al-Hazaa, H. M., & Musaiger, A. O. (2019). The Relationship between Lifestyle Factors and Obesity Indices among Adolescents in Qatar. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4428. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224428>
- Khanna, D., Peltzer, C., Kahar, P., & Parmar, M. S. (2022). Body Mass Index (BMI): A Screening Tool Analysis. *Cureus*, 14(2), e22119. <https://doi.org/10.7759/cureus.22119>
- Khoshhali, M., Heidari-Beni, M., Qorbani, M., Motlagh, M. E., Ziaodini, H., Heshmat, R., & Kelishadi, R. (2020). Tri-ponderal mass index and body mass index in prediction of pediatric metabolic syndrome: the CASPIAN-V study. *Archives of Endocrinology and Metabolism*, 64(2), 171–178. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000206>
- Kimm, S. Y., Barton, B. A., Obarzanek, E., McMahon, R. P., Sabry, Z. I., Wacławski, M. A., Schreiber, G. B., Morrison, J. A., Similo, S., & Daniels, S. R. (2001). Racial divergence in adiposity during adolescence: The NHLBI Growth and Health Study. *Pediatrics*, 107(3), E34. <https://doi.org/10.1542/peds.107.3.e34>
- Lelijveld, N., Benedict, R. K., Wrottesley, S. V., Bhutta, Z. A., Borghi, E., Cole, T. J., Croft, T., Frongillo, E.A., Hayashi, C., Namaste, S., Sharma, D., Tumilowicz, A., Wells, J.C., Ezzati, M., Patton, G.C., & Mates, E. (2022). Towards standardised and valid anthropometric indicators of nutritional status in middle childhood and adolescence. *The Lancet Child & Adolescent Health*, 6(10), 738-746. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(22\)00196-1](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(22)00196-1)
- Lin, X., & Li, H. (2021). Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 706978. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.706978>

- Madden, A. M., & Smith, S. (2016). Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: a review of anthropometric variables. *Journal of Human Nutrition and Dietetics: The Official Journal of the British Dietetic Association*, 29(1), 7–25. <https://doi.org/10.1111/jhn.12278>
- Malina, R. M., & Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *Journal of Sports Sciences*, 32(5), 424–437. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828850>
- MINSAL (Ministerio de Salud, Gobierno de Chile). (2018). *Encuesta Nacional de Salud de Chile 2016-2017*. Recuperado de http://inta.cl/wp-content/uploads/2018/01/ENS-2016-17_PRIMEROSRESULTADOS-1.pdf.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(8), 1755–1764. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000588>
- Mujica-Coopman, M. F., Navarro-Rosenblatt, D., López-Arana, S., & Corvalán, C. (2020). Nutrition status in adult Chilean population: economic, ethnic and sex inequalities in a post-transitional country. *Public Health Nutrition*, 23(S1), s39–s50. <https://doi.org/10.1017/S1368980019004439>
- Nagel, G., Wabitsch, M., Galm, C., Berg, S., Brandstetter, S., Fritz, M., Klenk, J., Peter, R., Prokopchuk, D., Steiner, R., Stroth, S., Wartha, O., Weiland, S. K., & Steinacker, J. (2009). Secular changes of anthropometric measures for the past 30 years in South-West Germany. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(12), 1440–1443. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.86>
- Oukheda, M., Bouaouda, K., Mohtadi, K., Lebrazi, H., Derouiche, A., Kettani, A., Saile, R., & Taki, H. (2023). Association between nutritional status, body composition, and fitness level of adolescents in physical education in Casablanca, Morocco. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1268369. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1268369>

- Patalay, P., & Gage, S. H. (2019). Changes in millennial adolescent mental health and health-related behaviours over 10 years: a population cohort comparison study. *International Journal of Epidemiology*, 48(5), 1650–1664. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz006>
- Peterson, C. M., Su, H., Thomas, D. M., Heo, M., Golnabi, A. H., Pietrobelli, A., & Heymsfield, S. B. (2017). Tri-Ponderal Mass Index vs Body Mass Index in Estimating Body Fat During Adolescence. *JAMA Pediatrics*, 171(7), 629–636. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.0460>
- Raj, M., & Kumar, R. K. (2010). Obesity in children & adolescents. *The Indian Journal of Medical Research*, 132(5), 598–607.
- Ross, W. D., & Marfell-Jones, M. J. (1991). Kinanthropometry. In J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Geeny (Eds.), *Physiological Testing of Elite Athlete* (pp. 223, 308–314). Human Kinetics.
- Scully, T., Ettela, A., LeRoith, D., & Gallagher, E. J. (2021). Obesity, Type 2 Diabetes, and Cancer Risk. *Frontiers in Oncology*, 10, 615375. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.615375>
- Ulijaszek, S. J., & Kerr, D. A. (1999). Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *The British Journal of Nutrition*, 82(3), 165–177. <https://doi.org/10.1017/s0007114599001348>
- Vio, F, Albala, C & Kain, J (2008) Nutrition transition in Chile revisited: mid-term evaluation of obesity goals for the period 2000–2010. *Public Health Nutr*, 11, 405–412.
- Wang, X., Dong, B., Ma, J., Song, Y., Zou, Z., & Arnold, L. (2020). Role of tri-ponderal mass index in cardio-metabolic risk assessment in children and adolescents: compared with body mass index. *International Journal of Obesity (2005)*, 44(4), 886–894. <https://doi.org/10.1038/s41366-019-0416-y>

CAPÍTULO 6
LIMITACIONES, FORTALEZAS Y FUTURAS
INVESTIGACIONES

6. LIMITACIONES, FORTALEZAS Y FUTURAS INVESTIGACIONES

a) Estudio 1. *Aptitud física en jóvenes futbolistas y no-futbolistas por edad cronológica y estado de madurez chilenos.*

Entre las limitaciones del primer estudio, se encuentra que la amplitud de la muestra principalmente en los futbolistas no alcanzó a cubrir la etapa previa al momento de maduración (0APCV), lo que hubiese permitido una mejor observación de la variabilidad de la aptitud física, a la vez, al tratarse de un diseño transversal no se pueden verificar relaciones causa-efecto. Por ello se podrían considerar estos elementos para futuras investigaciones, ya sea a través de un seguimiento longitudinal de la aptitud física durante la etapa de maduración y/o incluyendo deportistas que se encuentren en la etapa previa al pico de velocidad de crecimiento para una mejor observación de las variables de aptitud física. Además, sería oportuno e interesante replicar este estudio con una muestra de sexo femenino o considerando ambos sexos, ya que tanto la aptitud física como el proceso madurativo en las mujeres tienen sus características propias respecto a los hombres.

Por otro lado, entre las potencialidades o fortalezas de este estudio se destaca que es uno de los primeros que compara futbolistas con no futbolistas (escolares) en Chile. Además, la ecuación de Moore utilizada en este estudio ha sido validada previamente para una muestra de escolares de Chile (Cossio-Bolañes et al., 2021a), lo cual garantiza el uso de la ecuación para determinar el estado de madurez de los participantes investigados para observar su relación con la aptitud física.

b) Estudio 2. *El área de la superficie corporal es un predictor del estado de madurez en niños y adolescentes escolares*

En general, este estudio tiene algunas limitaciones por ser un diseño de tipo transversal por lo que no es posible establecer causalidad. Al respecto, estudios futuros deberían utilizar diseños longitudinales para confirmar estos hallazgos. Por ejemplo, el indicador de madurez más utilizado en los estudios longitudinales durante la adolescencia es el pico de velocidad de crecimiento para lo cual se requieren mediciones seriadas durante varios años en torno la aparición de la velocidad máxima de crecimiento durante la adolescencia, en este sentido, se podría hacer el análisis del comportamiento del tamaño corporal a través del área de superficie corporal y el pico de velocidad de crecimiento

controlado longitudinalmente. Mencionar también que no fue posible modelar estos datos de niños y adolescentes de ambos sexos a través de modelos matemáticos como Preece-Baines (1978) y Sitar (Cole et al., 2010). Se sugiere que futuros estudio analicen tales modelos y verifiquen las asociaciones con el pico de velocidad de crecimiento.

Por otro lado, sin perjuicio de lo anterior, entre las fortalezas de este estudio se encuentra que es una de las primeras investigaciones que demostró la utilidad del área de superficie corporal para la estimación del estado de madurez a través de este indicador antropométrico. Esta información puede ser útil para investigadores que cuenten con bases de datos longitudinales, en el que se pueda probar el uso y aplicabilidad del área de superficie corporal en niños y adolescentes de diversas regiones geográficas del mundo.

c) Estudio 3. *Cambios en el índice de masa corporal según estado de madurez en adolescentes de una región de Chile durante un periodo de 20 años.*

El estudio presenta algunas limitaciones que tienen que ver con las medidas antropométricas recolectadas en las dos cohortes. Por ejemplo, no fue posible evaluar medidas de adiposidad corporal como pliegues cutáneos y circunferencia del abdomen. Además, no fue posible recolectar información sobre los niveles de actividad física o hábitos alimentarios. Esta información hubiera contribuido a discutir mejor los hallazgos de este estudio del aumento significativo del IMC en las últimas décadas en los adolescentes chilenos. Por ello, sería necesario que futuros estudios incluyan en sus diseños estas variables, por ejemplo, los niveles de actividad física y hábitos alimentarios en ambas cohortes, relacionándolas con el IMC y el estado de madurez de niños y adolescentes.

Por otro lado, este estudio presenta algunas fortalezas que tienen que ver con que es un estudio que abarca la región central de Chile, que presenta un tamaño de muestra grande y que la selección de la muestra fue probabilística en ambas cohortes.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones de cada estudio realizado que van en línea a cada objetivo específico planteado en este trabajo, junto con, una conclusión global orientada al objetivo general propuesto para esta tesis doctoral.

a) Estudio 1. *Aptitud física en jóvenes futbolistas y no-futbolistas por edad cronológica y estado de madurez chilenos.*

Se evidenció que tanto por edad cronológica y estado de madurez, los deportistas (futbolistas) presentan un mejor VO_{2max} absoluto y relativo, salto horizontal y velocidad en relación a los no deportistas (escolares). Aunque, el desempeño físico se observa mejor por estado de madurez, especialmente en el VO_{2max} y en el salto horizontal. Esto sugiere que los profesionales que trabajan en las categorías de base del fútbol deben considerar el control del estado de madurez como una alternativa para categorizar a los futbolistas cuando se evalúa y se entrena las capacidades físicas.

b) Estudio 2. *El área de la superficie corporal es un predictor del estado de madurez en niños y adolescentes escolares*

El área de superficie corporal se relaciona positivamente con el estado de madurez con dos métodos de estimación no invasivos en niños y adolescentes chilenos. A la vez, el modelo cuadrático no lineal se ajusta mejor a la distribución de los datos. Al respecto se sugiere el uso potencial del área de superficie corporal como un posible predictor del estado de madurez, abriendo nuevas posibilidades y alternativas en la investigación de la maduración biológica para explorar su validez y confiabilidad para su estimación.

c) Estudio 3. *Cambios en el índice de masa corporal según estado de madurez en adolescentes de una región de Chile durante un periodo de 20 años.*

Al analizar los cambios del IMC en el tiempo considerando el estado de madurez, se verificó un aumento significativo en el IMC en todos los estados de madurez en adolescentes a lo largo de un período de 20 años, con un incremento mayor en mujeres que en hombres. Estos hallazgos resaltan la urgencia de intervenir a esta población de adolescentes para abordar el problema del sobrepeso y la obesidad.

d) Conclusión general

La aptitud física se relaciona mejor con el estado de madurez que la edad cronológica sobre todo en el VO_{2max} y en el salto horizontal, por lo que se recomienda considerar el estado de madurez para la monitorización o control de estas variables de desempeño físico durante la adolescencia. El área de superficie corporal se relaciona significativamente con los dos métodos de estimación del estado de madurez a través variables antropométricas, por lo que se presenta como una potencial variable a considerar en la predicción del estado de madurez. En la utilización del estado de madurez para analizar los cambios del IMC en el tiempo, se encontró que en todos los estados de madurez hubo un aumento significativo del IMC, realzando la necesidad de intervención en el control del sobrepeso y obesidad en los niños y adolescentes chilenos.

8. REFERENCIAS

- Adirim, T. A., & Cheng, T. L. (2003). Overview of injuries in the young athlete. *Sports Medicine*, 33(1), 75–81. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333010-00006>
- Aghaee, S., Deardorff, J., Greenspan, L. C., Quesenberry, C. P., Kushi, L. H., & Kubo, A. (2019). Breastfeeding and timing of pubertal onset in girls: a multiethnic population-based prospective cohort study. *BMC Pediatrics*, 19(1), 1-8.
- Albala, C, Vio, F, Kain, Jet al. (2001) Nutrition transition in Latin America: the case of Chile. *Nutr Rev*, 59, 170–176.
- Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., & Esparza-Ros, F. (2022). Métodos de estimación de la maduración biológica en Ciencias del Deporte: Revisión bibliográfica. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 17(53), 55-75. <https://doi.org/10.12800/ccd.v17i53.1925>
- Basdemir D, & Rogol AD. (2000). Maduración puberal. En Argente Oliver J, Carrascosa Lezcano A, Gracia Bouthelier R, Rodríguez Hierro F. (Eds.), *Tratado de Endocrinología Pediátrica y de la Adolescencia* (2ª edición) (pp. 843-866). Madrid: Doyma.
- Baxter-Jones, A. D., Eisenmann, J. C., & Sherar, L. B. (2005). Controlling for maturation in pediatric exercise science. *Pediatric Exercise Science*, 17(1), 18-30.
- Bayley, N. (1954). De accurate prediction of growth and adult height. *Moder problems in Pediatrics* 7, 234-55.
- Boyd, E. (1935). *The Growth of the surface Area of the Human Body*. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press.
- Brix, N., Ernst, A., Lauridsen, L. L., Arah, O. A., Nohr, E. A., Olsen, J., ... & Ramlau-Hansen, C. H. (2019). Maternal pre-pregnancy obesity and timing of puberty in sons and daughters: a population-based cohort study. *International Journal of Epidemiology*, 48(5), 1684-1694.
- Cameron, N., & Bogin, B. (2012). *Human Growth and Development* (Second edition ed.). San Diego, CA, USA: Elsevier Science.
- Campa, F., & Greco, G. (2022). Growth, Somatic Maturation, and Their Impact on Physical Health and Sports Performance: An Editorial. *International Journal of*

- Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1266.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19031266>
- Canhadas, I.L.; Silva, R.L.P.; Chaves, C.R.; Portes, L.A. Anthropometric and Physical Fitness Characteristics of Young Male Soccer Players. *Rev. Bras. Cineantropometria Desempenho Hum.* 2010, 12, 239–245.
- Castro-Feijóo, L., Cabanas, P., Barreiro, J., & Pombo, M. (2017). Pruebas de imagen en el diagnóstico de la patología puberal. *Rev Esp Endocrinol Pediatr*, 8(2), 42-54.
- Cavallo, F., Mohn, A., Chiarelli, F., & Giannini, C. (2021). Evaluation of bone age in children: A mini-review. *Frontiers in Pediatrics*, 9, 580314.
<https://doi.org/10.3389/fped.2021.580314>.
- Colyer, S. L., Nagahara, R., Takai, Y., & Salo, A. I. T. (2020). The effect of biological maturity status on ground reaction force production during sprinting. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(8), 1387-1397. doi:10.1111/sms.13680
- Cooper, D. M. (1994). Evidence for and mechanisms of exercise modulation of growth--an overview. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(6), 733-740.
- Corley, R. P., Beltz, A. M., Wadsworth, S. J., & Berenbaum, S. A. (2015). Genetic influences on pubertal development and links to behavior problems. *Behavior Genetics*, 45(3), 294–312. <https://doi.org/10.1007/s10519-015-9719-5>
- Cossio-Bolaños, M., Vidal-Espinoza, R., Castelli Correia de Campos, L. F., Sulla-Torres, J., Cossio-Bolaños, W., Urra Albornoz, C., & Gómez-Campos, R. (2021). Equations predicting maturity status: Validation in a cross-sectional sample to assess physical growth and body adiposity in Chilean children and adolescents. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 68(10), 689–698.
<https://doi.org/10.1016/j.endien.2021.11.033>
- Cossio Bolaños, M., Vidal-Espinoza, R., Minango Negrete, J., Urzua-Alul, L., Cossio Bolaños, W., Sulla Torres, J., Castelli-Correia de Campos, L. F., & Gómez-Campos, R. (2021b). Propuesta de percentiles para evaluar el crecimiento físico y la adiposidad corporal en función del estado de madurez en niños y adolescentes chilenos [Proposal of percentiles to evaluate physical growth and body adiposity as a function of maturity status in Chilean children and adolescents]. *Nutrición Hospitalaria*, 38(5), 935–942. <https://doi.org/10.20960/nh.03563>

- Cumming, S. P., Gillison, F. B., & Sherar, L. B. (2011). Biological maturation as a confounding factor in the relation between chronological age and health-related quality of life in adolescent females. *Quality of Life Research*, 20(2), 237-242.
- Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 34-47.
- Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973). A new system of dental age assessment. *Hum Biol*, 45,211-227.
- Demirjian A, Goldstein H (1976). New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Hum Biol*, 3,411-421.
- DiVall, S.A., DiBlasi, C. (2018). The Endocrinology of Puberty. In: Belfiore, A., LeRoith, D. (eds) *Principles of Endocrinology and Hormone Action*. Endocrinology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44675-2_25
- Drenowatz C, Greier K (2018) Associations between Maturity Status and Dietary Intake in Austrian Adolescents. *Int J Pediatr Res*, 4, 046. <https://doi.org/10.23937/2469-5769/1510046>
- Du Bois, D., & Du Bois, E. F. (1916). Clinical calorimetry: Tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Archives of Internal Medicine*, (1908) XVII(6_2), 863-871. <https://doi.org/10.1001/archinte.1916.00080130010002>
- Eaves, L., Silberg, J., Foley, D., Bulik, C., Maes, H., Erkanli, A., Angold, A., Costello, E. J., & Worthman, C. (2004). Genetic and environmental influences on the relative timing of pubertal change. *Twin Research: The Official Journal of the International Society for Twin Studies*, 7(5), 471–481. <https://doi.org/10.1375/1369052042335278>
- Ehrampoush, E., Arasteh, P., Homayounfar, R., Cheraghpour, M., Alipour, M., Naghizadeh, M. M & Razaz, J. M. (2017). New anthropometric indices or old ones: Which is the better predictor of body fat? *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 11(4), 257-263. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2016.08.027>
- Farello, G., Altieri, C., Cutini, M., Pozzobon, G., & Verrotti, A. (2019). Review of the literature on current changes in the timing of pubertal development and the

- incomplete forms of early puberty. *Frontiers in Pediatrics*, 7, 1–7.
<https://doi.org/10.3389/fped.2019.00147>
- Feber, J., & Krásničanová, H. (2012). Measures of body surface area in children. *Handbook of Anthropometry*, 1249-1256. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1788-1_76
- Fernández, J. T., Santiago, F. R., Gutiérrez, C. V., Tercedor, M. T., Benavides, R. M., Folgado, C. C., & Martín-Matillas, M. (2007). Entorno y desarrollo. *Pediatría Atención Primaria*, 9(36), 75-86.
- Forwood, M. R., Baxter-Jones, A. D., Beck, T. J., Mirwald, R. L., Howard, A., & Bailey, D. A. (2006). Physical activity and strength of the femoral neck during the adolescent growth spurt: a longitudinal analysis. *Bone*, 38(4), 576–583.
<https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.09.021>
- Freedman, D. S., Srinivasan, S. R., Valdez, R. A., Williamson, D. F., & Berenson, G. S. (1997). Secular increases in relative weight and adiposity among children over two decades: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics*, 99(3), 420–426.
<https://doi.org/10.1542/peds.99.3.420>
- Fryar, C. D., Gu, Q., Ogden, C. L., & Flegal, K. M. (2016). Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2011-2014. *Vital and Health Statistics. Series 3, Analytical Studies*, (39), 1–46.
- Gallahue DL. (1989). *Understanding Motor Development: Infants, Children, Adolescents*. Indiana: Benchmark.
- Garcia, C., Teles, J., Barrigas, C., & Fragoso, I. (2018). Health-related quality of life of Portuguese children and adolescents according to their biological maturation and volume of physical activity. *Quality of Life Research*, 27(6), 1483–1492.
<https://doi.org/10.1007/s11136-018-1822-7>
- García, M. G. C. L., de la Vega Lezama, C., & Guzmán, J. C. 1981. Maduración ósea en nadadores preadolescentes. *Acta Médica*, 17(67-68), 21-30.
- García-Ubaque, Juan C, García-Ubaque, César A, & Vaca-Bohórquez, Martha L. (2014). Variables involucradas en la práctica individual y colectiva de hábitos saludables. *Revista de Salud Pública*, 16(5), 719-732.
<https://doi.org/10.15446/rsap.v16n5.44817>

- GBD 2015 Obesity Collaborators, Afshin, A., Forouzanfar, M. H., Reitsma, M. B., Sur, P., Estep, K., Lee, A., Marczak, L., Mokdad, A. H., Moradi-Lakeh, M., Naghavi, M., Salama, J. S., Vos, T., Abate, K. H., Abbafati, C., Ahmed, M. B., Al-Aly, Z., Alkerwi, A., Al-Raddadi, R., Amare, A. T., ... Murray, C. J. L. (2017). Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. *The New England Journal of Medicine*, 377(1), 13–27. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1614362>
- Geraldo, A. P., Monroy, I. A., Posada, C. R., Sandoval, Y. R., & Gutiérrez, L. S. (2018). Métodos y técnica antropométrica para el cálculo de la composición corporal. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 5(10), 61-70.
- Gesell, A. (1933). *Maturation and the Patterning of Behavior*.
- Gibson, R. S. (2005). *Principles of Nutritional Assessment*. Oxford university press, USA.
- Gillison, F., Cumming, S., Standage, M., Barnaby, C., & Katzmarzyk, P. (2017). Assessing the impact of adjusting for maturity in weight status classification in a cross-sectional sample of UK children. *BMJ Open*, 7(6), e015769. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-015769>
- Gómez-Campos, R., Arruda, M. de, Hobold, E., Abella, C. P., Camargo, C., Martínez Salazar, C., & Cossio-Bolaños, M. A. (2013). Valoración de la maduración biológica: usos y aplicaciones en el ámbito escolar. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 6(4), 151-160.
- Gomez-Campos, R., Arruda, M., Luarte-Rocha, C., Urra Albornoz, C., Almonacid Fierro, A., & Cossio-Bolaños, M. (2016). Enfoque teórico del crecimiento físico de niños y adolescentes. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(3), 244-253. <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.20.3.198>
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., Gollhofer, A., & Behm, D. G. (2016). Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in Physiology*, 7, 164. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00164>
- Greulich, W., & Pyle, S. J. (1959). Radiographic atlas of Skeletaldevelopment of the Hand Wrist. Stanford University Press.

- Greulich, W., & Pylé, S. (1999). *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist* (2^a ed.). Stanford, CA: Stanford University Press.
- Grgic, O., Shevroja, E., Dharmo, B., Uitterlinden, A. G., Wolvius, E. B., Rivadeneira, F., & Medina-Gomez, C. (2020). Skeletal maturation in relation to ethnic background in children of school age: The Generation R Study. *Bone*, 132, 115180. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2019.115180>
- Güemes-Hidalgo, M., Ceñal, M., & Hidalgo, M. (2017). Pubertad y adolescencia. *Revista de Formación Continuada de la Sociedad Española de Medicina de la Adolescencia*, 5(1), 7-22.
- Guillén, L. S. (2015). Pubertad normal y variantes de la normalidad. *Pediatr Integral* 2015; XIX (6), 38.
- Guillen, M., & Linares, D. (2002). Crecimiento y Desarrollo. In Panamericana (Ed.), *Bases Biológicas y Fisiológicas del Movimiento Humano* (pp. 13–29). Madrid, España.
- Guimarey, L. M., Castro, L. E., Torres, M. F., Cesani, M. F., Luis, M. A., Quintero, F. A., & Oyhenart, E. E. (2014). Secular changes in body size and body composition in schoolchildren from La Plata City (Argentina). *Anthropologischer Anzeiger; Bericht Uber Die Biologisch-anthropologische Literatur*, 71(3), 287–301. <https://doi.org/10.1127/0003-5548/2014/0364>
- Hernández-Vásquez, L. A. (2022). Determinación del perfil antropométrico y de condición física de escolares entre las edades de 10 a 16 años. *Educación y Ciudad*, (43), 237–259. <https://doi.org/10.36737/01230425.n43.2022.2705>
- Hogan, C., Abbott, S., Halaki, M., Torres Castiglioni, M., Yamauchi, G., Mitchell, L., Salter, J., Romann, M., & Copley, S. (2022). Maturation-based Corrective Adjustment Procedures (Mat-CAPs) in youth swimming: Evidence for restricted age-group application in females. *PloS One*, 17(10), e0275797. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275797>
- Hwaung, P., Heo, M., Kennedy, S., Hong, S., Thomas, D. M., Shepherd, J., & Heymsfield, S. B. (2020). Optimum waist circumference-height indices for evaluating adult adiposity: An analytic review. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 21(1), e12947. <https://doi.org/10.1111/obr.12947>

- Jelenkovic, A., Hur, Y. M., Sund, R., Yokoyama, Y., Siribaddana, S. H., Hotopf, M., ... & Silventoinen, K. (2016). Genetic and environmental influences on adult human height across birth cohorts from 1886 to 1994. *Elife*, 5, e20320.
- Johnson, D. M., Cumming, S. P., Bradley, B., & Williams, S. (2022). The influence of exposure, growth and maturation on injury risk in male academy football players. *Journal of Sports Sciences*, 40(10), 1127–1136. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2051380>.
- Kaplowitz P. B. (2008). Link between body fat and the timing of puberty. *Pediatrics*, 121 Suppl 3, S208–S217. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-1813F>
- Kelch, R. P., & Beitins, I. Z. (1994). Adolescent sexual development. In M. S. Kappy, R. M. Blizzard, & C. J. Migeon (Eds.), *The Diagnosis and Treatment of Endocrine disorders in Childhood and Adolescence* (pp. 193-234). Charles Thomas
- Khamis, HJ y Roche, AF (1994). Predicción de la estatura adulta sin usar la edad esquelética: el método de Khamis-Roche. *Pediatría*, 94 (4), 504-507.
- Khanna, D., Peltzer, C., Kahar, P., & Parmar, M. S. (2022). Body Mass Index (BMI): A Screening Tool Analysis. *Cureus*, 14(2), e22119. <https://doi.org/10.7759/cureus.22119>
- Khoshhali, M., Heidari-Beni, M., Qorbani, M., Motlagh, M. E., Ziaodini, H., Heshmat, R., & Kelishadi, R. (2020). Tri-ponderal mass index and body mass index in prediction of pediatric metabolic syndrome: the CASPIAN-V study. *Archives of Endocrinology and Metabolism*, 64(2), 171–178. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000206>
- Kimm, S. Y., Barton, B. A., Obarzanek, E., McMahon, R. P., Sabry, Z. I., Wacławiw, M. A., Schreiber, G. B., Morrison, J. A., Similo, S., & Daniels, S. R. (2001). Racial divergence in adiposity during adolescence: The NHLBI Growth and Health Study. *Pediatrics*, 107(3), E34. <https://doi.org/10.1542/peds.107.3.e34>
- Kozieł, S. M., & Malina, R. M. (2018). Modified maturity offset prediction equations: Validation in independent longitudinal samples of boys and girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221-236. doi:10.1007/s40279-017-0750-y
- Lelijveld, N., Benedict, R. K., Wrottesley, S. V., Bhutta, Z. A., Borghi, E., Cole, T. J., Croft, T., Frongillo, E.A., Hayashi, C., Namaste, S., Sharma, D., Tumilowicz, A.,

- Wells, J.C., Ezzati, M., Patton, G.C., & Mates, E. (2022). Towards standardised and valid anthropometric indicators of nutritional status in middle childhood and adolescence. *The Lancet Child & Adolescent Health*, 6(10), 738-746. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(22\)00196-1](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(22)00196-1)
- Lian, Q., Mao, Y., Luo, S., Zhang, S., Tu, X., Zuo, X., Lou, C., & Zhou, W. (2019). Puberty timing associated with obesity and central obesity in Chinese Han girls. *BMC Pediatrics*, 19(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1376-4>
- Lloyd, R. S., Cronin, J. B., Faigenbaum, A. D., Haff, G. G., Howard, R., Kraemer, W. J., Micheli, L. J., Myer, G. D., & Oliver, J. L. (2016). National Strength and Conditioning Association Position Statement on Long-Term Athletic Development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1491–1509. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001387>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & Croix, M. B. D. S. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464.
- Lomniczi, A., Wright, H., & Ojeda, S. R. (2015). Epigenetic regulation of female puberty. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 36, 90-107.
- Lopes Machado, D., & J. Barbanti, V. (2007). Skeletal maturation and growth in children and adolescents. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, 9(1), 12-20. <http://dx.doi.org/10.5007/4025>.
- López de Blanco, M., Macias de Tomei, C., Landaeta-Jiménez, M., Izaguirre de Espinoza, I., & Méndez de Pérez, B. (2021). Referencias internacional y nacional, su uso en el estudio del crecimiento y la maduración física. *In Anales Venezolanos de Nutrición*, 34(1): 37- 48.
- Madden, A. M., & Smith, S. (2016). Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: a review of anthropometric variables. *Journal of Human Nutrition and Dietetics: the official journal of the British Dietetic Association*, 29(1), 7–25. <https://doi.org/10.1111/jhn.12278>
- Malina, R. M. (2011). Skeletal Age and Age Verification in Youth Sport. *Sports Medicine*, 41(11), 925-947. <https://doi.org/10.2165/11590300-000000000-00000>.

- Malina, R. M. (2014). Top 10 research questions related to growth and maturation of relevance to physical activity, performance, and fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 157-173.
- Malina, R. M., & Beunen, G. (1996). Matching of Opponents in Youth Sports. *The Child and Adolescent Athlete*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Malina, R. M., & Bouchard, C. (1991). *Growth, Maturation, And physical Activity*. Human Kinetics Books, Champaign, IL, Estados Unidos.
- Malina, R. M., & Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *Journal of Sports Sciences*, 32(5), 424–437. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828850>
- Malina, R. M., Baxter-Jones, A. D., Armstrong, N., Beunen, G. P., Caine, D., Daly, R. M., ... & Russell, K. (2013). Role of intensive training in the growth and maturation of artistic gymnasts. *Sports Medicine*, 43(9), 783-802. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0058-5>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, Maturation, and Physical activity*. Human kinetics.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2009). *Crescimento, Maturação e Atividade Física* (2ª ed.). São Paulo: Phorte.
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Morano, P. J., Barron, M., & Miller, S. J. (2005). Maturity status of youth football players: a noninvasive estimate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 1044-1052.
- Malina, R. M., Cumming, S. P., Rogol, A. D., Coelho-e-Silva, M. J., Figueiredo, A. J., Konarski, J. M., & Kozieł, S. M. (2019). Bio-banding in youth sports: Background, concept, and application. *Sports Medicine*, 49(11), 1671-1685. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01166-x>
- Malina, R. M., Dompier, T. P., Powell, J. W., Barron, M. J., & Moore, M. T. (2007). Validation of a noninvasive maturity estimate relative to skeletal age in youth football players. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(5), 362–368. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31815400f4>

- Malina, R. M., Martinho, D. V., Valente-Dos-Santos, J., Coelho-E-Silva, M. J., & Koziel, S. M. (2021). Growth and Maturity Status of Female Soccer Players: A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1448. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041448>
- Malina, R., Rogol, A., Cumming, S., Coelho e Silva, M., & Figueiredo, A. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *Br J Sports Med*, 49(13), 852-9.
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1969). Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Archives of Disease in Childhood*, 44(235), 291-303. <https://doi.org/10.1136/adc.44.235.291>
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1970). Variations in the pattern of pubertal changes in boys. *Archives of Disease in Childhood*, 45(239), 13-23. <https://doi.org/10.1136/adc.45.239.13>
- Matsuo, L. H., Adami, F., Silva, D. A. S., de Assis Guedes de Vasconcelos, F., Longo, G. Z., Schoueri, J. H. M., & de Fragas Hinnig, P. (2022). Assessment of the median ages at sexual maturation stages of Brazilian schoolchildren according to overweight status and type of school over a 5-year period: 2007-2012/2013. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 34(4), e23677. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23677>
- Mccloy, CH. (1934). *The Measurement of Athletic Power*. New York: Barnes & Co;1-36.
- Meeh, K. V. (1879). Ober flachenmessungen des menschlichen korpers. *Zeitschrift Fur Biologie*, 15, 425-458.
- Meylan, C., Cronin, J., Oliver, J., & Hughes, M. (2010). Talent identification in soccer: The role of maturity status on physical, physiological and technical characteristics. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 5(4), 571-592.
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>.
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(8), 1755–1764.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000588>
- Mosteller, R. D. (1987). Simplified calculation of body-surface area. *The New England Journal of Medicine*, 317(17), 1098.
<https://doi.org/10.1056/NEJM198710223171717>
- Mujica-Coopman, M. F., Navarro-Rosenblatt, D., López-Arana, S., & Corvalán, C. (2020). Nutrition status in adult Chilean population: economic, ethnic and sex inequalities in a post-transitional country. *Public Health Nutrition*, 23(S1), s39–s50.
<https://doi.org/10.1017/S1368980019004439>
- Mustanski, B. S., Viken, R. J., Kaprio, J., Pulkkinen, L., & Rose, R. J. (2004). Genetic and environmental influences on pubertal development: longitudinal data from Finnish twins at ages 11 and 14. *Developmental Psychology*, 40(6), 1188–1198.
<https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.6.1188>
- Muzzo B, Santiago. (2007). Influencia de los factores ambientales en el tempo de la pubertad. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(2), 96-104.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200001>
- Nagel, G., Wabitsch, M., Galm, C., Berg, S., Brandstetter, S., Fritz, M., Klenk, J., Peter, R., Prokopchuk, D., Steiner, R., Stroth, S., Wartha, O., Weiland, S. K., & Steinacker, J. (2009). Secular changes of anthropometric measures for the past 30 years in South-West Germany. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(12), 1440–1443.
<https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.86>
- Nazem, F., & Sazvar, A. (2015). The role of biological maturation intervention and anthropometric factors on cardiac reserve index (OUES) in Iranian teenage boys. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 50(188), 139-145.
- Norris, S. A., Frongillo, E. A., Black, M. M., Dong, Y., Fall, C., Lampl, M., Liese, A. D., Naguib, M., Prentice, A., Rochat, T., Stephensen, C. B., Tinago, C. B., Ward, K. A., Wrottesley, S. V., & Patton, G. C. (2022). Nutrition in adolescent growth and development. *Lancet*, 399(10320), 172–184. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01590-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01590-7)
- Nurius, P. S., Prince, D. M., & Rocha, A. (2015). Cumulative Disadvantage and Youth Well-Being: A Multi-Domain Examination with Life Course Implications. *Child &*

- Adolescent Social Work Journal: C & A*, 32(6), 567–576.
<https://doi.org/10.1007/s10560-015-0396-2>.
- Ojeda, S. R., Dubay, C., Lomniczi, A., Kaidar, G., Matagne, V., Sandau, U. S., & Dissen, G. A. (2010). Gene networks and the neuroendocrine regulation of puberty. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 324(1-2), 3–11.
<https://doi.org/10.1016/j.mce.2009.12.003>
- Parent, A. S., Teilmann, G., Juul, A., Skakkebaek, N. E., Toppari, J., & Bourguignon, J. P. (2003). The timing of normal puberty and the age limits of sexual precocity: variations around the world, secular trends, and changes after migration. *Endocrine Reviews*, 24(5), 668–693. <https://doi.org/10.1210/er.2002-0019>
- Portella, D. L., Arruda, M., Gómez-Campos, R., Portella, G. C., Andruske, C. L., & Cossio-Bolaños, M. A. (2017). Physical growth and biological maturation of children and adolescents: proposed reference curves. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 70(4), 329–337. <https://doi.org/10.1159/000475998>
- Rikhasor, R. M., Qureshi, A. M., Rath, S. L., & Channa, N. A. (1999). Skeletal maturity in Pakistani children. *Journal of anatomy*, 195 (Pt 2) (Pt 2), 305–308.
<https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1999.19520305.x>
- Roche, A. F., Chumlea W. C., Thissen, D. (1988). *Assessing the Skeletal Maturity of the Hand-Wrist: Fels Method*. Springfield, IL: Charles C Thomas.
- Roche, A. F., Tyleshevski, F., & Rogers, E. (1983). Non-invasive measurements of physical maturity in children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54(4), 364–371.
- Rodríguez-Hierro F. (1995). Pubertad normal. En Argente Oliver J, Carrascosa Lezcano A, Gracia Bouthelier R, Rodríguez Hierro F. (Eds.), *Tratado de Endocrinología Pediátrica y de la Adolescencia* (1ª edición) (pp. 679-688). Madrid: Edimsa.
- Santrock, J.W. (2003). *Psicología del Desarrollo en la Adolescencia* (9ª ed). Madrid: McGraw-Hill.
- Scharner, S., & Stengel, A. (2019). Alterations of brain structure and functions in anorexia nervosa. *Clinical Nutrition Experimental*, 28, 22–32.

- Sherar, L. B., Baxter-Jones, A. D., & Mirwald, R. L. (2004). Limitations to the use of secondary sex characteristics for gender comparisons. *Annals of human biology*, 31(5), 586–593. <https://doi.org/10.1080/03014460400001222>
- Stratton, G., Oliver, J. L. (2013). The impact of growth and maturation on physical performance. In: Lloyd, R.S., & Oliver, J.L., (Eds). *Conditioning for Young Athletes: Science and Application*. Oxford, United Kingdom: Routledge Publishing. págs. 3–18.
- Strauss, R.H., (1979). *Sports Medicine and Physiology*. W. B. Saunders Company.
- Sun, Y., Mensah, F. K., Azzopardi, P., Patton, G. C., & Wake, M. (2017). Childhood Social Disadvantage and Pubertal Timing: A National Birth Cohort From Australia. *Pediatrics*, 139(6), e20164099. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-4099>
- Tanner, J. M. (1968). Earlier maturation in man. *Scientific American*, 218(1), 21-27.
- Tanner, J. M. (1981). *A History of the Study of Human Growth*. Cambridge university press.
- Tanner, J. M. (1983). *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height. TW 2 Method*. Academic Press Inc.
- Tanner, J. M. (1962). *Growth at Adolescence : With a General Consideration of the Effects of Hereditary and Environmental Factors Upon Growth and Maturation from Birth to Maturity* (2nd ed.). Blackwell Scientific.
- Tanner, J. M. (1989). *Fetus in to Man: Physical Growth from Conception to Maturity*. Cambridge, MA. Harvard University Press.
- Tanner, J. M., Goldstein, H., & Whitehouse, R. H. (1970). Standards for Children's Height at Ages 2-9 Years Allowing for Height of Parents. *Archives of Disease in Childhood*, 45(244), 755–762.
- Tanner, J. M., Healy, M. J. H., Goldstein, H., & Cameron, N. (2001). *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3) Method*. Saunders Ltd
- Tanner, J., Oshman, D., Bahhage, F., & Healy, M. (1997). Tanner-Whitehouse bone age reference values for North American children. *The Journal of pediatrics*, 131(1), 34-40.
- Tanner, J., Whitehouse, R., Cameron, N., Marshall, W., Healy, M., & Goldstein, H. (1975). *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*. (2^o ed.). Academic Press.

- Thomis, M. A., & Towne, B. (2006). Genetic determinants of prepubertal and pubertal growth and development. *Food and Nutrition Bulletin*, 27(4 Suppl Growth Standard), S257–S278. <https://doi.org/10.1177/15648265060274S509>
- Thurlow, F., Kite, R. J., & Cumming, S. (2021). Revisiting Youth Player Development in Australian Rules Football: is there a Place for Bio-banding? *International Journal of Sports Science and Coaching*, 17(3), 637-646. <https://doi.org/10.1177/174795412111042682>
- Tineo, F., Espina de Ferreira, A. I., Barrios, F., Ortega, A., & Ferreira, J. (2006). Estimación de la edad cronológica con fines forenses, empleando la edad dental y la edad ósea en niños escolares en Maracaibo, estado Zulia. *Acta Odontológica Venezolana*, 44(2), 184-191
- Van den Berg, S. M., Setiawan, A., Bartels, M., Polderman, T. J., van der Vaart, A. W., & Boomsma, D. I. (2006). Individual differences in puberty onset in girls: Bayesian estimation of heritabilities and genetic correlations. *Behavior Genetics*, 36(2), 261–270. <https://doi.org/10.1007/s10519-005-9022-y>
- Vio, F., Albala, C & Kain, J (2008) Nutrition transition in Chile revisited: mid-term evaluation of obesity goals for the period 2000–2010. *Public Health Nutr*, 11, 405–412
- Weber, V. M. R., da Costa, J. C., Volpato, L. A., Romanzini, M., Castro-Piñero, J., & Ronque, E. R. V. (2022). Association between cardiorrespiratory fitness and cognitive control: is somatic maturity an important mediator?. *BMC pediatrics*, 22(1), 699. <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03777-2>
- Wehkalampi, K., Silventoinen, K., Kaprio, J., Dick, D. M., Rose, R. J., Pulkkinen, L., & Dunkel, L. (2008). Genetic and environmental influences on pubertal timing assessed by height growth. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 20(4), 417–423. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20748>
- Zamora-Mota, Henyer Ramón, Santana-Álvarez, Jorge, Ventura-Cruz, Víctor Andrés, Fernández-Villarino, María de los Ángeles, Miranda-Ramos, María de los Ángeles, & Joaquín-Tineo, Heida. (2023). Influencia del modelo social, actividad físico-deportiva y salud en alumnos de secundaria. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 27, e9263.

9. ANEXOS

ESTUDIO 1: “APTITUD FÍSICA EN JÓVENES FUTBOLISTAS Y NO-FUTBOLISTAS POR EDAD CRONOLÓGICA Y ESTADO DE MADUREZ CHILENOS”

Referencia artículo publicado:

Alvear-Vasquez, F., Vidal-Espinoza, R., Gomez-Campos, R., Lazari, E., Guzmán Luján, J. F., Pablos Monzo, A., & Cossio-Bolaños, M. (2023). Aptitud física en jóvenes futbolistas y no-futbolistas por edad cronológica y estado de madurez chilenos. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 43(3), 113-119. <https://doi.org/10.12873/433alvear>

Aptitud física en jóvenes futbolistas y no-futbolistas por edad cronológica y estado de madurez chilenos

Physical fitness in young Chilean soccer and non-football players by chronological age and maturity stage

Fernando ALVEAR VASQUEZ¹, Ruben VIDAL-ESPINOZA², Rossana GOMEZ CAMPOS³, Evandro LAZARI⁴, Jose Francisco GUZMAN LUJAN¹, Ana PABLOS⁵, Marco COSSIO BOLAÑOS³

1 Universidad de Valencia, Valencia, España.

2 Universidad Católica Silva Henríquez, Santiago, Chile.

3 Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

4 Universidad Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

5 Universidad Católica de Valencia, Valencia, España.

Recibido: 21/mayo/2023. Aceptado: 1/julio/2023.

RESUMEN

Introducción: Durante el periodo de la adolescencia se producen cambios en el crecimiento y la composición corporal, siendo importante identificar las diferencias individuales de madurez entre los adolescentes. En el caso de los futbolistas, estos podrían evidenciar mejor aptitud física que sus similares no-futbolistas.

Objetivo: Comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no futbolistas, según edad cronológica y estado de madurez.

Metodología: Se efectuó un estudio de tipo descriptivo-comparativo en 139 jóvenes (62 futbolistas con $16,38 \pm 1,30$ años y 77 escolares con $16,35 \pm 1,45$ años). La selección de la muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia. El rango de edad oscila desde los 14 hasta los 18 años. Se evaluó el peso, la estatura, velocidad 20 metros, salto horizontal (SH), y la prueba de aptitud aeróbica de Leger. Se calculó el índice de masa corporal (IMC), los años de pico de velocidad de crecimiento (APVC), y el VO_{2max} absoluto y relativo.

Resultados: Los jóvenes futbolistas presentaron mayor VO_{2max} absoluto y relativo en comparación con sus similares no-futbolistas, tanto por edad cronológica y estado de madurez. Hubo correlación positiva significativa ($p < 0.05$) entre la edad y los APVC con el VO_{2max} absoluto y salto horizontal, y negativa con la velocidad de 20 metros. No hubo correlación entre la edad y APVC con el VO_{2max} relativo (edad y VO_{2max} , $r = 0,10$, $p = 0,023$ y APVC y VO_{2max} , $r = 0,07$, $p = 0,036$).

Conclusión: Los jóvenes futbolistas presentaron un mejor VO_{2max} absoluto y relativo, SH y velocidad 20m en relación a los no-futbolistas, tanto por edad cronológica y estado de madurez, aunque, el desempeño físico se observa mejor por estado de madurez, especialmente en el VO_{2max} y en el SH. Estos resultados sugieren que los profesionales que trabajan en las categorías de base del fútbol deben considerar el control del estado de madurez como una alternativa para categorizar a los futbolistas cuando se evalúa y trabaja el desempeño físico.

PALABRAS CLAVE

Jóvenes, Fútbol, estado de madurez, aptitud física.

ABSTRACT

Introduction: During the adolescent period, changes in growth and body composition occur, and it is important to identify individual differences in maturity among adolescents.

Correspondencia:
Marco Cossio Bolaños
mcossio1972@hotmail.com

In the case of soccer players, they may show better physical fitness than their non-football players.

Objective: To compare the physical fitness of young soccer players vs non-football players, according to chronological age and maturity status.

Methodology: A descriptive-comparative study was carried out in 139 young people (62 soccer players aged 16.38 ± 1.30 years and 77 schoolchildren aged 16.35 ± 1.45 years). The sample selection was non-probabilistic by convenience. The age range ranged from 14 to 18 years old. Weight, height, speed 20 meters, horizontal jump (SH), and Leger's aerobic fitness test were evaluated. Body mass index (BMI), peak years of growth velocity (APVC), and absolute and relative VO₂max were calculated.

Results: Young soccer players presented higher absolute and relative VO₂max compared to their similar non-football players, both by chronological age and maturity status. There was significant positive correlation ($p < 0.05$) between age and APVC with absolute VO₂max and horizontal jump, and negative with 20-meter speed. There was no correlation between age and APVC with relative VO₂max (age and VO₂max, $r = 0.10$, $p = 0.023$ and APVC and VO₂max, $r = 0.07$, $p = 0.036$).

Conclusion: Young soccer players presented better absolute and relative VO₂max, SH and 20m speed in relation to non-football players, both by chronological age and maturity status, although, physical performance is better observed by maturity status, especially in VO₂max and SH. These results suggest that professionals working in grassroots soccer should consider the control of maturity status as an alternative to categorize soccer players when evaluating and working on physical performance.

KEY WORDS

Youth, Soccer, maturity, physical fitness.

INTRODUCCIÓN

La condición física es definida como la capacidad de una persona para realizar ejercicio, y está compuesta por las funciones y estructuras que intervienen en la función cardiorrespiratoria, muscular, esquelética, hematocirculatoria, psiconeurológica y endocrino-metabólica¹. Entre los indicadores de la condición física se encuentra el desempeño físico, refiriéndose a este como la valorización de la ejecución de una acción o prueba física. Su abordaje puede ser desde el punto de vista de la salud y del rendimiento físico.

De hecho, considerar la aptitud física desde el punto de vista del rendimiento físico en jugadores de fútbol juvenil es relevante, pues durante la pubertad, los principales componentes de la composición corporal (grasa corporal total, masa corporal magra, contenido mineral óseo) aumentan^{2,3}, lo que implica diferencias en el desempeño físico entre los jóvenes,

especialmente en la fuerza muscular y la resistencia aeróbica a lo largo del crecimiento físico y maduración biológica⁴.

En ese sentido, identificar las diferencias individuales de madurez entre los adolescentes son relevantes en el deporte juvenil⁵, pues las manifestaciones cronológicas en intensidad y duración a lo largo de la pubertad son específicos para cada adolescente y pueden variar significativamente entre cada uno de ellos⁶.

En general, controlar el estado de madurez en jóvenes futbolistas adquiere importancia vital en el diseño de programas de acondicionamiento físico, en el entrenamiento deportivo y en el desarrollo de la aptitud física de jóvenes deportistas y no deportistas⁷⁻⁹. Pues es ampliamente conocido que entre jóvenes de una misma edad existen diferencias corporales y de desempeño físico, como en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia¹⁰⁻¹².

Por lo tanto, en los últimos años, varios estudios transversales se han propuesto en jóvenes futbolistas¹³⁻¹⁶, sin embargo, a nivel de Chile, son nulos los estudios que comparan la aptitud física con grupos control de no-futbolistas.

Por ello, estudiar el desempeño físico de ambos grupos (futbolistas y no futbolistas) según edad cronológica y estado de madurez es sumamente relevante, sin embargo, en vista de que la edad cronológica no es un indicador preciso para analizar el desempeño físico, este estudio supone que el estado de madurez podría ser un mejor indicador en ambos grupos de futbolistas y no futbolistas.

Por tanto, el objetivo del estudio fue comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no-futbolistas chilenos según edad cronológica y estado de madurez.

METODOLOGÍA

Tipo de estudio y muestra

Se efectuó un estudio de tipo descriptivo-comparativo en 139 jóvenes (62 futbolistas con 16.38 ± 1.30 años y 77 escolares con 16.35 ± 1.45 años). La selección de la muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia. Los jóvenes futbolistas pertenecen a las categorías inferiores de un club profesional de Chile. Estos jóvenes entrenan 5 veces por semana (1 día de competencia y 1 día descanso). Las sesiones son de 90 minutos por día. El grupo no-futbolista (grupo control) pertenecen a una escuela pública de la región y realizaban clases de educación física una vez por semana (90 minutos/día). Ambos grupos cursaban los mismos grados de educación secundaria con similares características en las condiciones socioeconómicas (ambos grupos estaban matriculados en colegios municipales-públicos), que a menudo son de condición socioeconómica media. El rango de edad oscila desde los 14 hasta los 18 años.

El estudio se desarrolló de acuerdo a las pautas establecidas en la declaración de Helsinki para seres humanos. Fueron

incluidos los futbolistas y escolares que contaban con su consentimiento y asentimiento informado autorizado, todos los que completaron las pruebas y mediciones del estudio. Se excluyeron los jugadores y/o escolares con alguna lesión o dificultad motora-física que afectara su desempeño en las mediciones y los escolares que estuvieran adheridos a la disciplina del fútbol.

Procedimientos

Las evaluaciones de los futbolistas se efectuaron en las instalaciones y laboratorio de la universidad, mientras que la evaluación de los escolares se ejecutó en las instalaciones del colegio considerando mantener igualdad de condiciones y materiales utilizados para las mediciones correspondientes. En ambos casos se evaluó inicialmente las medidas antropométricas, luego se efectuó un calentamiento de 10 a 15 minutos para posteriormente realizar las pruebas de aptitud física.

La edad decimal se calculó con la fecha de nacimiento (día, mes, año) y la fecha en que se tomaron las evaluaciones. Las mediciones antropométricas se evaluaron siguiendo las recomendaciones de Ross & Marfell-Jones¹⁷. Se evaluó el peso corporal (kg) usando una balanza electrónica (Tanita, Reino Unido) con escala de 0 a 150 kg con precisión de 100 g. La estatura de pie con un estadiómetro portátil (Seca GmbH & Co. KG, Hamburgo, Alemania) con precisión de 0.1 mm. Se calculó el índice de masa corporal (IMC) utilizando la fórmula: $IMC = \text{peso (kg)} / \text{estatura}^2 \text{ (m)}$.

El estado de Madurez (EM) se estableció para ambos grupos por medio de la ecuación sugerida por Moore et al.¹⁸, donde estado de madurez (APVC) en hombres es $= -7.999994 + (0.0036124 \times \text{edad} \times \text{estatura})$. Para clasificar el EM, se utilizó la sugerencia descrita por Malina Koziel & Malina¹⁹, considerando a los jóvenes con maduración promedio dentro de -1 a $+1$ APVC, inferiores a -1 APVC como precoz, y superiores a $+1$ APVC como tardío.

La aptitud aeróbica se evaluó por medio de la prueba de ida y vuelta de 20m., de Leger et al.²⁰, registrándose la distancia recorrida por cada participante y estimando el consumo máximo de oxígeno en L/min^{-1} y $ml/\text{kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$.

La prueba de salto horizontal (SH) se realizó según las recomendaciones de Castro-Piñero et al.²¹, donde se utilizó una cinta métrica metálica de 3 m con una precisión de 0,1 cm para medir la distancia del salto horizontal. El ejecutante se ubicó con los pies juntos atrás de una línea delimitada, realizó un movimiento de salto hacia adelante con el máximo impulso posible, buscando la mayor distancia entre la línea de salida y el talón del pie más próximo a esta. La ejecución fue de dos intentos cada persona y se registró la mayor distancia alcanzada.

La prueba de velocidad se efectuó con una carrera de 20 metros con partida alta, siendo activado el cronómetro en el

momento que da el primer paso de salida hasta la llegada a la meta. Se utilizó un cronómetro digital Casio® (1/100Seg), siguiendo los procedimientos de Grosser y Starischka²².

Estadística

Se verificó la normalidad de los datos en todas las variables, a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, los datos fueron analizados a partir de estadígrafos descriptivos de media aritmética, desviación estándar para ambos grupos (futbolistas y no-futbolistas) a la vez se agruparon según edad y APVC para el análisis de la aptitud física. Para establecer las diferencias de los escolares respecto a los futbolistas se utilizó test T para muestras independientes. Las relaciones entre variables se verificaron por medio de Pearson, seguido del poder explicativo R^2 y error estándar de estimación (EEE). En todos los casos se adoptó una probabilidad de $p < 0,05$. El análisis estadístico se efectuó en SPSS v.23.0.

RESULTADOS

Las variables antropométricas como peso, estatura, e IMC se observan en la tabla 1. Los futbolistas presentaron mayor peso corporal a los 14 años en relación a los no-futbolistas ($p < 0,05$), sin embargo, no hubo diferencias significativas en la estatura y el IMC entre ambos grupos y en todas las edades ($p > 0,05$). En general, ambos grupos presentaron similares características antropométricas.

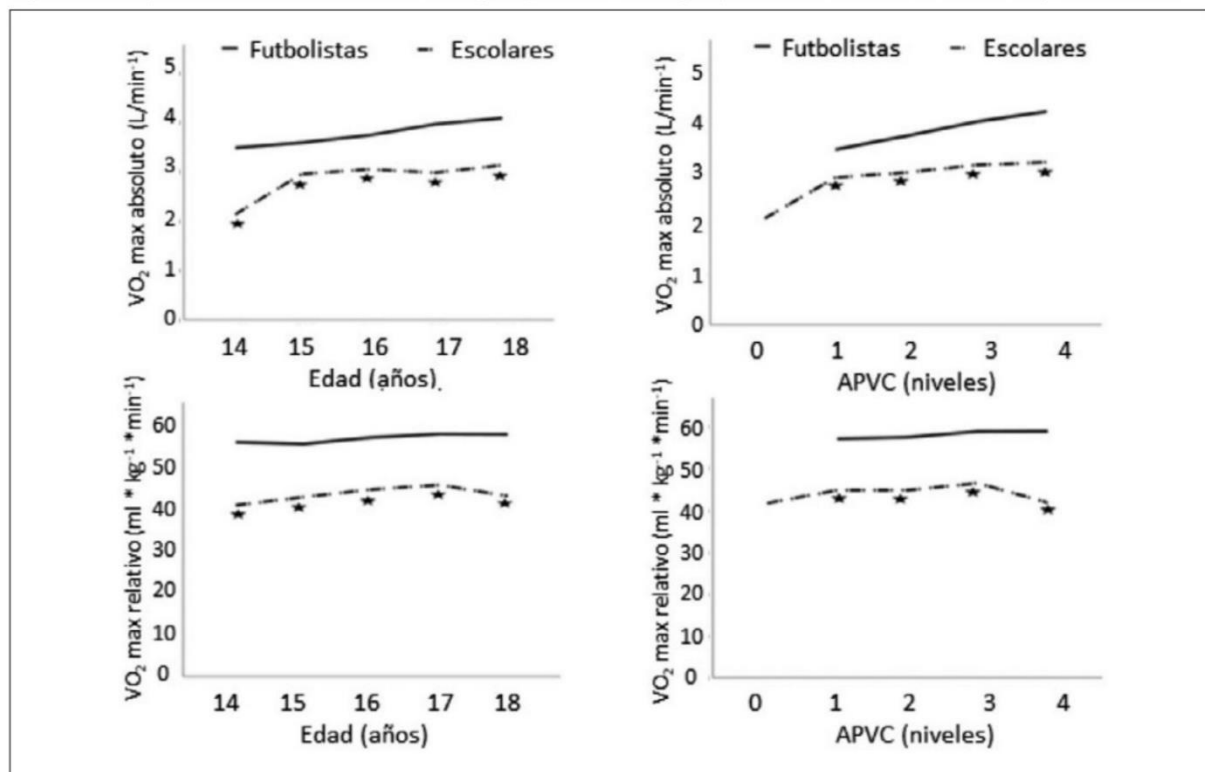
Las comparaciones de las variables $VO_{2\text{max}}$ absoluto y relativo entre ambos grupos se observan en la figura 1. Tanto por edad cronológica y estado de madurez, los jóvenes futbolistas presentaron mayor $VO_{2\text{max}}$ absoluto y relativo en comparación con sus similares no-futbolistas. El $VO_{2\text{max}}$ de los futbolistas por estado de madurez es más pronunciado y aumenta conforme los APVC se incrementan. En los no-futbolistas, el $VO_{2\text{max}}$ absoluto presenta un aumento importante entre los 14 y 15 años y el EM (APVC 0 y 1), luego se mantiene al igual que $VO_{2\text{max}}$ relativo con valores estables, tanto por edad cronológica y por estado de madurez (APVC), por lo que, a edades más avanzadas y estado de madurez, los escolares disminuyen el $VO_{2\text{max}}$, sin embargo, en los jóvenes futbolistas se produce un efecto contrario, evidenciando un incremento del $VO_{2\text{max}}$.

Las comparaciones del SH y la velocidad (20m) entre futbolistas y no-futbolistas se observan en la figura 2. Cuando se comparó por edad cronológica, los futbolistas presentaron mejores resultados en el SH a los 14, 17 y 18 años y en la velocidad a los 14, 15 y 16 años en comparación con los no futbolistas ($p < 0,05$). Cuando se comparó por estado de madurez (APVC), los futbolistas evidenciaron similar patrón en 1APVC, 2APVC y 3APVC, sin embargo, a los 4APVC, los futbolistas aumentan significativamente la fuerza explosiva en relación a los no-futbolistas ($p < 0,05$).

Tabla 1. Características antropométricas de la muestra estudiada.

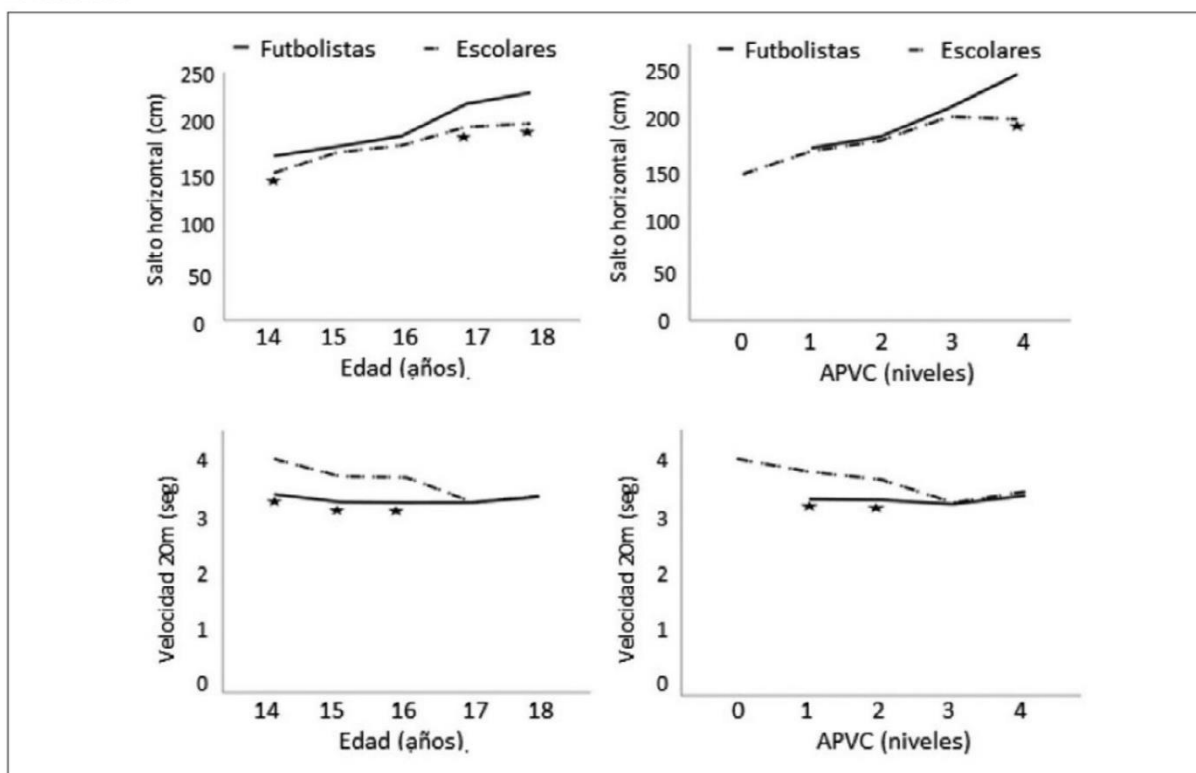
Edad (años)	n	Peso (kg)		Estatura (cm)		IMC (kg/m²)	
		X	DE	X	DE	X	DE
Futbolistas							
14	8	60,95	8,95	167,88	5,75	21,54	2,20
15	21	63,30	6,53	171,96	6,37	21,39	1,64
16	15	64,17	6,46	172,17	6,25	21,60	1,14
17	9	67,03	5,44	171,91	3,84	22,67	1,46
18	9	69,26	4,72	172,13	2,97	23,35	1,01
No-Futbolistas							
14	6	51,00*	4,82	162,50	4,72	19,31	1,60
15	20	67,80	11,00	172,40	7,66	22,83	3,74
16	22	67,05	8,41	173,55	4,98	22,27	2,73
17	14	64,07	8,60	169,57	5,97	22,23	2,33
18	15	72,33	10,24	171,87	7,45	24,55	3,73

Leyenda: X: Promedio, DE: Desviación estándar, IMC; Índice de masa corporal, *: Diferencia significativa en relación a los futbolistas ($p < 0,05$).

Figura 1. Comparación del consumo máximo de oxígeno por edad cronológica y estado de madurez en futbolistas y no-futbolistas

Leyenda: APVC; Años pico de velocidad de crecimiento, *: Diferencia significativa en relación con los futbolistas ($p < 0,05$).

Figura 2. Comparación del desempeño del salto horizontal y la velocidad por edad cronológica y estado de madurez en futbolistas y no-futbolistas



Leyenda: APVC; Años pico de velocidad de crecimiento, *: Diferencia significativa en relación con los futbolistas ($p < 0,05$).

En la velocidad (20m), los futbolistas presentaron mejor rendimiento que sus similares no-futbolistas a los 14, 15 y 16 años ($p < 0,05$), luego los valores fueron similares a los 17 y 18 años. Por estado de madurez, la velocidad de los futbolistas se mantuvo constante desde 1APVC hasta los 4APVC, sin embargo, en los no-futbolistas, la velocidad fue mejorando conforme el estado de madurez avanza, hasta reflejar similares resultados en ambos grupos. En general, los jóvenes fut-

bolistas en cuanto maduran más, incrementan más el SH, y la velocidad se mantiene constante a lo largo de los años.

La relación entre el desempeño físico ($VO_{2\text{máx}}$, salto horizontal y velocidad) con la edad cronológica y estado de madurez se observa en la tabla 2. Hubo correlación positiva significativa ($p < 0,05$) entre la edad y los APVC con el $VO_{2\text{máx}}$ absoluto y SH, y negativa con la velocidad de 20 metros. No hubo correlación entre la edad y APVC con el $VO_{2\text{máx}}$ relativo

Tabla 2. Relación entre desempeño físico con la edad cronológica y el estado de madurez

	Edad		APVC	
	R	p	R	p
$VO_{2\text{max}}$ Relativo ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	0,10	0,235	0,07	0,363
$VO_{2\text{max}}$ Absoluto (L/min^{-1})	0,28**	0,001	0,39**	0,000
Salto Horizontal (cm)	0,54**	0,000	0,55**	0,000
Velocidad 20m (seg)	-0,36**	0,000	-0,38**	0,000

Leyenda: APVC; Años pico de velocidad de crecimiento, *: Diferencia significativa en relación con los futbolistas ($p < 0,05$).

($p=0,023$, $p=0,036$). En general, las correlaciones entre las pruebas de aptitud física fueron ligeramente superiores con los APVC que por edad cronológica.

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue comparar la aptitud física de jóvenes futbolistas vs no-futbolistas según edad cronológica y estado de madurez. Los resultados indican que el VO_{2max} absoluto y relativo, el SH y la velocidad presentaron mejor desempeño físico que sus similares no futbolistas.

Estos hallazgos son consistentes con algunos estudios efectuados en jóvenes deportistas y no deportistas donde se reportan mejor desempeño físico debido a los entrenamientos sistemáticos a los que son sometidos²³⁻²⁵, e incluso, cuando se compararon jóvenes futbolista según niveles competitivos, donde los jóvenes de élite son más rápidos que los jugadores de sub-élite en las pruebas de velocidad máxima, tiempo de sprint e incluso, son más resistentes y fuertes^{16,26}.

De hecho, las actividades basadas en estímulos específicos y no específicos del deporte mejoran el desempeño físico ostensiblemente de jóvenes que practican regularmente un deporte específico^{24,27}, por lo que mejoran su desempeño físico y las condiciones fisiológicas de adaptaciones agudas y crónicas en relación a los que no practican regularmente un deporte específico²⁷.

Por otro lado, verificamos también que el estado de madurez es un mejor indicador que la edad cronológica, ya que las correlaciones entre el estado de madurez con el VO_{2max} absoluto, SH y velocidad fueron ligeramente superiores respecto a la edad cronológica. Estos hallazgos nos indican que el estado de madurez evaluado por medio de los APVC es un mejor indicador para controlar aptitud física, no sólo de los jóvenes futbolistas, sino también de los no-futbolistas.

Algunos estudios anteriores ya habían confirmado estos hallazgos²⁸⁻³⁰, en el que sugieren el uso de una técnica no invasiva para determinar el estado de madurez como la ecuación antropométrica de Moore et al.¹⁸.

En consecuencia, controlar el estado de madurez en adolescentes deportistas es importante porque ayuda a equilibrar la competencia entre los deportistas³¹, mejorar el diseño de los programas deportivos, categorizar a los jóvenes⁷⁻⁹, apoyar el desarrollo y selección de los talentos deportivos³², así como a la selección, programación y evaluación de las actividades que involucren indicadores de aptitud física, tanto en el ámbito deportivo, como escolar, respectivamente.

Entre las potencialidades de este estudio se destaca que es uno de los primeros que compara futbolistas con no futbolistas (escolares) en Chile, además, la ecuación de Moore utilizada en este estudio ha sido validada previamente para una muestra de escolares de Chile, lo cual, garantiza el uso de la ecuación para determinar el estado de madurez de los participantes investi-

gados. Por otro lado, entre las limitaciones de este estudio, se encuentra que la amplitud de la muestra principalmente en los futbolistas no alcanzó a cubrir la etapa previa al momento de maduración (0APCV), lo que hubiese permitido una mejor observación de la variabilidad de la aptitud física, además, al tratarse de un diseño transversal no se pueden estipular relaciones causa efecto, motivo por el cual, se podrían considerar estos elementos para futuras investigaciones. Además, sería atractivo e interesante replicar este estudio con una muestra de sexo femenino o considerando ambos sexos, ya que tanto la aptitud física, así como el proceso madurativo en las mujeres tienen sus características propias respecto a los hombres.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio han evidenciado que los jóvenes futbolistas presentaron un mejor VO_{2max} absoluto y relativo, SH y velocidad 20m en relación a los no-futbolistas, tanto por edad cronológica y estado de madurez, aunque, el desempeño físico se observa mejor por estado de madurez, especialmente en el VO_{2max} y en el SH. Estos resultados sugieren que los profesionales que trabajan en las categorías de base del fútbol deben considerar el control del estado de madurez como una alternativa para categorizar a los futbolistas cuando se evalúa y se entrena las capacidades físicas.

AGRADECIMIENTOS

ANID-PFCHA/Doctorado Becas Chile/2020- folio 72210418, por la beca otorgada a Fernando Alvear.

REFERENCIAS

1. Cossio-Bolaños MA, Eduardo-Espanhol J, Merma MC, et al. Desempeño de la condición física relacionada a la salud en función del índice nutricional en niños de moderada altitud. *Pediatr Mex*. 2011;13(3):96-102.
2. Siervogel RM, Demerath EW, Schubert C, Remsberg KE, Chumlea WC, Sun S, Czerwinski SA, Towne B. Puberty and body composition. *Horm Res*. 2003;60(Suppl 1):36-45.
3. Gäbler M, Prieske O, Hortobágyi T, Granacher U. The Effects of Concurrent Strength and Endurance Training on Physical Fitness and Athletic Performance in Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2018 Aug 7;9:1057.
4. Albaladejo-Saura M, Vaquero-Cristóbal R, González-Gálvez N, Esparza-Ros F. Relationship between Biological Maturation, Physical Fitness, and Kinanthropometric Variables of Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(1):328.
5. Malina RM. Top 10 Research Questions Related to Growth and Maturation of Relevance to Physical Activity, Performance, and Fitness. *Research quarterly for exercise and sport* 2014;85(2): 157-173.
6. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth, maturation, and physical activity.: Human kinetics. 2004.

7. Meylan C, Cronin J, Oliver J, Hughes M. Talent Identification in Soccer: The Role of Maturity Status on Physical, Physiological and Technical Characteristics. *International journal of sports science & coaching*. 2010;5(4):571-592.
8. Lloyd R, Oliver J, Faigenbaum A, Myer G, De Ste Croix MB. Chronological Age vs. Biological Maturation: Implications for Exercise Programming in Youth. *Journal of strength and conditioning research*. 2014;28(5):1454-1464.
9. Granacher U, Lesinski M, Büsch D, Muehlbauer T, Prieske O, Puta C, et al. Effects of Resistance Training in Youth Athletes on Muscular Fitness and Athletic Performance: A Conceptual Model for Long-Term Athlete Development. *Frontiers in physiology*. 2016; 7:164.
10. McCloy CH. The measurement of Athletic Power. New York: Barnes & Co; 1934;1-36.
11. Malina RM, Bouchard C. Growth maturation and physical activity Champaign. IL: Human Kinetics. 1991;371-390
12. Malina RM, Rogol AD, Cumming SP, Coelho e Silva MJ, Figueiredo AJ. Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(13):852-859.
13. Portella D, De Arruda M, Cossio-Bolanos M. Valoración del rendimiento físico de jóvenes futbolistas en función de la edad cronológica/Assessment of the Physical Performance of Young Football Players in Terms of Chronological Age. *Apunts. educació física i esports* 2011;(106):42-49
14. De los Reyes YG, Ortega JAF. Características de jóvenes futbolistas colombianos en el terreno de juego. *Apunts. Educación física y deportes*. 2016;4(126):55-63.
15. Pérez-Contreras J, Merino-Muñoz P, Aedo-Muñoz E. Link Between Body Composition, Sprint, and Vertical Jump in Young Elite Soccer Players from Chile. *MHSalud*. 2021;18(2):60-76.
16. Toselli S, Mauro M, Grigoletto A, Cataldi S, Benedetti L, Nanni G, et al. Assessment of body composition and physical performance of young soccer players: differences according to the competitive level. *Biology*. 2022;11(6):823.
17. Ross WD. Kinanthropometry. Physiological testing of the high-performance athlete 1991.
18. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, et al. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2015;47(8):1755-1764.
19. Kozieł SM, Malina RM. Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. *Sports Med*. 2018;48(1):221-236.
20. Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *J Sports Sci*. 1988;6(2):93-101. doi:10.1080/02640418808729800.
21. Castro-Piñero J, Ortega FB, Artero EG, Girela-Rejón MJ, Mora J, Sjöström M, et al. Assessing muscular strength in youth: usefulness of standing long jump as a general index of muscular fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(7):1810-1817
22. Grosser M, Starischka S, Prat JA. Test de la condición física. Martínez Roca. 1988;9-29.
23. Williams AM, Hodges NJ. Practice, instruction and skill acquisition in soccer: Challenging tradition. *J Sports Sci*. 2005;23(6):637-650.
24. Trecroci A, Milanović Z, Rossi A, Broggi M, Formenti D, Alberti G. Agility profile in sub-elite under-11 soccer players: is SAQ training adequate to improve sprint, change of direction speed and reactive Agility performance? *Research in sports medicine*. 2016;24(4):331-340.
25. Formenti D, Rossi A, Bongiovanni T, Campa F, Cavaggioni L, Alberti G, et al. Effects of non-sport-specific versus sport-specific training on physical performance and perceptual response in young football players. *International journal of environmental research and public health*. 2021;18(4):1962.
26. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of sports sciences* 2000;18(9):669-683.
27. Baker J, Cote J, Abernethy B. Sport-Specific Practice and the Development of Expert Decision-Making in Team Ball Sports. *Journal of applied sport psychology*. 2003;15(1):12-25.
28. Kunrath CA, Gonçalves E, Teoldo I, Assis Marques Barbosa M. Maturação somática e aptidão física em jovens jogadores de futebol. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. 2017;10(4):187-191
29. Živković M, Stojiljković N, Trajković N, Stojanović N, Došić A, Antić V, et al. Speed, Change of Direction Speed, and Lower Body Power in Young Athletes and Nonathletes According to Maturity Stage. 2022;9(2):242.
30. Fernandez-Fernandez J, Canós-Portalés J, Martínez-Gallego R, Corbi F, Baiget E. Effects of Maturation on Lower-Body Neuromuscular Performance in Youth Tennis Players. *J Strength Cond Res*. 2023;37(1):167-173. doi:10.1519/JSC.0000000000004187
31. Malina RM, Cumming SP, Morano PJ, Barron M, Miller SJ. Maturity status of youth football players: A noninvasive estimate. *Medicine and science in sports and exercise*. 2005;37(6):1044-1052.
32. Cumming SP, Lloyd RS, Oliver JL, Eisenmann JC, Malina RM. Bio-banding in Sport: Applications to Competition, Talent Identification, and Strength and Conditioning of Youth Athletes. *Strength and conditioning journal*. 2017;39(2):34-47.

ESTUDIO 2: “EL ÁREA DE LA SUPERFICIE CORPORAL ES UN PREDICTOR DEL ESTADO DE MADUREZ EN NIÑOS Y ADOLESCENTES ESCOLARES”

“BODY SURFACE AREA IS A PREDICTOR OF MATURITY STATUS IN SCHOOL CHILDREN AND ADOLESCENTS”

Referencia artículo publicado:

Alvear-Vasquez, F., Vidal-Espinoza, R., Gomez-Campos, R., de Campos, L. F. C. C., Lazari, E., Guzmán-Luján, J. F., Pablos-Monzó, A., & Cossio-Bolaños, M. (2023). Body surface area is a predictor of maturity status in school children and adolescents. *BMC Pediatrics*, 23(1), 410. <https://doi.org/10.1186/s12887-023-04222-8>

RESEARCH

Open Access



Body surface area is a predictor of maturity status in school children and adolescents

Fernando Alvear-Vasquez¹, Rubén Vidal-Espinoza², Rossana Gomez-Campos³,
Luis Felipe Castelli Correia de Campos⁴, Evandro Lazari⁵, Jose Francisco Guzmán-Luján¹, Ana Pablos-Monzó⁶ and
Marco Cossio-Bolaños^{3*}

Abstract

Background Generally, Body surface area (BSA) changes significantly during growth and maturation. These increases portend a possible relationship between body size as determined by BSA with maturational status in children and adolescents.

Objective To determine the relationship between maturity status (MS) obtained by non-invasive anthropometric methods and body surface area (BSA) in children and adolescents of both sexes in a regional population of Chile. Additionally, we sought to verify the type of linear or nonlinear relationship between MS and BSA in both sexes.

Methods A descriptive (cross-sectional) study was designed in 950 children and adolescents of both sexes (539 males and 411 females). The age range ranged from 6.0 to 17.9 years. Anthropometric measurements were evaluated: body weight, standing height, sitting height. MS was assessed by means of two non-invasive anthropometric techniques. Both techniques predict peak years of growth velocity (APHV) through a regression equation for each sex. BSA (m²) was estimated by means of the Haycock equation.

Results The R² in the linear model is relatively lower (R² = 0.80 to 0.89 in males and 0.74 to 0.66 in females) in relation to the nonlinear quadratic model (R² = 0.81 in males and 0.76 to 0.69). The quadratic nonlinear quadratic model reflected an adequate fit (RMSE) for the data set, being in men (RMSE = 1.080 and 1.125), while in women (RMSE = 1.779 and 1.479).

Conclusion BSA is positively associated with MS determined by two non-invasive methods in Chilean children and adolescents: The nonlinear quadratic model was a better fit to the data distribution. The results suggest the use of BSA as a possible predictor of maturity status in Chilean youth.

Keywords Maturity status, Body surface area, Children, Adolescents

*Correspondence:

Marco Cossio-Bolaños
mcossio1972@hotmail.com

¹Universidad de Valencia, Valencia, España

²Universidad Católica Silva Henríquez, Santiago, Chile

³Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Peru

⁴Universidad del Bío Bío, Chillán, Chile

⁵Universidad Estadual de Campinas, Sao Paulo, Brasil

⁶Universidad Católica de Valencia, Valencia, España



© The Author(s) 2023. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Background

Biological maturation is defined as a progression of quantitative or qualitative changes leading from an undifferentiated or immature state to a highly organized, specialized and mature state [1]. All tissues, organs and systems of the human body mature, but do so at different times and rates [2].

In recent years, there has been widespread concern among researchers about the use of biological maturation indicators in children and adolescents in various populations around the world [3–7]. For these indicators make it possible to identify recognizable events or stages within the continuous changes that occur during the maturation process [1].

Indeed, classical indicators measuring the maturity status such as skeletal age (SA) and secondary sexual characteristics are often considered impractical and invasive [4, 5]. Thus, in recent years, non-invasive techniques have been emerging that allow predicting years from peak height velocity (a maturity compensation value). This, by using anthropometric variables, such as weight, standing height, sitting height and leg length (difference between height and sitting height) [8], and standing weight and height [9].

Both techniques have been widely used in various studies for the purpose of categorizing maturity status in children and adolescents [4, 6, 10, 11]. It is even used to verify interindividual differences in youth sports, especially during the transition to adolescence [12]. Consequently, investigating the state of maturity in the growing school population and somatic development in various regions of the world is extremely relevant.

In general, the literature highlights that traditional invasive methods bring with them logistical difficulties, limiting their uses and applications [13]. Therefore, parents, sports organizations, schools and ethics committees are often reluctant to use these protocols [12].

In this context, it is necessary to highlight new alternatives for estimating maturity status, involving the use of non-invasive somatic indicators that demand low physical and psychological risk among young people.

In fact, historically the body surface area (BSA) has been widely used to estimate body size and standardize physiological parameters since the early 20th century in adults [14, 15] and in children [16, 17]. Well, generally the BSA changes significantly in the stage of growth and maturation with the course of age, as it increases from 0.2 m² at birth to 1.73 m² in adulthood, along with the maturation of organ function [18].

These increases during the stage of growth and biological maturation portend a possible relationship between body size as determined by BSA with maturity status in children and adolescents. To our knowledge, no national and international studies have been found that have

tested and identified non-invasive anthropometric indicators to predict maturity status during the growth and somatic development stage. Consequently, to the best of our knowledge this information could contribute to the control of interindividual variations in maturity status among schoolchildren and young athletes.

Therefore, this study aimed to determine the relationship between the maturity status obtained by non-invasive anthropometric methods with BSA in children and adolescents of both sexes from a regional population of Chile. Additionally, we sought to verify the type of linear or nonlinear relationship between MS and BSA in both sexes.

Methods

Type of study and sample

A descriptive (cross-sectional) study was designed in 950 children and adolescents of both sexes (539 males and 411 females). The age range ranged from 6.0 to 17.9 years. Schoolchildren were invited to participate voluntarily in the study. The participants came from 04 primary and secondary schools in the Maule region (Chile). The sample selection was non-probabilistic (quotas).

The schools that participated in the study are public and are located in the urban area of the region. One of the researchers requested permission from the school administration to collect anthropometric data.

All children and adolescents whose parents and/or guardians signed the informed consent to participate in the study and those who were within the established age range were included in the study. Students who presented locomotor problems or physical difficulties that prevented the evaluation of anthropometric measurements and those who did not attend or did not complete the anthropometric measurements were excluded.

The study was previously approved by the Ethics Committee of the Universidad (protocol no. 100/2019). The protocol was based on the Declaration of Helsinki Agreement (World Medical Association) for human subjects.

Procedures

The data collection procedure was carried out in the facilities of each school. The Physical Education department was set up to evaluate anthropometric measurements. The data collection process was carried out in the months of October and November 2022 during school hours (8:00 a.m. to 13:00 p.m.).

Anthropometric measurements were evaluated according to the protocol described by Ross and Marfell-Jones [19]. The schoolchildren were weighed barefoot, wearing shorts and a T-shirt. A Tanita (Ltd Japan) digital scale with 100 g accuracy and a scale from 0 to 150 kg was used. Height (m) was assessed barefoot on the Frankfurt plane. An aluminum stadiometer graduated

in millimeters, Seca brand, with a scale of 0–2.50 m and with an accuracy of 0.1 cm was used. The trunk-cephalic height (sitting height) was measured using a wooden bench with a height of 50 cm, with a measuring scale from 0 to 150 cm, and with an accuracy of 1 mm.

The maturity status of children and adolescents was assessed by means of the non-invasive anthropometric techniques proposed by Mirwald et al. [8] and Moore et al. [9]. The first is based on chronological age, weight, standing height, sitting height, and leg length (standing height minus sitting height) and their interactions:

The second, uses chronological age, weight and height. Both techniques predict peak years of growth velocity (APHV) through a regression equation for each sex. These techniques indicate the time before or after the APHVs.

The classification of MS was performed by means of the described by Malina, Koziel [20], classifying as average young people from –1 to +1 years of PHV, those younger than –1 years of PHV classified as early and those older than +1 years of PHV classified as late. This classification was applied to the two techniques that estimate MS (Mirwald and Moore).

The BSA (m²) was estimated by means of the equation of Haycock et al. [21] This equation was proposed in infants, children and adults from height (length) and weight and their corresponding allometric adjustments: $BSA = 0.024265 \times \text{weight (kg)}^{0.5378} \times \text{height (cm)}^{0.3964}$.

The quality control of the anthropometric measurements was determined by the relative technical measurement error TEM (intra-evaluator and inter-evaluator). It was evaluated at 10% of the total sample. For both cases, the values ranged from 0.8 to 1.2%.

Statistical analysis

The normal distribution of the data was verified by the Kolmogorov-Smirnov test. Descriptive statistical analysis of arithmetic mean, standard deviation and range was performed. Differences between genders were determined by Student's test for related samples.

Regressions by sex and for each MS prediction method were performed using the linear and quadratic model. The coefficient of determination R² and root mean square error (RMSE) were calculated. The MS of Mirwald et al. [8] and Moore et al. [9] were considered as dependent variables, while BSA, as independent: for Males [SM-Mirwald = $-11.297 + 6.594 \times BSA$ (Linear model), SM-Mirwald = $-16.792 + 14.418 \times BSA - 2.636 \times BSA^2$ (Quadratic model)]; Females [SM-Mirwald = $-14.462 + 11.226 \times BSA$ (Linear model), SM-Mirwald = $-23.905 + 24.909 \times BSA - 4.766 \times BSA^2$ (Quadratic model)].

Males [SM-Moore = $-10.694 + 6.810 \times BSA$ (Linear model), SM-Moore = $-17.098 + 15.929 \times BSA - 3.072 \times BSA^2$ (Quadratic model)]; Females [SM-Moore =

$-10.525 + 7.767 \times BSA$ (Linear model), SM-Moore = $-20.984 + 22.918 \times BSA - 5.278 \times BSA^2$ (Quadratic model)].

In all cases, a $p < 0.05$ was considered significant. Calculations were performed in Excel spreadsheets, SPSS 18.0 and R.

Results

The anthropometric variables characterizing the sample studied can be seen in Table 1. The MS categories were determined by two methods (Mirwald and Moore). When age and anthropometric variables were compared by Mirwald and Moore, there were significant differences between both methods in the pre-pubertal category and in the pubertal category ($p < 0.05$). However, there were no differences between both methods in the post-pubertal category ($p > 0.05$).

In females, there were significant differences between both methods in the pubertal category ($p < 0.01$), however, in the other categories such as pre-pubertal and post-pubertal, there were no significant differences ($p > 0.05$).

In general, schoolchildren of both sexes categorized as pre-pubertal, evidenced lower age and lower anthropometric parameters in relation to those categorized as pubertal and post-pubertal ($p < 0.05$), even, pubertal presented lower values in relation to post-pubertal ($p < 0.05$).

The linear and nonlinear regression values between MS with BSA can be seen in Table 2. The R² in the linear model is relatively lower than the nonlinear (quadratic) model. The quadratic model showed a higher explanatory power from 1 to 3%. In general, the nonlinear quadratic model reflected an adequate fit (RMSE) for the data set, being in males (RMSE=1.080 and 1.125), while in females (RMSE=1.779 and 1.479). Figure 1 shows a parabola product of the cubic model, where pubescent males (-1APHV to +1APHV) evidenced a BSA from 1.55 to 1.79m² by Mirwald technique and 1.57 to 1.79m² by Moore technique, while pubescent females (-1APHV to +1APHV) reflected a BSA from 1.32 to 1.45m² by Mirwald and 1.36 to 1.58m² by Moore.

Discussion

The results of the study have shown that there is a linear and non-linear relationship between MS and BSA in both sexes. However, the best fit in data concentration was observed in the quadratic non-linear relationship, where the explanatory power was higher from 1 to 3% and the RMSE evidenced lower values (RSME=1080 and 1.175 in males and RMSE=1.779 and 1.479 in females), with respect to the linear model (RSME=1.130 and 1.190 in males and RMSE=1.740 and 1.570 in females).

These findings indicate that the BSA can be considered an excellent predictor of MS in children and adolescents in a regional population of Chile. Therefore, future

Table 1 Anthropometric characteristics of children and adolescents categorized by maturity status

MS	n	Age (years)		Weight (kg)		Height (cm)		SH (cm)		LL (cm)		BSA (m ²)	
		X	SD	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD
MS males (Mirwald)													
Categories													
Pre Puberty	295	10.7	2.6	41.6	13.1	142.8	15.3	74.2	7.2	68.6	9.6	1.27	0.25
Puber	70	14.8a	0.7	62.8a	10.8	167.3a	5.4	86.9a	2.6	80.4a	5.5	1.70a	0.14
Post Puber	174	16.8ab	0.8	70.3ab	12.2	171.4ab	6.4	90.4ab	3.3	81.0ab	5.8	1.82ab	0.15
Total	539	13.2	3.4	53.6	18.3	155.2	18.2	81.1	9.6	74.2	10.1	1.5	0.33
MS Males (Moore)													
Pre Puberty	188	9.2*	1.9	35.4*	10.3	133.8*	10.8	70.4*	5.7	63.4*	7.1	1.13*	0.19
Puber	177	13.9†	1.1	56.5†	11.7	161.4†	7.2	83.8†	5	77.6†	5.5	1.58†	0.16
Post Puber	174	16.8	0.8	70.3	12.2	172.1	5.6	89.8	3.9	82.3	5.2	1.82	0.15
Total	539	13.2	3.4	53.6	18.3	155.2	18.2	81.1	9.6	74.2	10.1	1.5	0.33
MS Females (Mirwald)													
Pre Puberty	120	8.8	1.5	34.3	7.9	132.8	9.8	69.3	4.7	63.5	5.9	1.11	0.16
Puber	29	11.2a	0.6	46.7a	8.8	149.8a	4.5	77.7a	3.7	72.0a	3.7	1.39a	0.12
Post Puber	262	15.4 a,b	2	59.0ab	12	157.6ab	5.5	83.2ab	4.1	74.4ab	4.7	1.59ab	0.15
Total	411	13.1	3.5	50.9	15.5	149.8	13.1	78.8	7.6	71.1	7	1.43	0.26
MS Females (Moore)													
Pre Puber	101	8.5	1.4	32.8	7.2	130.4	8.5	68.2	4.2	62.2	5.2	1.08	0.14
Puber	117	11.9†	1.1	50.8†	9.8	152.9†	6.6	79.5†	4.2	73.4†	4.2	1.46†	0.15
Post Puber	193	16.3	1.2	60.5	12.6	158.2	5.4	83.8	4.2	74.3	4.9	1.61	0.16
Total	411	13.1	3.5	50.9	15.5	149.8	13.1	78.8	7.6	71.1	7	1.43	0.26

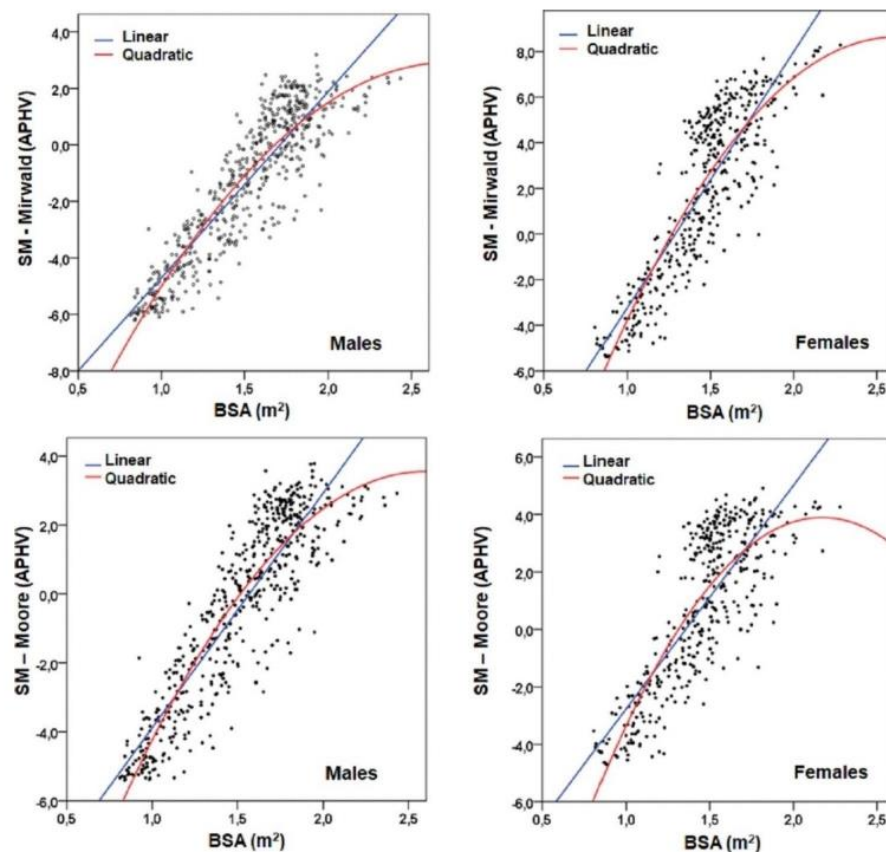
Legend: M5: maturity stage, SH: Sitting height, LL: leg length, BSA: body surface area, x: mean, SD: standard deviation, *: significant difference between pre-pubertal categories, †: significant difference between pubertal categories

Legend: MS: maturity stage, SH: Sitting height, LL: leg length, BSA: body surface area, x: mean, SD: standard deviation, *: significant difference between pre-pubertal categories, †: significant difference between pubertal categories

Table 2 Linear and non-linear regression models between MS by both methods with BSA in children and adolescents of both sexes

Models	MS (Mirwald et al 2002)					MS (Moore et al 2015)						
	R ²	F	g1	g2	p	RMSE	R ²	F	g1	g2	p	RMSE
Males												
Linear	0.8	2147.8	1	537	0.000	1.13	0.79	2063.5	1	537	0.000	1.19
Quadratic	0.81	1206.7	2	536	0.000	1.08	0.81	1193.2	2	536	0.000	1.125
Females												
Linear	0.74	1186.9	1	409	0.000	1.84	0.66	778.1	1	409	0.000	1.57
Quadratic	0.76	653.9	2	408	0.000	1.779	0.69	469.1	2	402	0.000	1.479

Legend: MS: Maturity stage, RMSE: root mean square error

**Fig. 1** Non-linear and non-linear relationship between BSA values and MS determined by two non-invasive techniques

studies that intend to propose new methods for the evaluation of MS by anthropometry could include BSA in their prediction models.

In fact, since the publication of the study by Mirwald et al. [8], in which the SM prediction equation is proposed in both sexes, more than 20 years have elapsed, in which it has been widely used in school [5, 22, 23] and sports populations [24–26]. Even, the same study group using the same database, made an adjustment to the initial equations, in which seated height was eliminated, and published new equations with a lower prediction error (known as Moore equations).

In this study we verified similar explanatory power (quadratic relationship) between BSC with the Mirwald and Moore Eq. (81%). However, in women, the explanatory power was higher with the Mirwald Eq. (79%) and lower with the Moore Eq. (69%). These findings indicate that it appears that the Mirwald and Moore technique may be appropriate methods for estimating MS in men, whereas in women only the Mirwald technique is appropriate.

In fact, the few studies carried out on this subject generally vary in their estimates from fair to moderate between methods [27, 28]. Therefore, given the absence

of a criterion method to compare SM estimates, it is necessary that future studies plan a large-scale longitudinal investigation to clarify these gaps and discrepancies between methods.

In general, the original Mirwald equation has been criticized for its predictive ability, in which several limitations are highlighted in both sexes [4, 20, 29]. Even, recently some studies highlight that the equation modified by Moore et al. [9] presents some important limitations that should be considered by researchers [4, 20, 28].

Therefore, perhaps it could be timely to include BSA in these two techniques predicting MS in children and adolescents of both sexes. In addition, the nonlinear relationship in both techniques should be considered, which could improve the explanatory power in the prediction models.

In essence, body size and body build over the years has been changing in pediatric patients of ethnic/racial background [30–32], thus equations predicting MS possibly require updating their regression models.

For it is widely known that the techniques used to predict MS need periodic evaluations, so BSA could be an appropriate predictor to control for such variations in body shape and build during the growth and development stage.

In summary, although BSA is related to both techniques of MS in children and adolescents of both sexes, classically BSA has been considered by Brozek et al. [34] as a long-established measure in measurements such as overlay, triangulation, planimetry, prediction from major body dimensions. Therefore, attention should be paid as a possible predictor of MS, as it is not surprising that several expressions correlating body surface area with direct measurements of body mass and length have been reported in the literature [35]. Although, additional or alternative variables and methods need to be considered as a complement to estimate somatic maturation [30].

In fact, maturation is a complex process involving changes in body structure and function, and these changes may vary among individuals and populations. Thus, their assessment by anthropometric techniques can help predict the maturity shift and accommodate individual differences among adolescents [8].

Meanwhile, studying methodologies to assess biological maturation during the stage of growth and development remains a gap, so future studies should continue to address strategies to generate new noninvasive methodologies.

Overall, this study has some limitations in its cross-sectional design, so future studies should use longitudinal designs to confirm our findings. For example, the most commonly used indicator of maturity in longitudinal studies during adolescence is peak PHV growth velocity which require serial measurements over several years

around the years surrounding the onset of peak growth velocity [36]. In addition, we also highlight that it was not possible to model these data for children and adolescents of both sexes through mathematical models such as Prece-Baines [37] and Sitar [38]. It is suggested that future studies analyze such models and verify the associations with PHV. However, notwithstanding the above, we emphasize that this study is one of the first investigations that demonstrated the usefulness of BSA in children and adolescents. Furthermore, this information may be useful for researchers who have longitudinal databases, in which the use and applicability of the BSA in children and adolescents from various geographic regions of the world can be tested.

Conclusion

This study concludes that the BSA is positively associated with MS determined by two non-invasive methods in Chilean children and adolescents: The nonlinear quadratic model best fit the data distribution. The results suggest the potential use of the BSA as a possible predictor of MS in young athletes and non-athletes and open new possibilities and alternatives in biological maturation research to explore its validity and reliability.

Abbreviations

BSA	Body surface area
MS	maturity status
APHV	peak years of growth velocity
TEM	technical measurement error
RMSE	root mean square error

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to all the participating students, teachers, and schools for their tremendous support.

Authors' contributions

M.C.B., R.G.C., F.A.V., and E.L. contributed to the design of the research study. F.A.V., R.V.E., L.F.C., and collected data, contributed to the discussion, wrote the manuscript and reviewed/edited the manuscript. M.C.B., R.G.C., R.V.D., L.F.C., E.L., J.G.L., and A.P. edited, and reviewed the manuscript. M.C.B., R.G.C., and F.A.V., analyzed data and/or reviewed/edited the manuscript. M.C.B., R.G.C., and F.A.V., reviewed/edited the manuscript. All authors revised and agreed on the views expressed in the manuscript.

Funding

ANID-PFCHA/Doctorado Becas Chile/2020- folio 72210418.

Data Availability

The datasets supporting the conclusions of this research article are available by emailing the corresponding author.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

The study protocol was approved by the Ethic Committee of the Universidad Autonoma de Chile, UA 238/2021. All experiments were performed in accordance with relevant guidelines and regulations (such as the Declaration of Helsinki). Parents and guardians provided informed written consent for their children under the age of 16 participating in the study. In addition, all students under and over the age of 16 in the study provided written informed consent acknowledging their consent to participate and their understanding of the research procedures and objectives.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Received: 31 May 2023 / Accepted: 2 August 2023

Published online: 19 August 2023

References

- Cameron N, Bogin B. Human Growth and Development. Second edition ed. San Diego, CA, USA: Elsevier Science; 2012.
- Beunen GP, Rogol AD, Malina RM. Indicators of Biological Maturation and secular changes in Biological Maturation. *Food Nutr Bull*. 2006;27(4suppl5):244–256.
- Gillison F, Cumming S, Standage M, Barnaby C, Katzmarzyk P. Assessing the impact of adjusting for maturity in weight status classification in a cross-sectional sample of UK children. *BMJ Open*. 2017;7(6):e015769.
- Kozielec SM, Malina RM. Validation in independent longitudinal samples of Boys and Girls. *Sports Med*. 2018;48(1):221–36.
- Cossio-Bolaños M, Vidal-Espinoza R, Castelli Correia de Campos LF, Sulla-Torres J, Cossio-Bolaños W, Urra Albornoz C, et al. Equations predicting maturity status: validation in a cross-sectional sample to assess physical growth and body adiposity in Chilean children and adolescents. *Endocrinología diabetes y nutrición*. 2021;68(10):689–98.
- Cossio Bolaños M, Vidal-Espinoza R, Minango Negrete J, Urzua-Alul L, Cossio Bolaños W, Sulla Torres J, et al. Proposal of percentiles to evaluate physical growth and body adiposity as a function of maturity status in Chilean children and adolescents. *Nutrición hospitalaria: organo oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*. 2021;38(5):935–42.
- Weber VMR, da Costa JC, Volpato LA, Romanzini M, Castro-Piñero J, Ronque ERV. Association between cardiorespiratory fitness and cognitive control: is somatic maturity an important mediator? *BMC Pediatr*. 2022;22:1699.
- Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):689–94.
- Moore S, McKay H, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, et al. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(8):1755–64.
- Drenowatz C, Greier K. Associations between Maturity Status and Dietary Intake in Austrian Adolescents. *Int J Pediatr Res*. 2018;4:046.
- Hogan C, Abbott S, Halaki M, Torres Castiglioni M, Yamauchi G, Mitchell L, et al. Maturation-based Corrective Adjustment Procedures. *PLoS ONE*. 2022;7(10):e0275797.
- Malina RM, Dompier TP, Powell JW, Barron MJ, Moore MT. Validation of a non-invasive maturity estimate relative to skeletal age in youth football players. *Clin J Sport Med*. 2007;17(5):362–8.
- Malina RM, Beunen GP. Matching opponents in youth sports. In: O Bar-Or, editor. *The child and Adolescent Athlete*. Oxford, UK: Blackwell Science; 1996. pp. 202–13.
- Meeh K. Oberflächenmessungen des menschlichen Körpers. *Z Biol*. 1879;15:425.
- Du Bois D, Du Bois EF. Clinical calorimetry: tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med*. 1916;XVII(62):863–71.
- Boyd E. The growth of the surface area of the human body. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press; 1935.
- Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *N Engl J Med*. 1987;317(17):1098.
- Feber J, Krásničanová H. Measures of Body Surface Area in Children. *Handbook of Anthropometry*. 2012:1249–1256. Ross WD, Marfell-Jones MJ. Kinanthropometry. En: MacDougall JD, Wenger HA, Geen HJ, editores. *Physiological tests for elite athletes*. London: Human Kinetics; 1991. p. 223–308.
- Ross WD, Marfell-Jones MJ. Kinanthropometry. En: MacDougall JD, Wenger HA, Geen HJ, editores. *Physiological tests for elite athletes*. London: Human Kinetics; 1991. p. 223–308.
- Malina RM, Kozielec SM. Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *J Sports Sci*. 2014;32(5):424–37.
- Haycock GB, Schwartz GJ, Wisotsky DH. Geometric method for measuring body surface area: a height-weight formula validated in infants, children, and adults. *J Pediatr*. 1978;93(1):62–6.
- Portella DL, Arruda M, Gómez-Campos R, Portella GC, Andruske CL, Cossio-Bolaños MA. Physical growth and biological maturation of children and adolescents. *Annals of nutrition and metabolism*. 2017;70(4):329–37.
- Pezoa-Fuentes P, Cossio-Bolaños M, Urra-Albornoz C, Alvear-Vasquez F, Lazari E, Urzua-Alul L, et al. Fat-free mass and maturity status are determinants of physical fitness performance in schoolchildren and adolescents. *Journal de Pédiatrie*. 2023;99(1):38–44.
- Radnor JM, Oliver JL, Waugh CM, Myer GD, Lloyd RS. The influence of Maturity Status on muscle Architecture in School-Aged boys. *Pediatr Exerc Sci*. 2020;32(2):89–96.
- Montenegro Barreto J, Vidal-Espinoza R, Gomez Campos R, De Arruda M, Urzua Alul L, Sulla-Torres J, et al. Relationship between muscular fitness and bone health in young baseball players. *Eur J Translational Myology*. 2021;31(1):9642.
- Toselli S, Mauro M, Grigoletto A, Cataldi S, Benedetti L, Nanni G, et al. Maturation selection biases and relative age effect in Italian Soccer Players of different levels. *Biology (Basel Switzerland)*. 2022;11(1):1559.
- Parr J, Winwood K, Hodson-Tole E, Deconinck FJA, Parry L, Hill JP, Malina RM, Cumming SP. Predicting the timing of the peak of the pubertal growth spurt in elite male youth soccer players: evaluation of methods. *Ann Hum Biol*. 2020;47(4):400–8.
- Salter J, Cumming SP, Hughes JD, De Ste Croix M. Estimating somatic maturity in adolescent soccer players: methodological comparisons. *Int J Sports Sci Coaching*. 2021;17:11–7.
- Malina RM, Choh AC, Czerwinski SA, Chumlea WC. Validation of Maturity Offset in the Fels Longitudinal Study. *Pediatr Exerc Sci*. 2016;28(3):439–55.
- Malina RM, Martinho DV, Valente-Dos-Santos J, Coelho-E-Silva MJ, Kozielec SM. Growth and Maturity Status of Female Soccer Players: a narrative review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1448.
- Nwoye LO. Body surface area of Africans: a study based on direct measurements of Nigerian males. *Hum Biol*. 1989;61(3):439–57.
- Orimadegun A, Omisarijo A. Evaluation of five formulae for estimating body surface area of Nigerian children. *Annals of Medical and Health Sciences Research*. 2014;4(6):889–98.
- Edelbi AE, Lindemalm R, Nydert S, Eksborg P. Estimation of body surface area in neonates, infants, and children using body weight alone. *Int J Pediatr Adolesc Med*. 2021;8(4):221–8.
- Brožek J, Pařízková J, Mendez J, Bartkett HL. The evaluation of body surface, body volume and body composition in human biology research. *Anthropologie (Brno)*. 1987;25(3):235–59.
- Wang J, Hihara E. Human body surface area: a theoretical approach. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(4):425–8.
- Malina RM. In: Bouchard C, Bar-Or O, editors. *Growth, maturation, and physical activity*. Human Kinetics; 2004.
- Preece MA, Baines MJ. A new family of mathematical models describing the human growth curve. *Ann Hum Biol*. 1978;5(1):1–24.
- Cole TJ, Donaldson MDC, Ben-Shlomo Y. SITAR—a useful instrument for growth curve analysis. *Int J Epidemiol*. 2010;39(6):1558–66.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

ESTUDIO 3: “CAMBIOS EN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL SEGÚN ESTADO DE MADUREZ EN ADOLESCENTES DE UNA REGIÓN DE CHILE DURANTE UN PERIODO DE 20 AÑOS”

Referencia artículo publicado:

Alvear-Vasquez, F., Guzman-Lujan, J. F., Guzman, A. B., Fuentes-Lopez, J., Vidal-Fernandez, N., Gomez-Campos, R., & Cossio Bolaños, M. (2024). Cambios en el índice de masa corporal según estado de madurez en adolescentes de una región de Chile durante un periodo de 20 años. *Nutrición Clínica Y Dietética Hospitalaria*, 44(3). <https://doi.org/10.12873/443alvear>

Cambios en el índice de masa corporal según estado de madurez en adolescentes de una región de Chile durante un periodo de 20 años

Changes in body mass index according to maturity status in adolescents from a region of Chile during a 20-year period

Fernando ALVEAR-VÁSQUEZ¹, José Francisco GUZMÁN-LUJAN¹, Ana Belén GUZMÁN², José FUENTES-LÓPEZ³, Nicolás VIDAL-FERNÁNDEZ², Rossana GÓMEZ-CAMPOS², Marco COSSIO-BOLAÑOS²

¹ Universidad de Valencia, Valencia, España.

² Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

³ Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Recibido: 1/mayo/2024. Aceptado: 28/julio/2024.

RESUMEN

Introducción: Los índices antropométricos son herramientas esenciales en la evaluación del estado de salud y pueden ser útiles para analizar los cambios a lo largo del tiempo.

Objetivo: Determinar si existen cambios significativos en el índice de masa corporal (IMC) según el estado de madurez (EM) en adolescentes en un intervalo de 20 años.

Metodología: Se diseñó un estudio de cohorte en escolares de 11,0 a 17,0 años. La muestra estuvo compuesta de dos cohortes correspondientes al año 1997 y 2017. La selección de la muestra fue de tipo probabilística (aleatoria), para la cohorte de 1997 se seleccionó 939 adolescentes y para el 2017 fueron 1026 adolescentes. Se evaluó el peso y estatura. Se calculó el IMC y EM a partir de variables antropométricas.

Resultados: Los adolescentes de ambos sexos de la cohorte 2017 evidenciaron mayor IMC en relación a sus contrapartes de 1997. No hubo diferencias significativas en el EM entre ambas cohortes. La correlación entre el IMC y el EM en hombres aumentó de $r = 0,25$ ($r^2 = 0,062$) a $r = 0,27$

($r^2 = 0,067$) en 20 años, mientras tanto, en mujeres fue de $r = 0,19$ ($r^2 = 0,036$) a $r = 0,26$ ($r^2 = 0,070$). Esto refleja incrementos del IMC en ambos sexos, aunque ligeramente más en mujeres que en hombres.

Conclusión: Este estudio verificó un aumento significativo en el IMC en todos los EM a lo largo de un período de 20 años, con un incremento mayor en mujeres que en hombres. Estos hallazgos resaltan la urgencia de intervenir a esta población para abordar el problema del sobrepeso y la obesidad.

PALABRAS CLAVE

Tendencia, condición nutricional, madurez biológica, crecimiento.

ABSTRACT

Introduction: Anthropometric indices are essential tools in the assessment of health status and can be useful to analyze changes over time.

Objective: To determine if there are significant changes in body mass index (BMI) according to maturity status (MS) in adolescents over a 20-year interval.

Methodology: A cohort study was designed in schoolchildren aged 11.0 to 17.0 years. The sample was composed of two cohorts corresponding to the year 1997 and 2017. The sample selection was probabilistic (random), for the 1997 co-

Correspondencia:

Marco Cossio Bolaños
mcossio1972@hotmail.com

hort 939 adolescents were selected and for 2017 there were 1026 adolescents. Weight and height were assessed. BMI and MS were calculated from anthropometric variables.

Results: Adolescents of both sexes in the 2017 cohort evidenced higher BMI relative to their 1997 counterparts. There were no significant differences in MS between the two cohorts. The correlation between BMI and MS in males increased from $r = 0.25$ ($r^2 = 0.062$) to $r = 0.27$ ($r^2 = 0.067$) over 20 years, while in females it was from $r = 0.19$ ($r^2 = 0.036$) to $r = 0.26$ ($r^2 = 0.070$). This reflects increases in BMI in both sexes, although slightly more in females than in males.

Conclusion: This study verified a significant increase in BMI in all MS over a 20-year period, with a greater increase in women than in males. These findings highlight the urgency of intervening in this population to address the problem of overweight and obesity.

KEY WORDS

Trend, nutritional condition, biological maturity, growth.

INTRODUCCIÓN

La antropometría implica la medición externa de los rasgos morfológicos de los seres humanos¹. Esta técnica proporciona importantes indicadores de crecimiento físico, estado nutricional², así como la predicción del estado de madurez a partir de un método práctico y no invasivo que predice años a partir de la velocidad máxima de altura (un valor de compensación de madurez) mediante el uso de variables antropométricas^{3,4}.

En general, las mediciones antropométricas permiten reflejar el estado general de salud, la adecuación de la dieta, la monitorización del del crecimiento y el desarrollo a lo largo del tiempo⁵. Por el ello, el uso de indicadores antropométricos clásicamente ha sido la piedra angular de la vigilancia nutricional en niños, adolescentes y adultos, aunque, siempre ha sido un tema de debate⁶.

Por ello, las mediciones antropométricas clásicas, como la altura y el peso corporal, se utilizan ampliamente como componentes de medida de la forma corporal⁷. De hecho, la medición del peso y la estatura es una práctica común y fundamental en el ámbito de la salud pública, la pediatría y la nutrición clínica, especialmente en adolescentes⁸.

La combinación de estas dos medidas se refleja en índices antropométricos, como el índice de masa corporal (IMC) o el índice tri-ponderal (ITP), cuyas medidas sirven para evaluar la adiposidad corporal en los distintos grupos de edad⁹.

En general, los índices antropométricos, como el IMC y el ITP, son herramientas esenciales en la evaluación del estado del peso y el tamaño corporal en personas de todas las edades. Estas medidas proporcionan una forma cuantitativa de

evaluar el estado de salud y pueden ser útiles para analizar los cambios a lo largo del tiempo.

El IMC, al relacionar el peso con la estatura, proporciona una categorización general del estado ponderal de una persona y se utiliza ampliamente como herramienta de detección para identificar posibles problemas de peso, como el sobrepeso y la obesidad¹⁰. El ITP, por su parte, ofrece una alternativa al IMC y se ha sugerido que puede ser más preciso en la evaluación de la adiposidad corporal y riesgo metabólico en ciertos grupos, como los niños y adolescentes^{11,12}.

En esencia, es alentador saber que se han realizado varios estudios en diferentes regiones geográficas del mundo para investigar los cambios seculares del tamaño corporal e índices antropométricos en niños y adolescentes. Estos estudios son de gran importancia ya que proporcionan información valiosa sobre las tendencias en el crecimiento y desarrollo físico de la población juvenil a lo largo del tiempo¹³⁻¹⁶, sin embargo, hasta donde se sabe son nulos los estudios que analicen estos patrones según el estado de madurez. Por lo que se necesita información sobre estas tendencias para analizar los cambios positivos o negativos que se han producido, bajo este contexto entre los años 1997 y 2017 en Chile. Además, algunos estudios efectuados en Chile, en los últimos años han reportado una transición nutricional extremadamente rápida¹⁷⁻¹⁹ y consecuentemente, elevadas prevalencias de obesidad²⁰.

Dada esta situación, es razonable esperar que los adolescentes evaluados en 2017 muestren un mayor IMC en comparación con los evaluados en 1997. Estas diferencias podrían reflejar tanto los cambios en los patrones de alimentación y estilo de vida como las políticas de salud pública implementadas a lo largo del tiempo.

Por lo tanto, el objetivo del estudio fue determinar si existen cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región del centro-sur de Chile en un intervalo de 20 años. Esta información podría ayudar a comprender mejor la evolución de la salud y el estado del peso corporal en una población regional de Chile.

METODOLOGÍA

Tipo de estudio y muestra

Se diseñó un estudio de cohorte en adolescentes escolares de ambos sexos con edades entre los 11,0 a 17,0 años. La muestra estuvo compuesta de dos cohortes correspondientes al año 1997 y 2017. Los participantes (ambas cohortes) pertenecían a establecimientos educacionales de cuatro provincias de la región del Maule ubicada en el centro-sur de Chile. (Cauquenes, Curicó, Linares y Talca). Los datos fueron recolectados por el mismo grupo de investigación.

La selección de la muestra fue de tipo probabilística (aleatoria) para las dos cohortes (1997 y 2017). Para la cohorte

1997 el universo fue de 9000 adolescentes (4530 hombres y 4470 mujeres), se seleccionaron 939 adolescentes (10,4%) [471 hombres (5,2%) y 468 mujeres (5,2%)]. Para la cohorte 2017, el universo fue de 9900 adolescentes (5370 hombres y 4530 mujeres), se seleccionaron 1026 adolescentes (10,4%) [555 hombres (5,6%) y 471 mujeres (4,8%)].

Los participantes de ambas cohortes del estudio en general eran escolares pertenecientes a colegios públicos y de zonas urbanas de la región. En Chile generalmente los escolares de colegios públicos pertenecen a una condición socioeconómica media²¹.

Todos los adolescentes contaban con consentimiento informado firmado por sus padres y/o tutores correspondientes en ambas cohortes, del mismo modo, cada uno de los participantes dieron su consentimiento por escrito. También se contó con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Autónoma de Chile (certificado # 2413) para la cohorte 2017, no hubo registro al respecto para la cohorte de 1997. Ambas cohortes fueron evaluadas de acuerdo a la Declaración de Helsinki para seres Humanos²².

Se incluyeron en el estudio a todos los adolescentes escolares cuyos padres autorizaron la participación voluntaria en el mismo y a los adolescentes que estaban dentro del rango de edad establecido (11 y 17 años). Se excluyeron a quienes vivían en zonas rurales de la región y a los que presentaban algún tipo de impedimento físico que dificultara la evaluación antropométrica.

Técnicas y procedimientos

La edad decimal se calculó con la fecha de nacimiento (día, mes, año) y la fecha en que se tomaron las evaluaciones. Las mediciones antropométricas se evaluaron siguiendo las recomendaciones de Ross & Marfell-Jones²³. El peso corporal y la estatura se midieron con la menor cantidad de ropa posible (pantalón corto, camiseta y sin zapatos). El peso (kg) se evaluó con una balanza digital de marca Seca con precisión de (100g) y una escala de (0 a 150kg). La estatura (m) se evaluó de acuerdo al plano de Frankfort a través de un estadiómetro de aluminio de marca Seca graduado en milímetros con una escala de (0 a 2,50m). Se calculó el Índice de Masa Corporal (kg/m^2) a través de la fórmula: $[\text{IMC} = \text{Peso}(\text{kg}) / \text{Estatura}(\text{m})^2]$.

El estado de madurez (EM) se evaluó a través de las ecuaciones propuestas por Moore et al.⁴ para ambos sexos. Las ecuaciones consideran, por ejemplo, la edad cronológica y estatura de pie para su estimación para ambos sexos (Mujeres: Estado de madurez (APVC) = $-7,709133 + (0,0042232 \times (\text{edad} \times \text{estatura}))$ y para hombres: Estado de madurez (APVC) = $7,999994 + (0,0036124 \times (\text{edad} \times \text{estatura}))$, donde APVC: años de pico de velocidad de crecimiento). Para clasificar el EM, se utilizó la sugerencia descrita por Malina y Koziet²⁴, considerando a los adolescentes con maduración promedio

(Púber) dentro de -1 a $+1$ APVC; inferiores a -1 APVC (Pre púber); y superiores a $+1$ APVC (Post púber).

Estadística

La distribución normal de los datos del peso y estatura de ambas cohortes se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se efectuó los cálculos de estadística descriptiva: promedio, desviación estándar, frecuencias, porcentajes y rango. Las diferencias entre ambas cohortes se efectuaron mediante test t para muestras independientes. Para relacionar las variables en cada cohorte se utilizó el coeficiente de Pearson y para el poder de explicación se utilizó R^2 . Para todos los casos, se adoptó $p < 0,05$ y los cálculos se efectuaron en planillas de Excel, SPSS 18.0 y en MedCalc 11.1.0.

RESULTADOS

En la tabla 1 se observa las variables antropométricas y los niveles del estado de madurez en adolescentes de ambos sexos. No hubo diferencias significativas en la edad cronológica y estatura entre ambas cohortes y en ambos sexos ($p > 0,05$). El estado de madurez se mantuvo estable en ambas cohortes y en ambos sexos, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$). En cuanto al peso y el IMC, si hubo diferencias significativas en ambas cohortes, donde los adolescentes de ambos sexos evidenciaron mayor peso e IMC en el año 2017 ($p < 0,05$).

Las comparaciones del IMC según niveles del estado de madurez se observan en la figura 1. Los adolescentes de ambos sexos de la cohorte 1997, reflejan valores significativamente inferiores de IMC en comparación con la cohorte 2017 ($p < 0,05$). En la figura 2, se observa la relación entre el estado de madurez con los valores del IMC de ambas cohortes y ambos sexos. La correlación entre el IMC y el estado de madurez en hombres aumentó de $r = 0,25$ ($r^2 = 0,062$) a $r = 0,27$ ($r^2 = 0,067$) en 20 años, mientras tanto, en mujeres fue de $r = 0,19$ ($r^2 = 0,036$) a $r = 0,26$ ($r^2 = 0,070$). Esto refleja incrementos del IMC en ambos sexos, aunque ligeramente más en mujeres que en hombres.

DISCUSIÓN

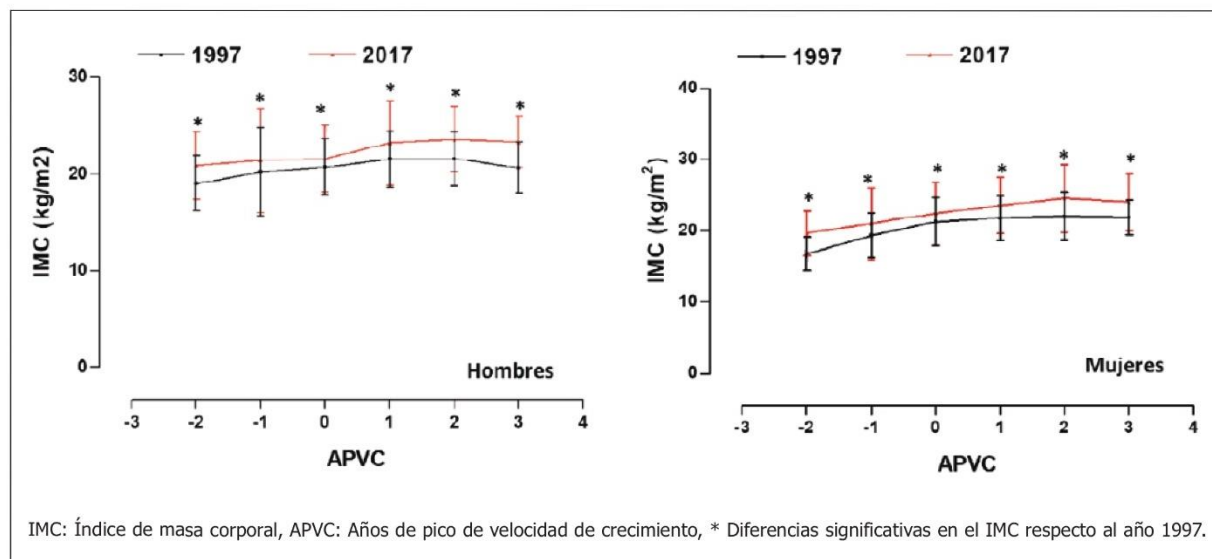
Este estudio tuvo como objetivo determinar si existe cambios significativos en el IMC según el estado de madurez en adolescentes de una región de Chile. Los resultados indican que hubo cambios significativos en el IMC en todos los APVC (estados de madurez) y en ambos sexos en la población regional de Chile durante un período de 20 años.

Este hallazgo refleja tendencias globales en el aumento del peso corporal. Pues varios estudios a nivel internacional han evidenciado incrementos significativos a lo largo de diferentes períodos de tiempo^{25,26}, incluso, en los últimos años, algunos

Tabla 1. Características antropométricas y estado de madurez de adolescentes chilenos de 1997 y 2017

Variables	Hombres							Mujeres						
	1997			2017			p-valor	1997			2017			p-valor
	n	Media	DE	n	Media	DE		n	Media	DE	n	Media	DE	
Edad (años)		14,1	2,0		14,0	2,1	0,320		13,9	2,0		13,9	2,2	0,560
Antropometría														
Peso (kg)		55,1	12,4		60,0	15	0,001		52,3	9,8		57,2	13,0	0,001
Estatura (cm)		162,1	12,2		163,7	12	0,050		155,4	7,5		155,9	7,8	0,250
IMC (kg/m ²)		20,8	3,2		22,2	4,1	0,001		21,6	3,2		23,4	4,5	0,001
E. Madurez														
Pre púber (APVC)	119	-2,0	0,6	141	-1,9	0,6	0,182	36	-1,4	0,4	44	-1,6	0,3	0,260
Púber (APVC)	153	0,2	0,6	190	0,1	0,6	0,126	149	0,1	0,6	141	0,1	0,5	>0,99
Post púber (APVC)	199	1,9	0,6	224	2,0	0,6	0,078	283	2,5	0,8	286	2,6	0,9	0,162

DE: Desviación estándar, E: Estado, IMC: Índice de masa corporal, APVC: años de pico de velocidad de crecimiento.

**Figura 1.** Comparación del IMC en dos cohortes (1997 y 2017) según estado de madurez (APVC) en adolescentes de ambos sexos

estudios efectuados en Chile han reportado incrementos positivos del IMC y la adiposidad corporal²⁷⁻²⁹.

Este aumento en el IMC puede atribuirse a una serie de factores, como cambios en la alimentación y la nutrición, aumento del sedentarismo, fácil acceso a los alimentos procesados y al-

tos en calorías, mejoramiento del nivel socioeconómico, del estilo de vida y las opciones de salud de la población³⁰⁻³².

Un IMC elevado es un factor de riesgo de enfermedades no transmisibles como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y los trastornos musculoesqueléticos, lo que re-

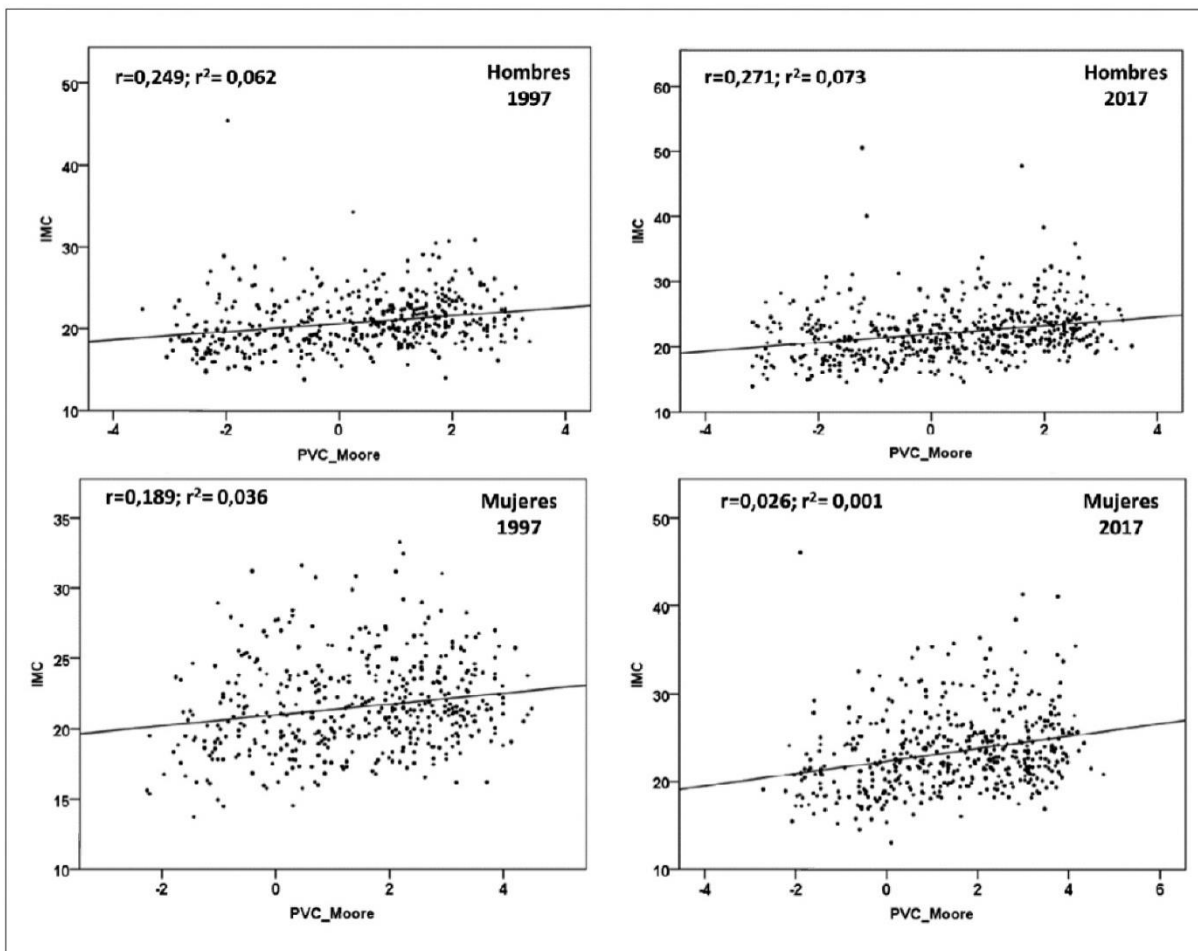


Figura 2. Relación entre los valores del IMC con el estado de madurez (APVC) en adolescentes de ambos sexos

sulta en una disminución dramática de la calidad y la esperanza de vida³³.

Por ello, es necesario fomentar una alimentación equilibrada y la práctica regular de ejercicio físico, así como la educación sobre la importancia del mantenimiento de un peso corporal adecuado desde la adolescencia³⁴.

De hecho, en un país como Chile, donde el aumento de la prevalencia de sobrepeso en niños y adolescentes es casi el 40% y de obesidad alrededor del 31%^{35,19} es plausible que el IMC haya aumentado en los últimos 20 años.

También cabe resaltar que, en Chile en las últimas décadas, se han producido cambios importantes en las condiciones socioeconómicas de la población, por lo que el crecimiento económico, la urbanización y la globalización han modificado profundamente el modo de vivir de los chilenos³⁶. Estos cambios pueden haber contribuido a las tendencias observadas en

este estudio, por lo que es necesario desarrollar estrategias de salud pública que aborden los determinantes sociales de la salud y promuevan entornos que favorezcan estilos de vida saludables para los adolescentes.

En general, el aumento del sobrepeso y la obesidad en niños y adolescentes es un problema de salud pública importante que puede tener consecuencias a largo plazo para la salud de la población. Estas tendencias están causando graves problemas de salud pública y en muchos países amenazan la viabilidad de la prestación de atención sanitaria básica³⁷, aumenta también el riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer³⁸.

Estas enfermedades pueden requerir tratamientos prolongados y costosos, y pueden tener un impacto negativo en la calidad de vida de los adolescentes estudiados. Esto implica no solo tratar las enfermedades una vez que se desarrollan,

sino también implementar estrategias de prevención que promuevan estilos de vida saludables y opciones de salud positivas desde edades tempranas.

El estudio presenta algunas limitaciones que tienen que ver con las medidas antropométricas recolectadas en las dos cohortes. Por ejemplo, no fue posible evaluar medidas de adiposidad corporal como pliegues cutáneos y circunferencia del abdomen, además, no fue posible recolectar información sobre los niveles de actividad física. Esta información hubiera contribuido en discutir mejor los hallazgos de este estudio. Por ello, es necesario que futuros estudios incluyan en sus diseños estas variables. También el estudio presenta algunas fortalezas, estas tienen que ver que es un estudio que abarca la región central de Chile, presenta un tamaño de muestra grande y la selección de la muestra fue probabilística en ambas cohortes.

CONCLUSIONES

Este estudio verificó un aumento significativo en el IMC en todos los estados de madurez en adolescentes a lo largo de un período de 20 años, con un incremento mayor en mujeres que en hombres. Estos hallazgos resaltan la urgencia de intervenir a esta población de adolescentes para abordar el problema del sobrepeso y la obesidad. Se sugiere que, en el corto plazo, es necesario implementar medidas concretas y específicas para enfrentar este desafío de salud pública como programas de actividad física, así como intervenciones relacionadas con la dieta, la educación y el apoyo psicológico para lograr resultados óptimos en la salud y el bienestar de los adolescentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a ANID-PFCHA/Doctorado Becas Chile/2020- folio 72210418, por la beca otorgada a Fernando Alvear.

REFERENCIAS

1. Ulijaszek SJ, Kerr DA. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *British Journal of Nutrition*. 1999;82(3):165-77. doi:10.1017/S0007114599001348
2. Gibson, Rosalind S. Principles of nutritional assessment. Oxford university press, USA, 2005.
3. Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):689-694. doi:10.1097/00005768-200204000-00020
4. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, et al. Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(8):1755-1764. doi:10.1249/MSS.0000000000000588
5. Fryar CD, Gu Q, Ogden CL, Flegal KM. Anthropometric Reference Data for Children and Adults: United States, 2011-2014. *Vital Health Stat 3 Anal Stud*. 2016;(39):1-46.
6. Lelijveld N, Benedict RK, Wrottesley SV, et al. Towards standardised and valid anthropometric indicators of nutritional status in middle childhood and adolescence. *Lancet Child Adolesc Health*. 2022;6(10):738-746. doi:10.1016/S2352-4642(22)00196-1
7. Hwaung P, Heo M, Kennedy S, et al. Optimum waist circumference-height indices for evaluating adult adiposity: An analytic review. *Obes Rev*. 2020;21(1):e12947. doi:10.1111/obr.12947
8. Madden AM, Smith S. Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: a review of anthropometric variables. *J Hum Nutr Diet*. 2016;29(1):7-25. doi:10.1111/jhn.12278
9. Khoshhali M, Heidari-Beni M, Qorbani M, et al. Tri-ponderal mass index and body mass index in prediction of pediatric metabolic syndrome: the CASPIAN-V study. *Arch Endocrinol Metab*. 2020;64(2):171-178. doi:10.20945/2359-3997000000206
10. Khanna D, Peltzer C, Kahar P, Parmar MS. Body Mass Index (BMI): A Screening Tool Analysis. *Cureus*. 2022;14(2):e22119. Published 2022 Feb 11. doi:10.7759/cureus.22119
11. Peterson CM, Su H, Thomas DM, et al. Tri-Ponderal Mass Index vs Body Mass Index in Estimating Body Fat During Adolescence. *JAMA Pediatr*. 2017;171(7):629-636. doi:10.1001/jamapediatrics.2017.0460
12. Wang X, Dong B, Ma J, Song Y, Zou Z, Arnold L. Role of tri-ponderal mass index in cardio-metabolic risk assessment in children and adolescents: compared with body mass index. *Int J Obes (Lond)*. 2020;44(4):886-894. doi:10.1038/s41366-019-0416-y
13. Freedman DS, Srinivasan SR, Valdez RA, Williamson DF, Berenson GS. Secular increases in relative weight and adiposity among children over two decades: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics*. 1997;99(3):420-426. doi:10.1542/peds.99.3.420
14. Kimm SY, Barton BA, Obarzanek E, et al. Racial divergence in adiposity during adolescence: The NHLBI Growth and Health Study. *Pediatrics*. 2001;107(3):E34. doi:10.1542/peds.107.3.e34
15. Nagel G, Wabitsch M, Galm C, et al. Secular changes of anthropometric measures for the past 30 years in South-West Germany. *Eur J Clin Nutr*. 2009;63(12):1440-1443. doi:10.1038/ejcn.2009.86
16. Guimarey LM, Castro LE, Torres MF, et al. Secular changes in body size and body composition in schoolchildren from La Plata City (Argentina). *Anthropol Anz*. 2014;71(3):287-301. doi:10.1127/0003-5548/2014/0364
17. Albala C, Vio F, Kain J, Uauy R. Nutrition transition in Latin America: the case of Chile. *Nutr Rev*. 2001;59(6):170-176. doi:10.1111/j.1753-4887.2001.tb07008.x
18. Vio F, Albala C, Kain J. Nutrition transition in Chile revisited: mid-term evaluation of obesity goals for the period 2000-2010. *Public Health Nutr*. 2008;11(4):405-412. doi:10.1017/S136898000700050X
19. Mujica-Coopman MF, Navarro-Rosenblatt D, López-Arana S, Corvalán C. Nutrition status in adult Chilean population: economic, ethnic and sex inequalities in a post-transitional country. *Public Health Nutr*. 2020;23(S1):s39-s50. doi:10.1017/S1368980019004439

20. GBD 2015 Obesity Collaborators, Afshin A, Forouzanfar MH, et al. Health Effects of Overweight and Obesity in 195 Countries over 25 Years. *N Engl J Med*. 2017;377(1):13-27. doi:10.1056/NEJMoa1614362
21. Cossio-Bolaños M, Vasquez P, Luarte-Rocha C, Sulla-Torres J, Gómez Campos R. Assessment of self-perception of physical fitness and proposal for standards among Chilean adolescent students: the EAPAF study. Evaluación de la autopercepción de la aptitud física y propuesta de normativas en adolescentes escolares chilenos: estudio EAPAF. *Arch Argent Pediatr*. 2016;114(4):319-328. doi:10.5546/aap.2016.eng.319
22. Asociación Médica Mundial. Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. 48ª Asamblea General, Somerset West, Sudáfrica. 1996. Disponible en: https://www.wma.net/wp-content/uploads/2024/05/DoH-Oct_1996_S.pdf
23. Ross WD, Marfell-Jones MJ. Kinanthropometry. In J. D. MacDougall, H. A. Wenger, & H. J. Geeny (Eds.), *Physiological testing of elite athlete*. Human Kinetics. 1991; 223:308-314.
24. Malina RM, Kozielec SM. Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *J Sports Sci*. 2014;32(5):424-437. doi:10.1080/02640414.2013.828850
25. Patalay P, Gage SH. Changes in millennial adolescent mental health and health-related behaviours over 10 years: a population cohort comparison study. *Int J Epidemiol*. 2019;48(5):1650-1664. doi:10.1093/ije/dyz006
26. Blundell E, De Stavola BL, Kellock MD, et al. Longitudinal pathways between childhood BMI, body dissatisfaction, and adolescent depression: an observational study using the UK Millenium Cohort Study [published correction appears in *Lancet Psychiatry*. 2024 Feb;11(2):e3]. *Lancet Psychiatry*. 2024;11(1):47-55. doi:10.1016/S2215-0366(23)00365-6
27. Gatica-Mandiola P, Vargas-Vitoria R, Jirón Amaro O, et al. Cambios en la adiposidad corporal de adolescentes escolares (1997-2007). *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 2013; 33(3):23-29. doi:10.12873/333bodyfat
28. Herrera JC, Lira M, Kain J. Vulnerabilidad socioeconómica y obesidad en escolares chilenos de primero básico: comparación entre los años 2009 y 2013. *Revista chilena de Pediatría*. 2017;88(6):736-743. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062017000600736>
29. East P, Delker E, Blanco E, et al. BMI Trajectories from Birth to 23 Years by Cardiometabolic Risks in Young Adulthood. *Obesity (Silver Spring)*. 2020;28(4):813-821. doi:10.1002/oby.22754
30. Agrawal P, Gupta K, Mishra V, Agrawal S. Effects of sedentary lifestyle and dietary habits on body mass index change among adult women in India: findings from a follow-up study. *Ecol Food Nutr*. 2013;52(5):387-406. doi:10.1080/03670244.2012.719346
31. Fox A, Feng W, Asal V. What is driving global obesity trends? Globalization or "modernization"? *Global Health*. 2019;15(1):32. Published 2019 Apr 27. doi:10.1186/s12992-019-0457-y
32. Kerkadi A, Sadig AH, Bawadi H, et al. The Relationship between Lifestyle Factors and Obesity Indices among Adolescents in Qatar. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(22):4428. Published 2019 Nov 13. doi:10.3390/ijerph16224428
33. Lin X, Li H. Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021;12:706978. Published 2021 Sep 6. doi:10.3389/fendo.2021.706978
34. Oukhedra M, Bouaouda K, Mohtadi K, et al. Association between nutritional status, body composition, and fitness level of adolescents in physical education in Casablanca, Morocco. *Front Nutr*. 2023;10:1268369. Published 2023 Nov 7. doi:10.3389/fnut.2023.1268369
35. MINSAL (Ministerio de Salud, Gobierno de Chile). Encuesta Nacional de Salud de Chile 2016-2017. 2018. Recuperado de http://inta.cl/wp-content/uploads/2018/01/ENS-2016-17_PRIME_ROSRESULTADOS-1.pdf
36. Kain J, Uauy R, Lera L, Taibo M, Espejo F, Albala C. Evolución del estado del estado nutricional de escolares chilenos de 6 años (1987-2003) [Evolution of the nutritional status of six years old Chilean children (1987-2003)]. *Rev Med Chil*. 2005;133(9):1013-1020. doi:10.4067/s0034-98872005000900003
37. Raj M, Kumar RK. Obesity in children & adolescents. *Indian J Med Res*. 2010;132(5):598-607.
38. Scully T, Ettela A, LeRoith D, Gallagher EJ. Obesity, Type 2 Diabetes, and Cancer Risk. *Front Oncol*. 2021;10:615375. Published 2021 Feb 2. doi:10.3389/fonc.2020.615375