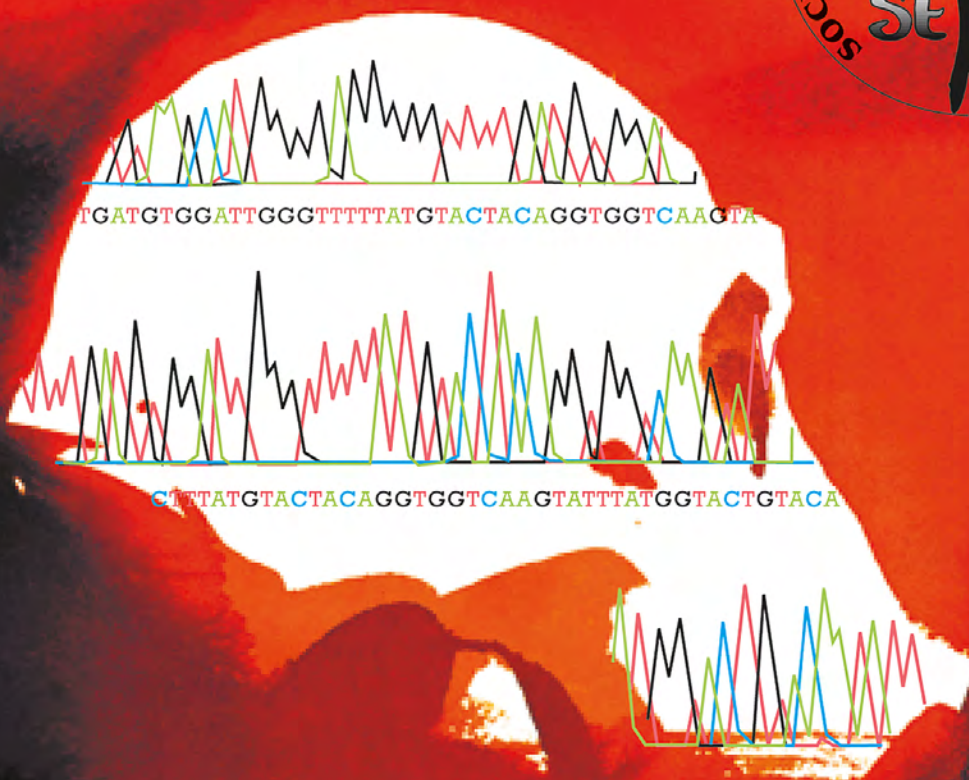


REVISTA ESPAÑOLA
DE

ANTROPOLOGIA FISICA

VOLUMEN 51-2025



ISSN 2253-9921

----- Revista Española de -----

ANTROPOLOGÍA FÍSICA



VOLUMEN 51 – 2025

ISSN 2253-9921

© **Revista Española de Antropología Física**

ISSN 2253-9921 - Depósito Legal LE-153-1995

Dirección Científica

Esther M. Rebato Ochoa (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea, UPV/EHU) - esther.rebato@ehu.eus

M^a José Blanco Villegas (Universidad de Salamanca) - mache@usal.es

Dirección Técnica

Noemí Rivaldería Moreno (Universidad de Alcalá) – noemi.rivalderia@uah.es

María Eugenia Ibañez Perez-Zamacona (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea) - mariaeugenia.ibanez@ehu.eus

Impreso en Madrid, marzo 2025

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ANTROPOLOGIA FÍSICA (SEAF)

Junta Directiva 2024

Presidente: Pilar Montero López

Secretario: Candela Hernández de la Fuente

Tesorera: Belén López Martínez

Responsables de los Fondos Bibliográficos de la SEAF:

Eduardo Sánchez-Compadre (Universidad de León) - dbaesc@unileon.es

Luis Miguel Fernández Blanco (Universidad de León) - gerlmf@unileon.es

Web de la SEAF:

<https://seaf.es/>

Diseño de la portada: Nils Burwitz



SUMARIO - Vol. 51 (2025)

- 01 **Eva Fernández-Domínguez y Eduardo Arroyo-Pardo**
Obituario: Gracias, Daniel (1947-2025)
- 01 **Hajar El Hendaoui, Rachida Moustakim, Imane Barakat, Mostafa Kandil, Mohamed Mziwira, Mohammed Elayachi, Abdellah Elhabazi y Rekia Belahsen**
Evaluation of the determinants of adherence to the Mediterranean diet in an adult population of Khouribga province in Morocco
- 15 **Aline Jelenkovic, Lara Huebra, Alaitz Poveda, María Eugenia Ibáñez-Zamacona y Esther Rebato**
El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) como desajuste evolutivo. Una revisión sistemática
- 26 **Imane Barakat, Sanaa El-Jamal, Halima Belaoufi, Halima Daif, Rachida Moustakim, Mohammed Elayachi y Rekia Belahsen**
Anthropometric measures: associated factors, and relationships with weight satisfaction in an adult population
- 35 **José Mauricio Hernández-Sarmiento, Diana Marcela Berrio Galeano y Timisay Monsalve-Vargas**
Detección de la tuberculosis en restos humanos antiguos: revisión narrativa desde la paleopatología y la paleogenómica
- 44 **Linda Jezabel Miguez, Marcos Plischuk, Guillermo Lamenza, Liz Carla Cesa y Bárbara Desántolo**
Presencia de adipocira en restos óseos humanos contemporáneos: su importancia en contextos forenses (Argentina)

Obituario

Gracias, Daniel (1947-2025)

Eva Fernández-Domínguez¹ y Eduardo Arroyo-Pardo²

¹Associate Professor in ancient DNA. Manager of the Archaeo-DNA lab. Department of Archaeology, Durham University, UK.

²Laboratorio de Genética Forense y Genética de Poblaciones. Departamento de Medicina Legal, Psiquiatría y Patología. Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid, España.

Esta no es ninguna semblanza profesional sino una nota de agradecimiento a Daniel Turbón de sus compañeros y discípulos.

El reciente fallecimiento de Daniel, del que supimos hace poco, nos ha llenado de enorme tristeza. Ya tenía edad y posiblemente estaba dentro de ese momento de la vida en que uno está pronto a despedirse, y sin embargo no hay motivo para que no le echemos de menos. Daniel Turbón fue nuestro maestro en tantas cosas. Es difícil de olvidar aquellos primeros encuentros en su laboratorio de la Universidad de Barcelona (UB), aquella primera beca y aquellos proyectos que luego dieron forma a toda nuestra vida profesional. Fue una persona generosa, nos escuchó y ayudó en infinidad de ocasiones, nos animó a seguir cuando quisimos tirar la toalla e incluso diría que nos enseñó a movernos por el singular medio universitario español. En todo momento Daniel nos recibió con afecto y comprensión de nuestra ingenuidad primeriza. Estuvimos en su casa cenando y riendo, viendo cómo le gustaba oler los jazmines de su jardín.

Supimos muy de cerca de sus dramas y de sus luchas contra las corruptelas académicas, a las que nunca se plegó. Nos enteramos muy de cerca de aquello que quizás sea una de las peores desgracias a la que puede enfrentarse una persona: la muerte de su hijo. Desde entonces, nunca fue el mismo, y ahora, como padres, lo comprendimos mucho mejor. Jamás perdió el contacto, quizás más bien lo perdimos nosotros y desapareció con humildad, como creía él que debía ser.

Por todo ello, al margen del tiempo en que no le vimos, Daniel estuvo y estará presente en lo que ahora somos y en lo que aprendimos. Aunque no tuvimos oportunidad de despedirnos y de darle las gracias por lo que hizo por nosotros, nuestras *curricula* están regados con su nombre, con su ayuda y con su esfuerzo, que fue también el nuestro. Eso hace que estemos en deuda con él en una época en que el agradecimiento, esa rara virtud, parece tener que justificarse.

Quede aquí nuestro agradecimiento y nuestro recuerdo imborrable a un maestro, un mentor y un amigo. Descanse en paz, Daniel Turbón.



Evaluation of the determinants of adherence to the Mediterranean diet in an adult population of Khouribga province in Morocco

Hajar El Hendaoui¹, Rachida Moustakim¹, Imane Barakat^{1,2}, Mostafa Kandil¹, Mohamed Mziwira¹, Mohammed Elayachi¹, Abdellah Elhabazi¹ and Rekia Belahsen^{1*}

¹Laboratory of Anthropogenetic, Biotechnologies and Health, Faculty of Sciences – Chouaib Doukkali University - El Jadida - 24000 – Morocco

²Higher Institute of Professions Nurses and Health Techniques of Marrakesh- Morocco

*Corresponding Author: rekiabelahsen@gmail.com or rbelahsen@yahoo.com

RESUMEN

Los efectos beneficiosos de la dieta mediterránea (DM) sobre la salud han disminuido en los últimos años en los países ribereños del mar Mediterráneo. Objetivo: Estudiar los determinantes de la adherencia a la DM en una población adulta de la provincia de Khouribga en Marruecos. Material y métodos: Se realizó un estudio transversal para recopilar datos sobre la dieta, el estilo de vida, las características sociodemográficas y bioquímicas de 400 adultos, y se evaluó la puntuación de adherencia a la DM (DDM) utilizando la frecuencia de consumo de ocho grupos de alimentos (verduras, legumbres, frutas, cereales o patatas, pescado, carne roja, productos lácteos y aceite de oliva). Resultados: la adherencia a la DM fue baja con independencia de la zona de residencia (MDS media=3,91; SD=0,07), con un 61,7% de individuos no adherentes en las áreas urbanas y un 73,5% entre las personas obesas; la mayor adherencia a la DM se encontró en el grupo de edad de 35 a 50 años. En cuanto al género, las mujeres consumen más carne (Me=1,13) que los hombres y ellos consumen más frutas (Me=1,33), siendo las diferencias significativas. En los hombres, la baja adherencia a la DM se caracteriza por menores frecuencias de consumo de legumbres (29,2%) y pescado (31,6%) respecto a los de alta adherencia, que consumen un 70,8% y 68,4% de estos alimentos, respectivamente. En las mujeres, los porcentajes de frecuencia de consumo de los grupos de alimentos que más contribuyen a la adherencia son las frutas (60,3%) y las legumbres (55,3%). Conclusiones: Los datos muestran que en la población estudiada de la provincia de Khouribga, la adherencia a la DM es baja y está determinada por los hábitos alimentarios y los factores sociodemográficos. Estos resultados también sugieren que promover un mayor consumo de frutas, verduras, cereales, legumbres, pescado y aceite de oliva y disminuir el consumo de carne y productos lácteos, de acuerdo con la pirámide mediterránea, podría contribuir a reducir los riesgos de enfermedades crónicas y mejorar la calidad de vida de la población de la región estudiada.

Palabras clave:

Dieta mediterránea
Índice MDS
Adherencia a la DM
Factores sociodemográficos
Khouribga (Marruecos)

Recibido: 12-01-2024

Aceptado: 08-04-2025

ABSTRACT

The beneficial effects of the Mediterranean diet (MD) on health have declined in recent years in countries bordering the Mediterranean Sea. Objective. To study the determinants of adherence to MD in an adult population of the Khouribga province in Morocco. Material and methods: A cross-sectional study was conducted to collect data on diet, lifestyle, sociodemographic and biochemical characteristics from 400 adults and MD adherence score (MDS) was assessed using the frequency of consumption of eight food groups (vegetables and potatoes, legumes, fruits, cereals and their derivatives, fish, red meat, dairy products and olive oil). Results: Adherence to MD was low regardless of the area of residence (mean MDS=3.91; SD=0.07) with 61.7% from urban areas and 73.5% among obese people not adhering to MD. However, the highest adherence to MD was found in the 35-50 age group. Regarding gender, women consume more meat (Me=1.13) while men consume more fruits (Me=1.33); these differences were significant. In men, low adherence to MD is characterized by lower frequencies of consumption of legumes (29.2%) and fish (31.6%) compared to those with high adherence to MD (70.8% and 68.4%, respectively). In women, the percentages of frequency of consumption of the food groups that contribute most to adherence are those of fruits (60.3%) and legumes (55.3%). Conclusions: The data show that in the studied population of Khouribga province, adherence to MD was low and determined by dietary habits and sociodemographic factors. These results also suggest that promoting the consumption of more fruits, vegetables, cereals, legumes, fish and olive oil and less meat and dairy products in accordance with the Mediterranean pyramid, could contribute to reducing the risks of chronic diseases and improving the quality of life of the population in the study region.

Keywords:

Mediterranean diet
MDS score
Adherence to MD
Sociodemographic factors
Khouribga (Morocco)

Introduction

The Mediterranean diet (MD) is a traditional diet of countries bordering the Mediterranean Sea, including Spain, Italy and Greece on the northern shore, some countries of the Middle East region in the East and countries of North Africa in the southern shore including Morocco. The diet of these countries is of the Mediterranean type. This diet has been recognized by international organizations as a healthy diet (WHO, 2018) and considered a sustainable dietary model (FAO, 2012) which is why it has been included in the World Heritage List (UNESCO, 2010). The overall quality of the diet has an important role in the development of cardiovascular diseases and chronic diseases. Among these high-quality diets, MD has shown positive effects in preventing the incidence of these diseases and has been associated with reduced mortality. Indeed, a meta-analysis of several cohort studies indicated that the adoption of MD reduced the risk of all-cause mortality (Sofi et al., 2008).

Several studies including the PREDIMED study have also reported this positive effect of MD in the prevention of diabetes (Damigou et al., 2023; Rivas-García et al., 2024), blood sugar control in addition to body weight management, a reduction in obesity and hypertension (Abellán Alemán et al., 2016; El Kinany et al., 2018) as well as a reduction in the risk of cardiovascular and metabolic diseases (Ouhaibi-Djellouli et al., 2020; Alnabulsi et al., 2024) and type 2 diabetes (Restivo, 2023; Zheng et al., 2024). MD has also been reported to have a role in preserving cognitive functions and reducing the risk of neurodegenerative diseases (Armeli et al., 2021). In addition, a reduction in the risk of certain cancers and a 28% decrease in cancer mortality has also been associated with adherence to the Mediterranean lifestyle (Restivo, 2023; Saddoud et al., 2023;). However, changes in lifestyle and dietary habits are observed in several countries of the Mediterranean basin has led to an abandonment of this diet, as the case in some southern Mediterranean countries (Egypt, Jordan, Tunisia, Algeria and Libya) where an increasing move away of populations from this traditional diet has been reported associated with an increase in animal sources and vegetable oils in their diet (Rguibi and Belahsen, 2006). Low adherence to the MD has also been observed

among women of childbearing age in United Arab Emirates (Naja et al., 2022) and in Saudi Arabia where only 21% of the population adheres to this diet (Alnabulsi et al., 2024). Similarly, an abandonment of traditional MD has been noted in North Africa among populations in Algeria (Ouhaibi-Djellouli et al., 2020) and Morocco (Mziwira et al., 2015).

Furthermore, in countries of this region, adherence to MD varies by region, ranging from moderate adherence to low adherence in others. Thus, a deviation from MD has been previously reported in Morocco in the provinces of El Jadida (Mziwira et al., 2015), Casablanca (Mohtadi et al., 2020) and a similar decline in adherence to MD has also been recently reported in Nador and Oujda (Benyaich et al., 2022) and in El Jadida (Moustakim et al., 2022; Mziwira et al., 2024). This shift is further influenced in Morocco by socioeconomic factors, place of residence as well as by the distance from the Mediterranean Sea (El Rhazi et al., 2012; El Kinany et al., 2018; Barakat et al., 2022; Elfane et al., 2024; Mziwira et al., 2024).

Although emphasis has been placed on healthy fats from olive oil and nuts among the components of MD, the protective effects of this diet have been associated with its quality, namely its richness in antioxidants and anti-inflammatory nutrients (Kalili et al., 2022; Aboukhalaf et al., 2023; Restivo, 2023; Essaih et al., 2024). In this study, the objective was to characterize the diet and to study the nutritional status and determinants of adherence to MD in an adult population located far from the Mediterranean, in the province of Khouribga in Morocco.

Material and methods

Description of the study sample

The province of Khouribga was created on July 10, 1967, it belongs to the large Region of Beni Mellal-Khénifra, located 120 km southeast of the economic capital of Morocco (Casablanca). It is a mining city considered the most important phosphate production area in the kingdom. It includes five urban and 26 rural communes with a high urbanization rate of 69.7%. The number of inhabitants is 342,125 (HCP, 2017) with an area of 4,250 km² and a density of 81 inhabitants/km² (Figure 1). This study was conducted in

2019 on a randomly selected sample of 400 individuals (149 men and 245 women), living in the province of Khouribga in Morocco and aged 18-65 years. The average age was 39.27 (0.84 SD) in women, and 41.91(1.16 SD) in men. The recorded level of education was primary in 24.7%, secondary in 36.5%, higher level in 6.2% and none in 31.3% of this population. The active population was distributed as follows: 49.3% employees, 38.5% self-employed and 12.2% others. However, the unemployment rate was 6.7% in this province population compared to 9.7% at national level (HCP., 2017) Pregnant women, paralyzed patients and people with a history of diseases were excluded from the survey.

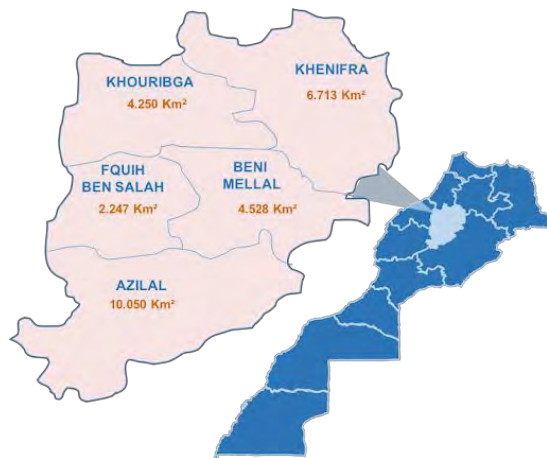


Figure1. Geographic map of the Beni-Mellal-Khenifra region and location of the Khouribga province.

Anthropometric measurements

Weight was measured using a scale ± 100 g, height by a tape measure ± 1 mm, and body mass index (BMI) was calculated by dividing weight (kg) by the square of height (m^2). The World Health Organization (WHO) criteria was used to define normal weight as $18 \leq BMI$ and obese when are $BMI \geq 30$. BMI ranges of 18.5 to 25 $kg.m^{-2}$ correspond to normal weight, between 25 and 30 $kg.m^{-2}$ to overweight, and $BMI > 30$ $kg.m^{-2}$ define obesity

Metabolic parameters

After an overnight fast, a volume of 3 ml of blood was collected in EDTA tubes, and serum was separated in an Eppendorfs after decantation and used

for serum analyses and blood glucose (Gly) (Normal: Gly=70-120mg/dL), triglycerides (TG) (Normal: 60-150 mg/dL), total cholesterol (TChol) (Normal: 150-250mg/dL) and uric acid (Uac) were measured. Systolic (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) were measured after a 5-10 minutes rest, using a self-measurement device (OMRON). Hypertension is defined as SBP > 140 mmHg and DBP > 90 mmHg, or one of the two is raised.

Adherence to Mediterranean diet

Adherence to MD was evaluated using Mediterranean Diet Score (MDS), a scale that was created as a composite of foods considered characteristic of MD and using a food frequency questionnaire (FFQ) as the most adopted method to estimate an individual's adherence to this healthy dietary pattern (Trichopoulou et al., 2003). The score MDS is calculated for each of the 8 food groups components by assigning a value of 0 or 1 to each of them. For the beneficial components (fruits, vegetables, olive oil, whole grains, legumes, fish, and nuts), a value of 1 was assigned to those whose consumption was equal to or greater than the median, while a value of 0 was assigned to those whose consumption was below the median. For the harmful components (dairy, red meat, and processed foods), a value of 1 was assigned to those whose consumption was below the median and 0 for those whose consumption was equal to or greater than the median. The Mediterranean diet score ranges from 0 (the lowest adherence to the traditional Mediterranean diet) to 8, the highest adherence. This index is then used to categorize individuals into two groups according to their adherence score to MD. When this MDS is between 0 and 4 points, individuals were considered to be of low adherence to MD and those with a score ranging from 5 to 8 points were included in the category with high adherence to MD (Trichopoulou et al., 2003; Benyaich et al., 2022; Moustakim, 2022).

Statistical analyses

Summary statistics are used to describe the population using SPSS version 23 software. Continuous variables (Age (yrs), BMI ($kg.m^{-2}$), Nap

(min), TV time (min), Blood systolic (SBP) and diastolic pressure (DBP) (mmHG), Heart rate (bpm), Glycemia (mg/dL), Triglyceridemia (mg/dL), Total Cholesterol (mg/dL) and Uric acid (mg/dL)), are presented as mean and standard deviation (SD), while categorical variables are reported in terms of frequency and proportions. To compare differences in means, we used the Student t-test, while the Chi-square test (X^2) was used to assess differences in proportions. In addition, the Mann-Whitney test was applied for comparisons between groups. In all statistical tests, a P-value less than 0.05 was considered statistically significant.

PASSAGE software was also used to assess the effect of the distance on adherence to the Mediterranean diet; this program allows data analysis by taking into account the spatial autocorrelation. In this study, this approach is used to examine how geographical distance (longitude-latitude) influences dietary habits within the study population, using spatial autocorrelation methods between different MDS and distance from the Mediterranean Sea. The results obtained by this analysis are integrated to better understand the geographical factors affecting adherence to the Mediterranean diet in the study sample.

Ethical aspects

Before the study, the protocol was authorized by the health authorities of the province of Khouribga. Information on the study objectives and conduct as well as their voluntary participation to the research was given to the respondents and anonymity, self-determination and fair and equitable treatment were guaranteed. They also were asked to give their consent before their inclusion in the study.

Results

Table 1 describes the results of the different variables studied in the population of the province of Khouribga. The table shows that the averages of BMI, systolic blood pressure, heart rate, and monthly income are significantly different in both genders ($P<0.05$).

However, no difference was observed for age, time spent in front of the TV, napping and the five abnormalities examined. No-parametric tests were used to compare the medians of food frequencies in both genders (Table 2). The results obtained show that men consume meat and fruit more frequently than women and the differences are highly significant ($P<0.05$). Indeed, the MDS is higher in men than in women. The data show that the overall mean of the MD adherence score (MDS) was 3.91 and was comparable for both urban (3.94) and rural (3.98) residential areas. However, this score was different according to gender with a higher mean in men (4.33) compared to women (3.71), with a highly significant difference ($P=0.000$) (Table 2). The results obtained in the population of the province of Khouribga regarding adherence to MD, according to the sociodemographic characteristics, BMI categories, and activity level, are gathered in Table 3. As shown in the table, the majority of the study population does not adhere to the Mediterranean diet. The proportion of adherence varies according to gender since it corresponds to 68.6% of women compared to 51% of men who do not adhere to this diet. However, according to the residential environment, the data shows similar proportions of individuals who do not adhere or who have low adherence in both urban (61.7%) and rural (61%) environments. This suggests that the living environment (urban or rural) has no significant impact on adherence to the Mediterranean diet.

Among all age groups studied, the highest adherence to the MD was found in both, the 35-50 age group and >50 years (43% and 43.6%, respectively), but differences among age groups were not significant. The salaries were not entered as amounts in dirham but classified as low income when it is <3000dh, medium if between 3000 and 5000 and high if the income was >5000dh per month. The comparison of the three age groups by income showed significant differences ($P=0.01$), with the age group of 35 to 50 having the lowest percentage (29.5%) of people with low income compared to the other groups of 18 to 34.99 (37.9%) and >50 years (32.6%); the latter class has the highest rate (36.4%) for high incomes in comparison with the other age groups (data not shown).

Table 1. Comparisons of sociodemographic, anthropometric and metabolic characteristics of the study population in the province of Khouirbga.

	Men (n=149)	Women (n=245)	Global	P-value
	(Mean; SD)			
Age (years)	148 (41.91; 1.16)	242 (39.27; 0.84)	390 (40.27; 0.68)	NS
BMI (kg.m ⁻²)	149 (24.91; 0.35)	244 (29.07; 0.39)	393 (27.46; 0.29)	0.000***
Nap (min)	145 (31.12; 3.69)	243 (39.27; 2.33)	388 (36.22; 2.01)	NS
TV (min)	144 (194.74; 12.32)	243 (197.85; 8.73)	387 (196.69; 7.13)	NS
SBP (mmHG)	142 (13.29; 0.15)	240 (12.64; 0.11)	382 (12.88; 0.09)	0.000***
DBP (mmHG)	142 (8.47; 0.09)	240 (8.38; 0.07)	382 (8.40; 0.05)	NS
Heart rate (bat/min)	142 (78.83; 0.95)	239 (81.99; 0.78)	381 (80.81; 0.61)	0.01*
Gly (mg/dL)	107 (117.00; 4.80)	220 (108.00; 3.00)	327 (111.00; 2.70)	NS
TG (mg/dL)	104 (135.00; 8.00)	206 (126.00; 5.00)	310 (129.00; 2.80)	NS
TChol (mg/dL)	94 (165.00; 5.00)	199 (171.00; 3.00)	293 (169.00; 4.20)	NS
UAc (mg/dL)	91 (5.45; 0.16)	184 (5.16; 0.12)	275 (5.25; 0.09)	NS
Monthly income				
Low	42 (29.0%)	92 (38.0%)	134 (34.6%)	0.001**
Medium	36 (24.8%)	85 (35.1%)	121 (31.3%)	
High	67 (46.2%)	65 (26.9%)	132 (34.1%)	
Blood pressure				
Normotensive	91 (64.1%)	172 (71.7%)	263 (68.8%)	NS
Hypertensive	51 (35.9%)	68 (28.3%)	119 (31.2%)	

BMI: Body Mass Index; TV: Television; SBP: Systolic Blood pressure; DBP: Diastolic Blood pressure; Gly: Glycemia; TG: triacylglycerol (triglyceridemia); TChol: Total Cholesterol; UAc: Uric acid; Hypertensive: SBP > 140mmHg. and/or DBP > 90 mmHg. SD: Standard Deviation; *: 0.05<P<0.01; **: 0.01<P<0.001; ***: P<0.001. NS: Non-significant difference (t-test and X² test).

Table 2. Comparisons of Food frequency consumption and MDS of the study population in the province of Khouirbga.

	Men	Women	Global	P-value
FFC /Day	Median and Quartiles (25%-75%)			
Meat	1.01 [0.67-1.32]	1.13 [0.77-1.54]	1.07 [2.78-4.37]	0.003 **
All cereals	3.72 [2.97-4.62]	3.74 [2.97-4.45]	3.74 [2.78-4.37]	NS
Vegetables	2.78 [1.81-3.50]	2.84 [1.68- 3.74]	2.80 [2.78-4.37]	NS
Dairy products	0.71 [0.41-1.02]	0.84 [0.42-1.41]	0.76 [2.78-4.37]	NS
Fish	0.14 [0.00-0.34]	0.12 [0.00-0.27]	0.12 [0.00-0.30]	NS
Legumes	0.17 [0.04-0.28]	0.14 [0.06-0.31]	0.15 [0.06-0.28]	NS
Olive oil	0.06 [0.03-0.14]	0.06 [0.03-0.14]	0.06 [0.03-0.14]	NS
Fruits and nuts	1.33 [0.72-2.25]	0.63 [0.36-1.01]	0.84 [0.42-1.40]	0.000 ***
MDS	4.32±0.12	3.71±0.09	3.91±0.07	0.000 ***

FFC: Food frequency consumption. MDS: Mediterranean diet score. **: 0.01<P<0.001; ***: P<0.001; NS: Non-significant difference (X² test).

The results in the Table 3 also show a significant difference in adherence to the MD according to BMI categories, with a majority of individuals in the obese category (73.5%) not adhering compared to only 26.5% of individuals in this class adhering to the Mediterranean diet. In addition, a large proportion of sedentary participants (69.5%) also had low adherence to this MD. Furthermore, a strong association was found between sedentary lifestyle and adherence to the MD. However, statistical analysis did not show any significant impact of time spent watching television on

this adherence (Table 3). Statistical analyses using the Chi-square test (X²) and the t-test were performed to better understand the associations between adherence to the MD and the various metabolic parameters (glycemia, cholesterolemia, triglycerides and uric acid), as well as hypertension and heart rate (Table 4). The results showed significant differences only regarding heart rate; specifically, the t-test revealed that the mean heart rate in individuals who adhere to the MD was lower (78.81 beats per minute) than those with

low adherence to this diet (82.10 beats per minute), this difference was statistically significant ($P=0.008$).

Table 3. Adherence to MD according to the sociodemographic characteristics, BMI categories, and activity level of the population under study.

	Low adherence to MD	High adherence to MD	P-value
Area of residency			
Urban (n=235)	145 (61.7%)	90 (38.3%)	NS
Rural (n=154)	94 (61.0%)	39 (40.0%)	
Gender			
Men (n=149)	76 (51.0%)	73 (49.0%)	0.000***
Women (245)	168 (68.6%)	77 (31.4%)	
Age categories			
18-34.99 yrs	102 (68.0%)	48 (32.0%)	NS
35-50 yrs	77 (57.0%)	58 (43.0%)	
>50 yrs	57 (56.4%)	44 (43.6%)	
Monthly income			
Low	86 (64.2%)	48 (35.8%)	NS
Medium	74 (61.1%)	47 (38.9%)	
High	79 (59.8%)	53 (40.2%)	
BMI categories			
Normal weight	78 (49.4%)	80 (50.6%)	0.000**
Overweight	84 (68.3%)	39 (31.7%)	
Obese	86 (73.5%)	31 (26.5%)	
Nap duration			
<30 min	133 (56.1%)	104 (43.9%)	0.008**
>30 min	105 (69.5%)	46 (30.5%)	
Time in front of the TV			
<60 min	43 (56.6%)	33 (43.4%)	NS
>60 min	194 (62.4%)	117 (37.6%)	

MD: Mediterranean diet; BMI: Body Mass Index; TV: television; *: $0.05 < P < 0.01$; **: $0.01 < P < 0.001$; ***: $P < 0.001$; NS: Non-significant difference (X^2 test).

Table 4. Association between adherence to MD (MDS) and metabolic parameters.

	Low adherence to MD	High adherence to MD	P-value
BP (mmHG)			
Normal BP	161 (61.2%)	102(38.8%)	NS
High SBP or DBP	72 (60.5%)	47 (39.5%)	
Heart rate (beats per minute)	82.10	78.81	0.008**
Gly			
Normal (<120mg/dL)	156 (63.2%)	91 (36.8%)	NS
Hyperglycemia (>120mg/dL)	43 (53.8%)	37 (46.2%)	
TChol			
Normal (<250mg/dL)	169 (61.0%)	108 (39.0%)	NS
High (>250mg/dL)	9 (56.2%)	7 (43.8%)	
TG			
Normal (<150mg/dL)	136 (61.0%)	87 (39.0%)	NS
Abnormal (>150mg/dL)	53 (60.9%)	34 (39.1%)	
Uric Acid			
Normal (<6 mg/dL)	111 (63.1%)	65(36.9%)	NS
High (>6 mg/dL)	58 (58.6%)	41(41.4%)	

MD: Mediterranean diet; BP: Blood pressure; Gly: Glycemia; TChol: Total Cholesterol; TG: Triglycerides; *: $0.05 < P < 0.01$; **: $0.01 < P < 0.001$; ***: $P < 0.001$; NS: Non-significant difference (t-test and X^2 test).

The assessment of dietary behaviors influencing adherence to the MD was studied (Table 5). The X² test was used to analyze this influence of the frequency of consumption of the eight food groups (cereals and derivatives, fruits and nuts, legumes, vegetables, fish, olive oil, dairy products, and meats) on the level of adherence to the MD in each gender. In men, the analyses revealed very highly significant differences for all food groups; the same significant differences were observed in women (Table 5). For beneficial foods, a less frequent consumption of cereals was observed in men who have a low adherence to the MD, with a proportion of 38.6% > the median, against 61.4% in those with a high adherence. For non-beneficial foods, such as dairy and meat, men with high adherence to the MD consumed these foods less, with 31.9% and 32.9%, respectively > the median, while those with low adherence to the MD consumed them more frequently, with 68.1% above the median for dairy and 67.1% above the median for meat

consumption (Table 5). Similar trends were observed in women as elucidated through the consumption of the cereal food group for example. Indeed, the consumption of beneficial foods was less frequent in females with low adherence to the MD, with a proportion of 78, 9% below the median, than those with high adherence to this diet (21,1%), this difference is highly significant (P=0.000). Regarding non-beneficial foods, such as dairy products and meats, a more frequent consumption of these foods was present in women with low adherence to the MD, with 75.7% above the median for dairy products against 24.3% for women with high adherence to this diet. The same is true for meat consumption with highly significant differences. High consumption of dairy products and meats, classified as non-beneficial foods in this context, has been associated with various health risks, including cardiovascular diseases, hypercholesterolemia and obesity (Abellán Alemán et al., 2016; El Kinany et al., 2018; Alnabulsi et al., 2024).

Table 5. Daily frequency of food consumption by gender and level of adherence to MD.

FFC	Men		P-value	Women		P-value
	Adherence to MD			Adherence to MD		
	Low	High		Low	High	
Cereals						
<Median	49 (62.0%)	30 (38.0%)	0.004**	97 (78.9%)	26 (21.1%)	0.000***
≥ Median	27 (38.6%)	43 (61.4%)		71 (58.2%)	51 (41.8%)	
Fruits and nuts						
<Median	33 (80.5%)	9 (19.5%)	0.000***	137 (82.0%)	30 (18.0%)	0.000***
≥ Median	43 (40.2%)	64 (59.8%)		31 (39.7%)	47 (60.3%)	
Legumes						
<Median	57 (67.8%)	27 (32.2%)	0.000***	122 (85.9%)	20 (14.1%)	0.000***
≥ Median	19 (29.2%)	46 (70.8%)		46 (44.7%)	57 (55.3%)	
Vegetables						
<Median	54 (66.7%)	27 (33.3%)	0.000***	108 (83.1%)	22 (16.9%)	0.000***
≥ Median	22(32.4%)	46 (67.7%)		60 (52.2%)	55 (47.8%)	
Fish						
<Median	51 (72.9%)	19 (27.1%)	0.000***	108 (83.7%)	21 (16. 3%)	0.000***
≥ Median	25 (31.6%)	54 (68.4%)		60 (51.7%)	56(48.3%)	
Olive oil MUFA						
<Median	34 (73.9%)	12 (26.1%)	0.000**	62 (82.7%)	13 (17.3%)	0.002**
≥ Median	42 (40.8%)	61 (59.2%)		106 (62.4%)	64 (37.6%)	
Dairy product						
<Median	29 (36.2%)	51 (63.8%)	0.000***	56 (57.7%)	41 (42.3%)	0.003**
≥ Median	47 (68.1%)	22 (31.9%)		112(75.7%)	36 (24.3%)	
Meat						
<Median	25 (34.2%)	48 (65.8%)	0.000***	61 (56.5%)	47 (43.5%)	0.000***
≥ Median	51 (67.1%)	25 (32.9%)		107 (78.1%)	30 (21.9%)	

FFC: Food frequency consumption; MD: Mediterranean diet; MUFA: Monounsaturated fatty acids;*: 0.05<P<0.01; **: 0.01<P<0.001; ***: P<0.001. NS: Non-significant difference (X² test).

Comparisons of the means of food frequency consumption, show very strongly significant differences for all products from beneficial food groups according to the level of adherence to MD. Indeed, frequencies of consumption of these foods were higher in the category with high adherence score to MD (Table 6). For the non-beneficial food products, no difference was shown between both adherence categories. However, the low frequency of meat consumption contributes to a good adherence after a binary logistic regression since the odds are less than 1 and significant (OR=0.595; P=0.01).

Table 6. Daily Means frequency of food consumption by level of adherence to MD.

Food groups FFC/day	Low adherence	High adherence	P-value
Dairy products	0.91±0.05	0.93±0.06	NS
Meat	1.07±0.04	1.11±0.05	NS
Fish	0.15±0.01	0.26±0.02	0.000***
Legumes	0.14±0.01	0.27±0.01	0.000***
Vegetables	2.39±0.11	3.78±0.15	0.000***
All cereals	3.53±0.09	4.20±0.12	0.000***
Olive oil	0.16±0.01	0.23±0.02	0.001**
Fruits and nuts	0.89±0.05	1.45±0.08	0.000***

MD: Mediterranean diet; FFC: Food frequency consumption; **: 0.01<P<0.001; ***: P<0.001; NS: Non-significant difference (t-test).

Table 7 presents the comparison of the frequency of consumption of different food groups according to gender. Women consume more frequently non-beneficial products (dairy products and meat) with significant differences, while they consume less frequently beneficial food products such as fruits (P=0.000). This pattern is reversed in men who adhere more than women (49% vs 31.4%). In addition, a binary logistic regression analysis shows that in men, fruits have an odd ration of (OR=1.48; P=0.04) which contribute more to adherence to the Mediterranean diet. Similarly, the odd ration of meat (OR=0.383; P=0.03) whose low frequency of consumption constitutes a protective factor favoring good adherence to the MD. In women, such a clear pattern was not found for the level of adherence to MD.

Table 7. Daily Mean frequency of food consumption by gender.

Food groups FFC/day	Women	Men	P-value
Dairy products	0.99±0.05	0.81±0.05	0.02*
Meat	1.18±0.04	0.97±0.004	0.002**
Fish	0.18±0.01	0.22±0.02	NS
Legumes	0.19±0.01	0.18±0.01	NS
Vegetables	2.98±0.12	2.80±0.15	NS
All cereals	3.81±0.09	3.74±0.13	NS
Olive oil	0.17±0.01	0.22±0.02	NS
Fruits and nuts	0.81±0.04	1.60±0.09	0.000***

FFC: Food frequency consumption; *: 0.05<P<0.01; **: 0.01<P<0.001; ***: P<0.001. NS : Non-significant difference (t-test).

Comparison of the frequency of the various food groups consumption in subjects with high and low adherence to the MD was analyzed using the Mann-Whitney test. This analysis revealed that subjects with low adherence to the Mediterranean diet consumed relatively less beneficial foods such as cereals, fish, legumes, vegetables and fruits. In contrast, individuals in this group consumed more vegetables compared to subjects with high adherence (Table 8). These foods are the pillars of the Mediterranean diet, known for their protective effects against cardiovascular diseases, diabetes and other chronic diseases. Furthermore, the group with high level of adherence to the MD had a higher frequency of consumption of beneficial foods considered to contribute to better overall health and a reduction in the risks of chronic diseases. Conversely, individuals who adhere poorly to the MD consume more meat and dairy products, which are considered non-beneficial foods. In fact, these foods, whose high consumption is often associated with an increased risk of cardiovascular disease, obesity, and other health problems, should be consumed in moderation within the Mediterranean diet. In order to assess the influence of distance from the Mediterranean Sea and the level of adherence to MD, a spatial autocorrelation including six cities of Morocco (El Jadida, Casablanca, Fez, Oujda, Rabat and Khouribga) was made based on geographical data (longitude and latitude) and the adherence scores obtained for each city. The analysis

showed that distance has no significant effect on the eating habits of these populations ($P=0.5$) with a Morran index (I)=0.18 (Figure 2) and (Table 9).

Table 8. Comparison of Food Group Medians by categories of Adherence to Mediterranean Diet.

Adherence to MD	Low adherence (62.5%)	High adherence (37.5%)	P-value
CF/day	Median and Quartiles [25%-75%]		
Cereals	3.64 [2.78- 4.37]	4.20 [3.49- 4.81]	NS
Dairy products	0.84 [0.28- 1.34]	0.71 [0.48- 1.12]	NS
Fish	0.06 [0.00- 0.26]	0.20 [0.08- 0.36]	0.000***
Meat	1.17 [0.71- 1.52]	1.02 [0.76- 1.32]	NS
Legumes	0.12 [0.00- 0.20]	0.60 [0.14- 0.36]	0.000***
Vegetables	2.46 [1.12- 3.39]	3.41 [2.71- 4.04]	0.000***
Olive oil	0.06 [0.03- 0.14]	0.06 [0.06- 0.14]	0.000***
Fruits	0.62 [0.32- 1.11]	1.15 [0.85- 1.82]	0.000***

CF: consumption frequency; *: $0.05 < P < 0.01$; **: $0.01 < P < 0.001$; ***: $P < 0.001$; NS: Non-significant difference (Man-Withney Test).

Table 9. Statistical data of a spatial autocorrelation using PASSAGE software.

	Max dist	Pairs 1	E(I)	I	SD	Z(I)	P
Class 1	4.96	1	-0.33	-0.18	0.77	0.67	0.5
Class 2	6.95	2	-0.33	-0.16	0.51	0.33	0.7

Max dist: Maximum distance; I: Spatial autocorrelation index; E(I): Expectation of I (expected value of the spatial autocorrelation index); SD: Standard Deviation; Pairs 1: spatial features used in the analysis; Z(I): Z-score of I (Standardized score of the I index); *: $0.05 < P < 0.01$; **: $0.01 < P < 0.001$; ***: $P < 0.001$; NS: Non-significant difference (Spatial autocorrelation test).

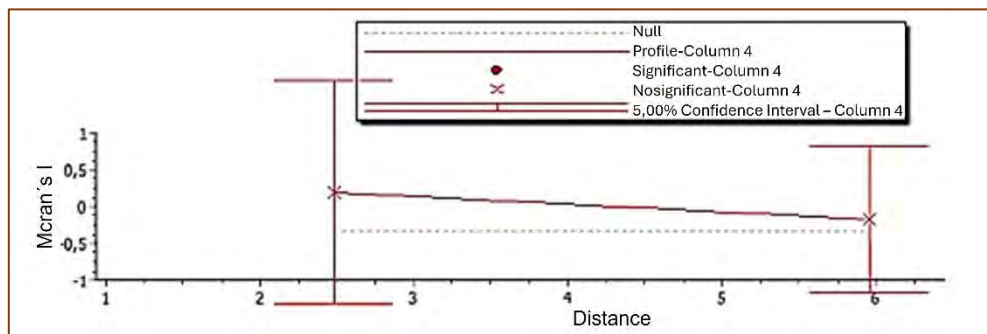


Figure 2. Spatial autocorrelation between six cities in Morocco.

Discussion

This study reports a low adoption of the Mediterranean diet in the Moroccan population of Khouribga province. The study results also revealed an association of low adherence to this healthy diet with the study population profile determinants namely the socio-demographic and economic characteristics, the lifestyle including physical activity level, the eating habits, the body weight management as well as health

problems. Indeed, the level of adherence to the Mediterranean diet estimated in this study at 3.91 (SD 0.07) by the MDS adherence score, indicates a low adherence in the population of the study province, with more than 60% of its individuals who do not adhere to this diet reputed to be healthy. Comparing the present results with those of other studies, it appears through the review of the literature data, that a great variability in the level of adherence to MD, is linked to regional differences according to countries and even within a

country, in addition to its link with the various factors specific to each population. Thus, according to a systematic review, the geographical location, including latitude and climate, strongly influences the implementation and adherence to the Mediterranean diet. The geographical proximity to the Mediterranean Sea actually has a significant impact on adherence to the Mediterranean diet (Mattavelli et al., 2022). The explanation of the better tendency of people living closer to the Mediterranean Sea to adhere more to MD has been linked mainly to various factors such as food availability, cultural and traditional influences, social and behavioral factors (Woodside, Young and McKinley, 2022).

In this study, a low level of adherence to the Mediterranean diet was recorded similarly in both residential environments. This result suggests that the living urban vs. rural environment has no significant impact on adherence to the Mediterranean diet. Also, the proportion of individuals in the population who do not adhere to the Mediterranean diet was significant in both the urban and rural populations. This result is inconsistent with those previously reported in another Moroccan province, which showed that rural residents had lower adherence to the Mediterranean diet than those in urban areas of the province of Fez (El Rhazi et al., 2012). Another study in the same province also reported better adherence to this diet among people from urban areas (El Kinany et al., 2018). Data analyses from this study revealed that the gender of individuals was among the multiple factors influencing this adherence to MD, with men adhering more than women to this Mediterranean diet. The same trend is observed in a study carried out on the population of Nador province in the region in the northern and the population of Oujda province in eastern regions of Morocco which found higher adherence to MD among men than among women (Benyaich et al., 2022). In the Emirates and in line with the data of the present study, particularly low levels of adherence to MD have also been reported among women of reproductive age (Naja et al., 2022).

This study also revealed the effect of age on MD adoption. Indeed, compared to individuals in other age groups, those in the 35-50 age group had the highest adherence. This result is not consistent with that obtained in the Moroccan province of El Jadida which

showed no difference in MD adherence according to age (Mziwira et al., 2015). In contrast to these data, another study conducted in three countries, Morocco, Palestine and Spain, also reported age as a predictive factor for adherence to the Mediterranean diet in participants aged over 50 years compared to those aged 30 years or younger (Benhammou et al., 2016). The variability of adherence to MD is also demonstrated by the comparison with the results obtained in studies carried out in Spain, Saudi Arabia, Emirates, Algeria and Morocco. A study conducted in Spain by Abellán Alemán et al. (2016) revealed an even lower adherence score in the southeast of the country than that of the present study, while another study carried out in Spain by Olmedo-Requena et al. (2019) revealed an MDS score of 4.3, an MDS slightly higher than that found in the present study. All these results suggest a modest adherence to the Mediterranean diet that still remains insufficient in the regions studied both in Spain and in this province of study. A similar trend of low adherence has also been reported in Saudi Arabia where a recent study by Alnabulsi et al. (2024) indicated that only 21% of the population adheres to the Mediterranean diet.

In this study, the results showing low levels of adherence to MD among women of reproductive age are consistent with those reported in the Emirates (Naja et al., 2022) and confirm the suggestion that some specific populations may have particularly low levels of adherence to this diet. This observation also highlights a limited adoption of this diet in varied cultural and geographical contexts. A comparable trend of low adherence is also observed in several North African countries, indicating a general decline in the adoption of this diet by populations. This is demonstrated by the study carried out in Algeria which revealed that Algerians have largely deviated from the Mediterranean diet (Ouhaibi-Djellouli et al., 2020). This is also the case in Morocco where a large regional variability has been shown through the results of several researches. Indeed, a higher level of adherence to MD than that found in the present study has been reported nationally among Moroccan adults, as expressed by a mean MDS score of 5.1 (El Rhazi et al., 2012). This high adherence contrasts sharply with the score of 3.91 found here, and suggests better adherence at the national level. This overall average of MD adherence highlights gaps in MD adherence in a

population with diversity related to several characteristics including geographic location, residential environment, culture, demographics, and economic factors influencing access and availability of food.

Data from two studies conducted in two other Moroccan provinces in the center of the country, Sidi Bennour (Moustakim et al., 2022) and El Jadida (Mziwira et al., 2024), revealed mean scores slightly higher than that found in the present study but which again indicate low adherence to MD. Contrary to the results of the present study, high adherence to this diet was reported in urban areas of the city of Casablanca (Mohtadi et al., 2020), also located in the same large region as 2 previous provinces (Sidi Bennour and El Jadida). This also indicates diversity and specific differences between provinces in the same country. High adherence to the Mediterranean diet was, on the other hand, revealed among the majority of the population (76%) of Nador and Oujda in the northern and eastern region of Morocco (Benyaich et al., 2022). In line with this, a high level and proportion of adherence to MD exceeding 60% of the population had also been reported by another older study conducted in the province of El Jadida (Mziwira et al., 2015). Comparing the levels and proportions of adherence to MD in the population, higher in studies conducted previously (Mziwira et al., 2015) and lower in the results found recently (Mziwira et al., 2024) in the same Moroccan province of El Jadida, indicate a difference and a trend towards decline in adherence to MD over time. These data highlight a deviation of populations from this healthy diet that could explain the decrease in the protective effect of MD on health and the trend towards the observed increase in chronic diseases in this country.

The present study also shows the link between body weight management and adherence to MD. Indeed, as MD is already known to promote healthy body weight (Serra-Majem et al., 2020), the data reported here show that people with a normal BMI adhere more to the Mediterranean diet than obese people. This result is consistent with literature data reporting that obese individuals adhere less to MD than normal weight individuals (El Rhazi et al., 2012) and that low adherence to the Mediterranean diet has often been associated with high rates of obesity (Moustakim

et al., 2022) while high adherence to this diet is associated with a reduction in overweight and obesity and high adherence reduces the risk of obesity (Abellán Alemán et al., 2016; El Kinany et al., 2018).

This study also revealed an association between adherence to MD and lifestyle through data on physical and sedentary activity and eating habits of the population studied. Thus, less sedentary people who took naps of less than 30 minutes adhered more to the Mediterranean diet. This result coincides with that of another study conducted in the population of El Jadida, which had reported a significantly higher rate of adherence to MD among physically active women than among sedentary people (Mziwira et al., 2015). Another lifestyle factor that affects adherence to MD is eating habits. In this regard, the present study revealed that people with low adherence to MD consumed less cereals, fish, legumes, vegetables and fruit while these foods are consumed more frequently by individuals who strongly adhered to this diet. The majority among men and women in the group with low adherence to MD has higher consumption of meat and dairy products, while those with high adherence to MD consumed less. The Mediterranean diet, rich in natural foods (Aboukhalaf et al., 2023; Essaih et al., 2024), low in sodium, is beneficial for cardiovascular health, and its decreased adherence can lead to excessive consumption of salt and saturated fats, contributing to hypertension and cardiovascular events (Trichopoulou et al., 2003; Olmedo-Requena et al., 2019). The beneficial effect of the MD on body weight management (Mziwira et al., 2024) and protection against NCD (Serra-Majem et al., 2020) is related to its rich composition in fruits, vegetables, whole grains and fish. The association of low adherence to the MD with the risk of obesity has been associated with reduced consumption of fish and plant products (Abellán Alemán et al., 2016) as well as an increase in the consumption of processed and high-calorie foods (Barakat et al., 2022). On the other hand, low adherence to this diet has also been associated with an increased prevalence of hypertension as reported by a study conducted by (Abellán Alemán et al., 2016) who found a significant correlation between low adherence and an increase in hypertension.

The present study found that individuals with high adherence to the Mediterranean diet had a lower

mean heart rate, indicating better heart health. This result is in line with the literature data attesting to the protective effect of MD against cardiovascular diseases. This study also established an association between low MDS score and a higher prevalence of hypertension. In addition, heart rate is also elevated in those who adhere less with to MD ($P=0.008$). Other studies conducted on populations in several countries, including Algeria and Saudi Arabia, have shown that a transition to modern and processed diets is associated with an increased risk of metabolic and cardiovascular diseases (Ouhaibi-Djellouli et al., 2020; Alnabulsi et al., 2024). In addition, the Mediterranean diet is protective against these diseases thanks to its rich content of antioxidants, omega-3 fatty acids and fiber (Benyaich, 2017). Low adherence to this diet is associated with an increased prevalence of diabetes, dyslipidemia, and cardiovascular diseases, as demonstrated in Spanish (Olmedo-Requena et al., 2019) and Saudi (Alnabulsi et al., 2024) studies. On the other hand, high adherence to MD helps reduce the incidence and progression of type 2 diabetes (Zheng et al., 2024). It also has a protective effect against cardiovascular diseases, oxidative stress, dyslipidemia, diabetes mellitus, blood pressure, cancer, neurodegenerative diseases and obesity, this protective effect of the Mediterranean diet is due to the antioxidant, anti-inflammatory compounds and bioactive components contained in foods characteristic of the Mediterranean basin (Aboukhalaf et al., 2023; Essaih et al., 2024), which reduce the risk of developing chronic diseases (Benyaich, 2017).

In conclusion, the data from this study reveal a low adherence to the Mediterranean diet in the surveyed population. The level of adherence to this diet is lower than that of some national studies, but is consistent with the low scores observed in some regions and specific demographic subgroups. The present results report that the percentage of subjects with a low adherence is always higher, with a lower adherence to MD in women than in men, in different age groups, except for the 35-50 age group, in obese people compared to normal weight people, and in sedentary people compared to physically active people. The study data highlight that men and women with high adherence to the Mediterranean diet consume more frequently healthy foods (fruits, vegetables, fish, olive

oil), compared to those with low adherence to the Mediterranean diet and less frequently unhealthy foods (dairy products and meats).

Bibliography

- Abellán Alemán J., Zafrilla Rentero M.P., Montoro-García S., Mulero J., Pérez Garrido A., Leal M., Guerrero L., Ramos E., Ruilope L.M. (2016). Adherence to the “Mediterranean Diet” in Spain and its relationship with cardiovascular risk (DIMERICA Study). *Nutrients* 8(11): 680. <https://doi.org/10.3390/nu8110680>.
- Aboukhalaf A., Moujabbar S., El Amraoui B., Kalili A., Essaih S., Rocha J.M., Belahsen R. (2023). Phytochemical screening, nutritional value, antioxidant and antimicrobial activities and acute toxicity of *Scolymus hispanicus*: A wild edible plant in Morocco. *Food Sci Appl Biotechnol* 6(2): 372-382. <https://doi.org/10.30721/FSAB2023.V6.I2.248>.
- Alnabulsi M., Imam A.A., Alawlaqi A.A., Alhawaj F.H., Jamjoom G.F., Alsaeidi L.D., Hassan F.E.-S., Ansari S.A. (2024). Adherence to the Mediterranean diet in Saudi Arabia and its association with socioeconomic status and depression. *Medicina* 60(4): 642. <https://doi.org/10.3390/medicina60040642>.
- Armeli F., Bonucci A., Maggi E., Pinto A., Businaro R. (2021). Mediterranean diet and neurodegenerative diseases: The neglected role of nutrition in the modulation of the endocannabinoid system. *Biomolecules* 11(6):790. <https://doi.org/10.3390/biom11060790>.
- Barakat I., Chamlal H., Elfane H., El-Jamal S., Elayachi M., Belahsen R. (2022). Mediterranean diet pyramid of an adult Moroccan population: comparison with the recommendations of the updated Mediterranean diet pyramid. *The Annals of the University of Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI - Food Technology* 46(2): 74-88. <http://doi.org/10.35219/foodtechnology.2022.2.06>.
- Benhammou S., Heras-González L., Ibáñez-Peinado D., Barceló C., Hamdan M., Rivas A., Mariscal-Arcas M., Olea-Serrano F., Monteagudo C. (2016). Comparison of Mediterranean diet compliance between European and non-European populations in the Mediterranean basin. *Appetite* 107: 521-526. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.08.117>.
- Benyaich A. (2017). Les effets du régime méditerranéen sur les maladies chroniques: maladies cardiovasculaires, stress oxydatif, dyslipidémie, diabète sucré, pression artérielle, cancer, maladies neurodégénératives et

- obésité. *Nutr Res Rev*. HAL Id: hal-01629438, version 1.
- Benyaich A., Analla M., Benyaich K., Habib N., Assou A., Hormi A. (2022). Régime Méditerranéen et prévalence des Facteurs de risqué cardio-métabolique au Maroc Oriental. *Eur Sci J ESJ* 18(11): 135. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n11p135>.
- Damigou E., Kouvari M., Chrysoshoou C., Barkas F., Kravvariti E., Dalmyras D., et al. (2023). Diet quality and consumption of healthy and unhealthy foods measured via the Global Diet Quality Score in relation to cardiometabolic outcomes in apparently healthy adults from the Mediterranean region: The ATTICA epidemiological cohort study (2002-2022). *Nutrients* 15(20): 4428. <https://doi.org/10.3390/nu15204428>.
- Elfane H., Sahel K., El-Jamal S., Barakat I., El Ayachi M., Belahsen R. (2024). Association of newborn low birth weight and the diet quality of their mothers during pregnancy: a case control study in El Jadida province. *Med J Nutrition Metab* 17(2): 93-105. <https://doi.org/10.3233/MNM-230040>.
- El Kinany K., García-Larsen V., Khalis M., Deoula M.M.S., Benslimane A., Ibrahim A., Benjelloun M.C., El Rhazi K. (2018). Adaptation and validation of a food frequency questionnaire (FFQ) to assess dietary intake in Moroccan adults. *Nutr J* 17(1): 61. <https://doi.org/10.1186/s12937-018-0368-4>.
- El Rhazi K., Nejari C., Romaguera D., Feart C., Obtel M., Zidouh A., Bekkal R., Gateau P.B. (2012). Adherence to a Mediterranean diet in Morocco and its correlates: cross-sectional analysis of a sample of the adult Moroccan population. *BMC Pub Health* 12:345. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-345>.
- Essaih S., Aboukhalaf A., Sahel K., Elbiyad J., Atouife S., Naciri K., Kalili A., El Amraoui B., Belahsen R. (2024). Mineral elements of some wild plants of traditional uses in the Moroccan Rif Mountains. *Rocz Panstw Zakl Hig* 75(3). <https://doi.org/10.32394/rpzh/192790>.
- FAO (2012). Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action. In: B. Burlingame & S. Dernini (eds.). Proceedings of the International Scientific Symposium on Biodiversity and Sustainable Diets: United Against Hunger. 2010 Nov 3-5. FAO Headquarters. Rome, Italy. https://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/upload/i3022e.pdf.
- Sofi F., Cesari F., Abbate R., Gensini G.F., Casini A. (2008). Adherence to Mediterranean diet and health status: meta-analysis. *BMJ* 337: a1344. <https://doi.org/10.1136/bmj.a1344>.
- Kalili A., El Ouafi R., Aboukhalaf A., Naciri K., Tbatou M., Essaih S., Belahyan A., Belahsen R. (2022). Chemical composition and antioxidant activity of extracts from Moroccan fresh fava beans pods (*Vicia faba* L.). *Rocz Panstw Zakl Hig* 73(1): 79-86. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2022.0194>.
- Mattavelli E., Olmastroni E., Bonofiglio D., Catapano A.L., Baragetti A., Magni P. (2022). Adherence to the Mediterranean diet: impact of geographical location of the observations. *Nutrients* 14(10): 2040. <https://doi.org/10.3390/nu14102040>.
- Mohtadi K., Msaad R., Benalioua N., Jafri A., Meftah H., Elkardi Y., et al. (2020). Sociodemographic and lifestyle factors associated with adherence to Mediterranean diet in representative adult population in Casablanca City, Morocco: a cross-sectional study. *J Nutr Metab* 2020(1):3105271. <https://doi.org/10.1155/2020/3105271>.
- Moustakim R., Mziwira M., El Ayachi M., Belahsen R. (2022). Dietary diversity score and the incidence of chronic kidney disease in an agricultural Moroccan adult population. *Rocz Panstw Zakl Hig* 73(3): 293-301. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2022.0221>.
- Mziwira M., El Ayachi M., Lairon D., Belahsen R. (2015). Mediterranean diet and metabolic syndrome in adult Moroccan women. *J Res Obes* 2015:15-32. <https://doi.org/10.5171/2015.896400>.
- Mziwira M., Elfane H., El-Jamal S., Barakat I., Sahel K., Kalili A., et al. (2024). Adherence to the Mediterranean diet in two Moroccan populations living at different distances from the Mediterranean Sea. *Rocz Panstw Zakl Hig* 75(1): 45-58. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2024.0296>.
- Naja F., Ismail L.C., Abbas N., Saleh S., Ali H.I. (2022). Adherence to the Mediterranean diet and its association with environmental footprints among women of childbearing age in the United Arab Emirates. *Eur J Nutr* 61(5): 2585-2599. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02835-w>.
- Olmedo-Requena R., González-Donquiles C., Dávila-Batista V., Romaguera D., Castelló A., Molina de la Torre A.J., et al. (2019). Agreement among Mediterranean diet pattern adherence indexes: MCC-Spain study. *Nutrients* 11(3): 488. <https://doi.org/10.3390/nu11030488>.
- Ouhaibi-Djellouli H., Houti L., Hamani-Medjaoui I., Larjam-Hetraf A.S., Mediène-Benchekor S. (2020). Mediterranean diet and food consumption in an urban adult population of Northwest Algeria. *Nor Afr J Food Nutr Res* 4(9): S109-S115. <https://doi.org/10.51745/najfnr.4.9.S109-S115>.
- Restivo J. (2023). Guide to the Mediterranean diet. Harvard Health Publishing. Harvard Medical School.

- <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/guide-to-the-mediterranean-diet>.
- Rguibi M., Belahsen R. (2006). Body size preferences and sociocultural influences on attitudes towards obesity among Moroccan Sahraoui women. *Body Image* 3(4): 395-400.
<https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2006.07.007>.
- Rivas-García L., Quintana-Navarro G.M., Alcalá-Díaz J.F., Torres-Peña J.D., Arenas-de Larriva A.P., Rangel-Zuñiga O.A., et al. (2024). Association between diet quality and risk of type 2 diabetes mellitus in patients with coronary heart disease: findings from the CORDIOPREV study. *Nutrients* 16(8): 1249.
<https://doi.org/10.3390/nu16081249>.
- Saddoud Z., Oueslati I., Terzi A., Gioui H., Ajili M., Yazidi M., Chihaoui M. (2023). Évaluation de l'adhérence au régime méditerranéen chez les patients diabétiques de type 2. *Ann Endocrinol (Paris)* 84(1): 203.
<https://doi.org/10.1016/j.ando.2022.12.331>.
- Serra-Majem L., Tomaino L., Dernini S., Berry E.M., Lairon D., Ngo de la Cruz J., et al. (2020). Updating the Mediterranean Diet Pyramid towards sustainability: focus on environmental concerns. *Int J Environ Res Public Health* 17(23): 8758.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17238758>.
- Trichopoulou A., Costacou T., Bamia C., Trichopoulos D. (2003). Adherence to a Mediterranean diet and survival in a Greek population. *N Engl J Med* 348(26): 2599-2608.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa025039>.
- UNESCO. (2010). The social and cultural sustainability of the Mediterranean diet. *The Mediterranean Diet*.
<https://mediterraneandietunesco.org/the-social-and-cultural-sustainability-of-the-mediterranean-diet/>.
- WHO. (2018). Fostering healthier and more sustainable diets - Learning from the Mediterranean and new Nordic experience. <https://www.who.int/europe/news/item/07-05-2018-fostering-healthier-and-more-sustainable-diets-learning-from-the-mediterranean-and-new-nordic-experience>.
- Woodside J., Young I.S., McKinley M.C. (2022). Culturally adapting the Mediterranean Diet pattern – a way of promoting more ‘sustainable’ dietary change? *Br J Nutr* 128: 693-703.
<https://doi.org/10.1017/S0007114522001945>.
- Zheng X., Zhang W., Wan X., Lv X., Lin P., Si S., Xue F., Wang A., Cao Y. (2024). The effects of Mediterranean diet on cardiovascular risk factors, glycemic control and weight loss in patients with type 2 diabetes: a meta-analysis. *BMC Nutr* 10(1): 59.
<https://doi.org/10.1186/s40795-024-00836-y>.

El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) como desajuste evolutivo. Una revisión sistemática

Aline Jelenkovic¹, Lara Huebra¹, Alaitz Poveda¹, María Eugenia Ibáñez-Zamacona¹ y Esther Rebato¹

¹Departamento de Genética, Antropología Física y Fisiología Animal, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

*Corresponding Author: aline.jelenkovic@ehu.eus

RESUMEN

En esta revisión bibliográfica sistemática se analiza el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) como un desajuste evolutivo, partiendo de diversas hipótesis que plantean que los rasgos asociados a este trastorno pudieron tener un valor adaptativo en un ambiente ancestral. Para ello se han considerado siete estudios: tres genómicos que analizan las posibles huellas de procesos evolutivos en las variantes genéticas asociadas al TDAH, dos observacionales que examinan el comportamiento exploratorio de niños con rasgos de TDAH frente a niños sin estos rasgos, y otros dos que estudian el posible impacto de un mayor riesgo poligénico de TDAH en diversos rasgos reproductivos y en el éxito reproductivo. Los resultados obtenidos no parecen respaldar las hipótesis planteadas. Así, no se observan huellas de selección positiva en las variantes asociadas al TDAH, aunque existe una disminución de su frecuencia media desde el Paleolítico superior y un probable origen muy antiguo. Tampoco hay grandes diferencias en cuanto a la conducta exploratoria entre niños con y sin fenotipo TDAH. Finalmente, aunque se observa una asociación entre el riesgo poligénico de TDAH y un mayor número de hijos, no hay evidencias claras de un mayor *fitness* en individuos con TDAH. En conclusión, no se descarta que el TDAH sea un desajuste en la actualidad, pero es necesario esclarecer los factores, tanto genéticos como ambientales, que subyacen en su etiología, para poder elaborar nuevas hipótesis sobre los procesos evolutivos que han podido configurar este fenotipo.

Palabras clave:

Fenotipo TDAH
Hipótesis evolutivas
Desajuste evolutivo
Origen ancestral
Éxito reproductivo

ABSTRACT

This systematic literature review analyzes attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) as an evolutionary mismatch, based on several hypotheses that suggest that the traits associated with this disorder may have had an adaptive value in an ancestral environment. For this purpose, seven studies were considered: three genomic studies analyzing possible traces of evolutionary processes in genetic variants associated with ADHD, two observational studies analyzing the exploratory behavior of children with ADHD traits versus children without these traits, and two studies analyzing the possible impact of a higher polygenic risk of ADHD on various reproductive traits and on reproductive success. The results do not seem to support the proposed hypotheses. No traces of positive selection were observed in the variants associated with ADHD, although a decrease in the mean frequency of these variants since the Upper Paleolithic and a probable ancestral origin were found. Furthermore, although an association between polygenic ADHD risk and higher number of offspring was observed, there is no clear evidence of higher fitness in individuals with ADHD. In conclusion, it is not ruled out that ADHD is an evolutionary mismatch, but it is necessary to clarify the factors underlying its etiology, both genetic and environmental, in order to develop hypotheses about the evolutionary processes that may have shaped this phenotype.

Keywords:

ADHD phenotype
Evolutionary hypotheses
Evolutionary mismatch
Ancestral origin
Reproductive success

Recibido: 10-03-2025

Aceptado: 13-04-2025

Introducción

El desajuste evolutivo

Se define desajuste evolutivo como el fenómeno por el cual rasgos y variantes genéticas asociadas que fueron adaptativos en un ambiente ancestral ya no son favorables cuando éste se ve alterado (Manus, 2018). El ambiente en el que ha evolucionado *Homo sapiens* se ha visto modificado en repetidas ocasiones, aunque estos cambios se consideran relativamente recientes en términos evolutivos (Gurven y Lieberman, 2020), y se han producido a un ritmo más acelerado del que tienen los procesos adaptativos en sentido biológico (Manus, 2018). Los primeros registros fósiles sitúan a *Homo sapiens* en África oriental hace unos 200.000 años (Vidal et al., 2022). Durante la mayor parte de la evolución humana, nuestra especie tuvo un estilo de vida nómada, basado en la caza y la recolección, organizado en grupos reducidos (Li et al., 2018). Esta forma de vida se mantuvo hasta hace unos 10.000 años, con el inicio del Neolítico y la expansión de la agricultura y la ganadería, que a su vez supuso una transición demográfica y epidemiológica (Diamond, 2002). La mayor densidad poblacional y las zoonosis causaron la expansión de enfermedades infecciosas. El aumento del consumo de cereales y la reducción concomitante del consumo de proteína animal y de fruta acarrearón más problemas de salud (Haile, Neme y Belachew, 2017). Las sucesivas revoluciones industriales y tecnológicas (a partir del s. XVIII) conllevaron un cambio de paradigma, diferenciando notablemente el ambiente y modo de vida en las sociedades modernas respecto al ancestral (Li, van Vugt y Colarelli, 2018), incrementando las patologías crónico-degenerativas, como las enfermedades cardíacas o los cánceres, entre otras (Corbett et al., 2018).

La hipótesis del desajuste evolutivo señala que muchas enfermedades de las sociedades actuales son debidas a que los genes de los individuos no se han adaptado de manera adecuada a las condiciones de los nuevos entornos (Gurven y Lieberman, 2020). Puesto que el ambiente ha cambiado de forma más rápida que muchos de los genes que en su momento pudieron ser ventajosos, esto se traduce en fenotipos desajustados, que incluso han podido aumentar su prevalencia según

las poblaciones. Entre estos fenotipos se puede citar las caries, la miopía, la diabetes tipo 2 y el síndrome metabólico, la atopía (predisposición a reacciones alérgicas), o diversos trastornos psiquiátricos (Gurven y Lieberman, 2020).

El presente trabajo se centra en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (en inglés *Attention deficit hyperactivity disorder* (ADHD)), por ser un fenotipo poco tratado desde una perspectiva evolutiva y del que actualmente hay una mayor percepción en la sociedad, y sobre el que la hipótesis del desajuste evolutivo ha tomado fuerza desde distintos planteamientos que se tratarán a lo largo de este estudio. Es importante señalar que, durante años, la psiquiatría ha funcionado sin una teoría unificada del comportamiento lo que ha generado un pluralismo de enfoques y modelos (biomédicos, psicoanalíticos, conductuales, etc.), cada uno con explicaciones diferentes para diversos trastornos clínicos. A final de los 90, McGuire y Troisi (1998) proporcionan un marco conceptual basado en la teoría darwiniana para integrar muchas características de los modelos predominantes. Desde entonces, muchos psicólogos y psiquiatras buscan cada vez más explicaciones informadas por la evolución para los trastornos mentales (Del Giudice, 2018; Nesse, 2019 revisado por Austad, 2020; Swanepoel et al., 2022), ya que muchos de ellos son relativamente comunes, heredables y afectan a la aptitud biológica, lo que requiere una explicación evolutiva (Keller y Miller, 2006).

El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH)

El TDAH es una afección del desarrollo neurológico caracterizada por un patrón de inatención y/o hiperactividad motora e impulsividad (American Psychiatric Association, 2014). Es uno de los trastornos neurológicos más comunes, que afecta aproximadamente al 5-7% de niños y adolescentes, y a un 2,5% de adultos (Da Silva et al., 2023). Aunque se ha propuesto que su etiología está condicionada por factores ambientales, como un bajo peso al nacer, prematuridad o exposición a sustancias nocivas de la madre durante el embarazo y en la temprana infancia, la contribución genética a su desarrollo está entre las más altas de los trastornos psiquiátricos (Da Silva et al., 2023). Las investigaciones en gemelos han estimado

una heredabilidad del 74 al 88% (Faraone y Larsson, 2018) para este fenotipo, y los estudios de asociación del genoma completo (GWAS) han revelado una proporción de la variación fenotípica atribuida a variantes genéticas comunes (SNPs) del 14% (Demontis et al., 2023). Los *loci* asociados incluyen genes implicados en una gran variedad de procesos, como los mecanismos del neurodesarrollo y la neurogénesis. Algunos autores consideran el TDAH como un espectro de rasgos en lugar de un trastorno único y homogéneo, con características y comportamientos que varían en intensidad y manifestación entre individuos (Sedgwick, Merwood y Asherson, 2018). Los síntomas del TDAH conducen a menudo a dificultades en los contextos sociales, académicos y laborales, manifestando una alta comorbilidad psiquiátrica y médica. Más del 60% de las personas diagnosticadas con TDAH presentan al menos un trastorno psiquiátrico comórbido (Seo et al., 2022). Además, entre las personas identificadas con TDAH existen altas tasas de obesidad, alteraciones del sueño, asma, enfermedades autoinmunes e inflamatorias, y otros problemas somáticos y metabólicos relacionados (Da Silva et al., 2023).

Dado que el TDAH supone un perjuicio notable para la persona que lo manifiesta y tiene un importante componente genético, resulta paradójica su alta prevalencia: si el TDAH puede disminuir el *fitness* del individuo, ¿por qué la selección natural no ha actuado sobre los alelos asociados a este rasgo, reduciendo su presencia en la población? Sin embargo, aunque el TDAH se considera una mala-adaptación en el ambiente actual, se piensa que podría haber contribuido a un mayor *fitness* en un ambiente ancestral, haciendo que los individuos con este fenotipo tuvieran algún tipo de ventaja adaptativa, de forma que sus genes habrían pasado a las siguientes generaciones y llegado hasta la actualidad. Bajo esta premisa se han desarrollado varias hipótesis sobre el contexto ancestral de nuestra especie en el cual el TDAH pudo haber tenido un valor adaptativo que se describen brevemente a continuación (ver Esteller-Cucala et al., 2020 en la que se basa esta descripción):

a) La denominada “Hipótesis de los vadeadores” (Shelley-Tremblay y Rosén, 1996) sitúa el origen de los homínidos y de algunas adaptaciones tempranas de nuestra filogenia, como la pérdida de pelo

(sobre todo en las mujeres), en un supuesto contexto semi-acuático ancestral hace unos 6 millones de años, donde rasgos del TDAH habrían supuesto una ventaja para los infantes que los presentasen, al demandar una mayor atención de la madre y suponer una mayor probabilidad de supervivencia; el ambiente acuático permitiría una protección contra los depredadores terrestres.

b) En la llamada “Hipótesis para la preparación de la respuesta”, Jensen et al. (1997) señalan que características del TDAH pudieron ser beneficiosas para los individuos en un ambiente cazador-recolector (200.000-10.000 años), fomentando una evaluación constante del entorno y, con ello, una preparación para responder ante posibles estímulos; sería especialmente útil en situaciones adversas, con abundantes amenazas o recursos escasos, o en situaciones cambiantes, como las migraciones.

c) Hartmann (2019), en su “Hipótesis del cazador y del granjero”, sugiere que los rasgos de TDAH son propios de los antiguos cazadores, al ser cualidades prácticas para la caza (por ejemplo, la rapidez de pensamiento, la impulsividad, etc.); los individuos sin estos rasgos, pero con otros como un pensamiento y previsión a largo plazo, habrían sido característicos de los que el autor denomina “los granjeros”, quienes habrían tenido una mayor relevancia a partir del Neolítico. Así, los individuos con TDAH descenderían de los “cazadores” (cuya máxima actividad data de hace unos 100.000 años), y los individuos neurotípicos de los “granjeros”. Las hipótesis b y c se enmarcan en un contexto de cazadores-recolectores, durante el Paleolítico.

d) Por último, la llamada “Hipótesis del combatiente” (Shelley-Tremblay y Rosén, 1996), presenta un escenario más reciente (60.000-30.000 años), durante la coexistencia entre *Homo sapiens* y *Homo neanderthalensis*, donde la impulsividad y agresividad de los humanos ancestrales con fenotipo TDAH habrían supuesto una ventaja en la lucha física contra los neandertales, durante la competencia por los recursos.

Hay que señalar, no obstante, que las hipótesis expuestas cuentan con poca base experimental (Esteller-Cucala et al., 2020). Por tanto, el objetivo principal de este trabajo es realizar una revisión sistemática de los estudios que hasta la fecha han

intentado probar de forma empírica un posible valor adaptativo del TDAH. Con ello se pretende esclarecer el fundamento de las hipótesis propuestas, descartando aquellas que no tengan evidencias, así como determinar el punto en el que se encuentra esta cuestión, y señalar posibles mejoras o futuros enfoques en la investigación sobre este fenotipo a nivel evolutivo.

Materiales y métodos

Para la revisión se ha realizado una búsqueda bibliográfica sistemática en la base de datos Web of Science (WOS). Inicialmente, se efectuaron diferentes búsquedas combinando palabras clave en inglés, relacionadas con el tema objeto de estudio, que posteriormente fueron combinadas con operadores booleanos de la siguiente manera: ("adhd" OR "attention deficit disorder with hyperactivity*" OR "attention deficit hyperactivity disorder") AND ("genetic*" OR "genetic selection" OR "selection" OR "dopamine") AND ("evolutionary perspective" OR "evolution" OR "biological evolution" OR "adaptation*" OR "fitness" OR "natural selection" OR "hunter-gatherers?"). Se hicieron búsquedas equivalentes en Pubmed, pero dado que la mayoría estaban repetidas y se obtuvo un mayor número en WOS, se decidió trabajar directamente con los

resultados de esta base de datos. Las búsquedas se realizaron en febrero de 2024. El procedimiento seguido se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1.

Se obtuvieron 515 registros de los que se excluyeron tesis doctorales, capítulos de libros, informes científicos, resúmenes de conferencias, cartas o biografías, quedando 339 resultados. Posteriormente, se filtraron los artículos de revisión, aunque se analizaron en paralelo para estudiar el *status quo* del tema y como posibles apoyos para la discusión. Los 226 artículos restantes se cribaron a partir de los títulos y resúmenes. El criterio de inclusión se basó en tres premisas: 1) El artículo debía centrarse, al menos en parte, en el TDAH; 2) Debía enfocarse en la posible selección genética de los alelos asociados al fenotipo, la adaptación, el *fitness* o el aspecto evolutivo; 3) Debía tener una base empírica. Se seleccionaron finalmente 17 artículos y, tras una lectura del texto completo, se descartaron aquellos sin un ensayo empírico para probar la(s) hipótesis sobre el TDAH. De los 10 restantes se apartaron los tres más antiguos por haber sido analizados en la revisión sistemática más reciente encontrada (Thagaard et al., 2016), aunque se usaron para la discusión. En definitiva, se obtuvieron 7 artículos que ofrecían resultados para el presente trabajo (Figura 1).

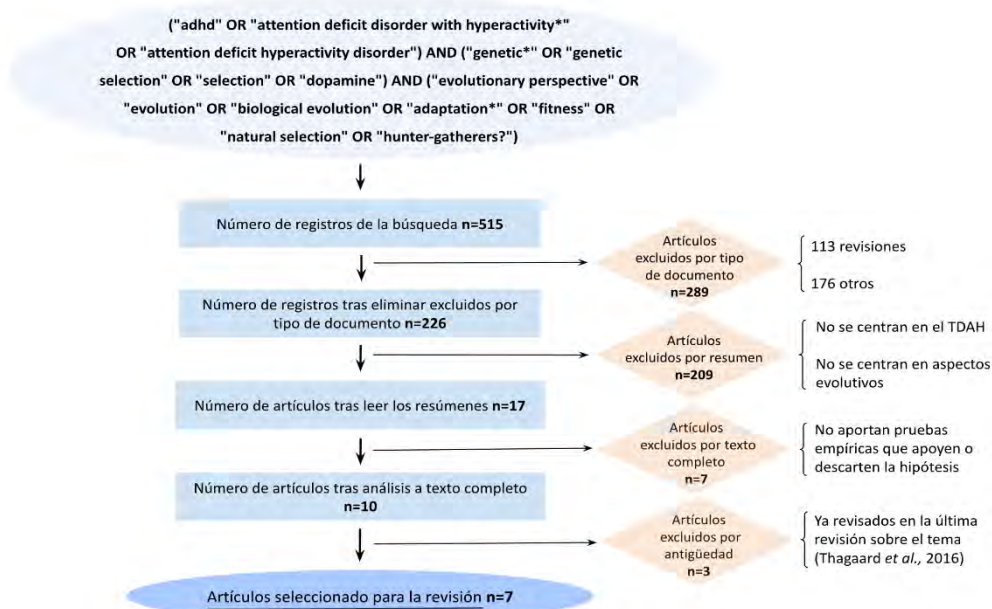


Figura 1. Diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda de artículos.

Resultados

Los resultados de la búsqueda bibliográfica se agruparon en tres categorías. Por un lado, se analizaron tres estudios genómicos (Polimanti y Gelernter, 2017; Esteller-Cucala et al., 2020; Cheung, Tubbs y Sham, 2022), entre cuyos objetivos estaba la búsqueda de posibles huellas de procesos evolutivos en variantes asociadas al TDAH, definidas a partir de GWAS. Por otra parte, se evaluó la “Hipótesis de la preparación de la respuesta” (Jensen et al., 1997) en dos estudios observacionales (Van den Driessche et al., 2019; Arildskov et al., 2022) que analizaban el comportamiento exploratorio (conducta o proceso psicológico dirigido a obtener información del entorno) de niños con TDAH. Por último, se analizó el impacto de trastornos psiquiátricos en el *fitness* reproductivo en dos trabajos (Mullins et al., 2017; Ni et al., 2019), que estudiaban la asociación entre el riesgo poligénico del fenotipo, también calculado a partir de GWAS, y una serie de rasgos reproductivos. A continuación, se describen las tres categorías de trabajos por separado con el fin de ofrecer una exposición detallada de los distintos resultados obtenidos.

Estudios genómicos de procesos evolutivos que pudieron influir en la genética del TDAH

Polimanti y Gelernter (2017) buscaron huellas de adaptación poligénica en varios trastornos psiquiátricos. Para ello, calcularon puntuaciones de selección positiva, completa o incompleta, en una muestra europea procedente del Proyecto 1000 Genomas. Los autores realizaron un análisis de correlación entre las puntuaciones obtenidas y los p-valor de las estadísticas GWAS de cada trastorno, para analizar si los alelos significativamente asociados al trastorno mostraban señales de selección. Los resultados obtenidos no fueron significativos, de forma que no se encontraron huellas de selección (ni completa ni incompleta), en las variantes asociadas al TDAH. Por otro lado, Esteller-Cucala et al. (2020) identificaron el efecto de la selección negativa en alelos de distintas poblaciones, modernas y antiguas (paleolíticas y neolíticas). Los resultados obtenidos en una población

europea moderna procedente del Reino Unido indicaron una selección negativa hacia los alelos asociados al TDAH, al menos en los últimos 2.000-3.000 años. Teniendo en cuenta un mayor espacio temporal, el análisis de muestras antiguas mostró una disminución promedio (f_{ADHD}) de 0,12 en la frecuencia de alelos de riesgo de TDAH, desde el Paleolítico hasta las muestras más recientes. Los citados autores también observaron un enriquecimiento en alelos asociados al TDAH en alelos ancestrales, definidos a partir del chimpancé (*Pan troglodytes*). Asimismo, analizaron genes intolerantes a variantes con pérdida de función (aquellas que alteran o eliminan la función de la proteína codificada) expresados en el cerebro; estos genes estaban enriquecidos en variantes asociadas al TDAH. Por último, los resultados de estos autores revelaron la existencia de introgresiones de origen neandertal enriquecidas en alelos asociados al TDAH (Esteller-Cucala et al., 2020). Paralelamente, Cheung, Tubbs y Sham (2022) exploraron otro proceso evolutivo; su estudio se centró en las regiones humanas aceleradas (*Human Accelerated Regions*, HAR). Se ha propuesto que estas regiones están implicadas en la evolución del cerebro humano y el desarrollo de mayores habilidades cognitivas. Se había observado anteriormente que esas regiones estaban enriquecidas en alelos de riesgo asociados a fenotipos neuropsiquiátricos, pero los resultados obtenidos no fueron significativos en el caso de las variantes TDAH.

Estudios observacionales del comportamiento exploratorio

Según la hipótesis de la “Preparación para la respuesta”, la hiperactividad y falta de atención propias del TDAH se consideran un comportamiento adaptativo útil para detectar oportunidades en entornos nuevos o con recursos escasos. La impulsividad sería ventajosa en situaciones de amenaza, con un tiempo de reacción limitado (tiempo crítico). Bajo esta premisa, Van den Driessche et al. (2019) estudiaron dos tipos de exploración, “externa” e “interna”, en niños dentro de una escala de presencia de rasgos TDAH. En el estudio de la “exploración externa” (“Bells Test”) (Gauthier, Dehaut y Joannette, 1989), los autores evaluaron el número de hallazgos en una búsqueda visual durante dos minutos, pero no encontraron diferencias significativas en los hallazgos visuales entre niños con

mayor o menor puntuación de rasgos TDAH. La “exploración interna” se midió cuantificando el número de nombres de animales que los niños recordaban y decían en dos minutos. En este caso, los niños con más rasgos de TDAH nombraron más animales y más diversos. Más recientemente, Arildskov et al. (2022) realizaron otro experimento que trataba de imitar una situación novedosa, escasa en recursos y con un tiempo crítico, en el que niños con diferentes niveles de TDAH (de nulo a severo) buscaron objetos-recompensa en una habitación desconocida durante un minuto. Estos resultados tampoco mostraron diferencias significativas en el número de hallazgos ni en la eficacia de exploración entre niños con y sin TDAH.

Estudios del impacto del TDAH en el fitness/éxito reproductivo

Los dos últimos estudios considerados en este trabajo analizaron el impacto que podían tener una serie de trastornos psiquiátricos en ciertos rasgos reproductivos, y el eventual efecto de las manifestaciones de dichos trastornos sobre el *fitness* o éxito reproductivo de los individuos. Los autores analizaron la asociación entre las puntuaciones de riesgo poligénico (PRS) para cada trastorno, calculadas a partir de estadísticas de GWAS, y determinadas características reproductivas. Así, Mullins et al. (2017) estudiaron las asociaciones entre el PRS y dos características reproductivas en ambos sexos: edad a la que se tuvo el primer hijo y número de hijos. Por su parte, Ni et al. (2019) relacionaron el PRS con cinco rasgos reproductivos en mujeres: edad al primer parto, número de partos, edad del primer encuentro sexual, edad de menarquia y edad de menopausia. Las dos primeras categorías se corresponderían con las analizadas en el estudio de 2017 para la muestra femenina. En ambos trabajos, los resultados para el TDAH mostraron una asociación entre un mayor riesgo genético de presentar este fenotipo y el hecho de tener un mayor número de hijos y una edad más temprana al tener el primero.

Además, Ni et al. (2019) encontraron una asociación significativa entre un mayor riesgo de TDAH y un primer encuentro sexual más temprano. Las asociaciones fueron menos significativas al considerar para el cálculo de PRS únicamente los SNPs del GWAS más significativos. Estos autores también

calcularon la correlación genética entre los distintos rasgos reproductivos (cuyos PRS habían sido calculados también a partir de GWAS), y de éstos con los fenotipos psiquiátricos, así como la existencia de una posible relación causa-efecto entre todas las variables (correlación causal). Se halló una correlación genética significativa del riesgo de sufrir TDAH con todos los rasgos reproductivos femeninos estudiados, salvo con la edad de menarquia. Al analizar la asociación causal, esta no fue estadísticamente significativa.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta revisión parecen descartar las hipótesis planteadas sobre el valor adaptativo del TDAH en un ambiente ancestral. Comenzando con la “Hipótesis de los vadeadores” (Shelley-Tremblay y Rosén, 1996) los resultados obtenidos por Esteller-Cucala et al. (2020) resultan contrarios a la misma, al obtener que los alelos ancestrales estimados a partir de *Pan troglodytes* están enriquecidos en variantes asociadas al TDAH. Esto implica que dichas variantes aparecieron en nuestro linaje antes de la divergencia evolutiva de los géneros *Homo* y *Pan* y, por tanto, antes de ese supuesto contexto ancestral en el que evolucionaron los humanos y donde los rasgos de TDAH serían una adaptación. Además, esta propuesta se basa en la “Hipótesis del simio acuático” (Hardy, 1960), que sugiere un entorno ancestral semi-acuático como origen de adaptaciones humanas tales como la bipedestación, la pérdida de pelo y grandes acumulaciones de grasa. Esta hipótesis ha sido fuertemente criticada y rechazada por la comunidad científica, pues los hallazgos fósiles la desmienten, indicando que estas adaptaciones (y otras) surgieron en medio terrestre y en diferentes momentos y procesos de la evolución humana.

En cuanto a la “Hipótesis de la preparación para la respuesta” de Jensen et al. (1997), los dos estudios que analizan el supuesto comportamiento exploratorio superior en individuos con rasgos TDAH (Van den Driessche et al., 2019; Arildskov et al., 2022) indican que éste no es el caso, al menos en la “exploración externa”. En esta revisión nos hemos centrado en este aspecto pues la hipótesis citada se basaba en este tipo de exploración, al referirse a un

comportamiento beneficioso para la búsqueda de recursos en un ambiente nuevo o cambiante (Jensen et al. 1997). Asimismo, Esteller-Cucala et al. (2020) también discuten esta hipótesis, al situarla en el Paleolítico, periodo en el que, según sus resultados, la frecuencia de los alelos asociados al TDAH habría comenzado a disminuir. Si los rasgos de TDAH hubieran supuesto una ventaja durante esta época, las variantes genéticas asociadas no deberían haber sufrido una selección negativa como señalan los autores.

Por ello, estos investigadores también descartan la “Hipótesis de los cazadores-granjeros” (Hartmann, 2019), ya que según ésta los alelos asociados al TDAH habrían sido beneficiosos para los cazadores del Paleolítico, pero habrían perdido posteriormente su valor, comenzado su selección negativa a partir del Neolítico; sin embargo, los resultados de Esteller-Cucala et al. (2020) indican que la selección negativa comenzó mucho antes de la llegada de la agricultura y la ganadería. Dichos autores también rechazan la “Hipótesis del combatiente” (Shelley-Tremblay y Rosén, 1996), ya que es contraria a un enriquecimiento de variantes asociadas al TDAH en las introgresiones neandertales y a la reducción de la f_{ADHD} en *H. sapiens* durante la época en la que coexistía con *H. neanderthalensis*, durante el Paleolítico superior, hace unos 40.000 años (Djakovic, Key y Soressi, 2022). Los valores adaptativos propuestos también pueden ser descartados según los resultados de Polimanti y Gelernter (2017), al no encontrar rastros de selección positiva en los alelos asociados al TDAH.

Es importante mencionar los resultados obtenidos en la revisión de Thagaard et al. (2016), donde se analizaba el posible valor adaptativo del TDAH. Dos de los estudios considerados en dicha revisión (Ding et al., 2002; Wang et al., 2004) analizaban la variante de siete repeticiones en tándem (7R) del gen codificante para el receptor de dopamina D4 (*DRD4*), que había sido asociado con el TDAH en otros estudios (Faraone y Larsson, 2018). Ambos estudios coinciden en la aparición de la variante 7R-*DRD4* hace unos 40.000-50.000 años, y en que habría sufrido selección positiva. Los autores sugieren que la época en la que surgió la mutación coincide con el *Out-of-Africa* y la colonización de Eurasia (Vallini et al., 2024), y que el agente de selección serían los supuestos beneficios de los rasgos TDAH a la hora de explorar un

nuevo entorno durante la(s) migración(es), como sugiere la hipótesis de Jensen et al. (1997). Otros autores han propuesto que este pudo ser el motivo de la alta prevalencia de la variante entre los amerindios (Tovo-Rodrigues et al., 2010), cuyos antepasados llegaron desde Asia en una gran migración inicial atravesando el estrecho de Bering. Sin embargo, Thagaard et al. (2016) señalan las limitaciones de estos estudios que se basan en la causalidad del TDAH en la presencia de 7R-*DRD4*, ya que no todos los individuos que presentan TDAH tienen el alelo 7R-*DRD4*, ni todos con esta variante padecen TDAH; además, pese a que los resultados de asociación entre el TDAH y 7R-*DRD4* tienen significación estadística, esta es moderada (Gizer, Ficks y Waldman, 2009). Además, Thagaard et al. (2016) critican que este gen no hubiera aparecido como candidato en ningún GWAS realizado hasta la fecha de su estudio; tampoco lo ha hecho en estudios posteriores con mayor tamaño muestral como los de Demontis et al. (2019; 2023). Sin embargo, esto podría deberse a que los números variables de repetición en tándem (VNTRs) como el 7R-*DRD4* y otras regiones multicopia son ignorados generalmente en los GWAS, debido a su metodología basada en SNPs (Garg et al., 2022), cuestión que se discutirá después.

Por otro lado, Williams y Taylor (2005) propusieron que los individuos con TDAH, especialmente del subtipo hiperactivo-impulsivo, son “impredecibles”, lo que podía beneficiar al grupo al permitirle aprender de los riesgos tomados por este tipo de individuos, sin cometer los mismos errores, o descubrir nuevas oportunidades sin exponerse por completo. Según esta premisa, los autores realizaron dos simulaciones computacionales, cuyos resultados mostraron que una pequeña proporción de individuos imprevisibles mejoraba el rendimiento del grupo en situaciones cambiantes. Esta hipótesis y los resultados obtenidos podrían también relacionarse con la idea de la preparación para la respuesta de Jensen et al. (1997). Sin embargo, Thagaard et al. (2016) señalaron que la imprevisibilidad no es un síntoma diagnóstico del TDAH. No obstante, teniendo en cuenta el enfoque de los autores, la imprevisibilidad podría interpretarse como impulsividad, en cuyo caso sí se trataría de un rasgo de TDAH, por lo que no se deben ignorar totalmente estos resultados.

Análisis del éxito reproductivo en individuos con rasgos de TDAH

Al margen de las hipótesis descritas sobre los posibles valores adaptativos de los rasgos del TDAH, se ha especulado con que el agente selectivo pudiera ser un mayor éxito reproductivo de los individuos que los manifiestan (Thagaard et al., 2016). Esta hipótesis se apoya en la literatura que asocia el TDAH con una actividad sexual más temprana, un mayor número de parejas sexuales y una mayor probabilidad de verse involucrado en un embarazo (Spiegel y Pollak, 2019). Dos de los estudios analizados (Mullins et al., 2017; Ni et al., 2019) han observado empíricamente una asociación significativa entre un mayor riesgo poligénico de padecer TDAH y un mayor número de hijos. En esta revisión nos hemos centrado en este rasgo reproductivo, a pesar de que las asociaciones del TDAH y otros rasgos reproductivos han sido también significativas, pues el éxito reproductivo se define como la producción de descendencia de un individuo (Moreno, 2019); por tanto, tener más hijos se podría traducir en un mayor éxito reproductivo en los individuos con TDAH si sus hijos también tuvieran más descendientes. Adicionalmente, esta asociación parece deberse a factores genéticos comunes asociados a un mayor número de partos (y a otros rasgos reproductivos) y al TDAH, al existir una correlación genética positiva (Ni et al., 2019). Sin embargo, no se han encontrado evidencias de que el riesgo de manifestar rasgos de TDAH sea la causa de una mayor descendencia.

Por ello se ha propuesto que la causa de esta asociación (y de las del TDAH con otros rasgos reproductivos) podría deberse a efectos pleiotrópicos. Además, las asociaciones son más significativas cuando solo se tienen en cuenta los alelos asociados al TDAH más significativos; puede que, realmente, las variantes asociadas a tener una mayor descendencia estén dentro de las variantes menos significativamente asociadas al TDAH y se esté sobreestimando la arquitectura genética común de ambos fenotipos. Sin embargo, el mayor éxito reproductivo de los individuos con TDAH en base a un mayor número de hijos es discutible, pues en el caso de los humanos esta cifra depende en gran medida de factores sociales, como el uso de medidas anticonceptivas (Crognier, 2003). Los individuos con TDAH tienden a realizar prácticas

sexuales de riesgo, entre las que se incluye el sexo sin protección (Spiegel y Pollak, 2019), lo que puede ser causa de una mayor descendencia. Existen otros factores sociales a tener en cuenta, como que un mayor número de hijos a una edad más temprana esté asociado a un ambiente de ingresos bajos, que también suele estar asociado al TDAH (Ni et al., 2019). Además, un mayor éxito reproductivo en individuos con mayor PRS de TDAH no es consistente con la selección negativa señalada por Esteller-Cucala et al. (2020) desde hace generaciones.

Rechazar las hipótesis planteadas, incluyendo un mayor éxito reproductivo de los individuos con un gran riesgo de padecer TDAH, no implica descartar del todo la propuesta de que este fenotipo sea un desajuste evolutivo. Los resultados de esta revisión indican que las variantes asociadas al TDAH serían ancestrales, dado el enriquecimiento de las mismas en muestras de especies como *P. troglodytes* y *H. neanderthalensis*, y en genes intolerantes a la pérdida de función expresados en el cerebro (Esteller-Cucala et al., 2020). Esto también se apoyaría en el trabajo de Cheung, Tubbs y Sham (2022), que no encontraron las regiones HAR significativamente enriquecidas con estas variantes, de lo que estos autores deducen que los genes asociados al TDAH han sido conservados evolutivamente por regular funciones básicas. Las nuevas incógnitas se basan en desentrañar las funciones de estas variantes ancestrales y conocer por qué han sufrido selección negativa en la historia evolutiva reciente de *Homo sapiens*. La alta comorbilidad y las variantes de riesgo compartidas del TDAH con otros trastornos psiquiátricos (Ni et al., 2019; Esteller-Cucala et al., 2020; Cheung, Tubbs y Sham, 2022), hacen plantearse si alguno de estos trastornos ha sido aquel bajo selección negativa y no el TDAH, aunque los resultados de Polimanti y Gelernter (2017) descartan el caso del trastorno del espectro autista (ASD), en cuyas variantes asociadas han observado huellas de selección positiva.

Cabe mencionar las limitaciones de este trabajo. La mayor parte de los resultados de esta revisión están basados en estadísticas de GWAS, pero estos estudios son poco sensibles a variantes multicopia que, por otra, parte han sido candidatas a ser factores genéticos influyentes sobre el TDAH (Faraone y Larsson, 2018). Esto es un punto importante a tener en

cuenta, pues si bien el TDAH parece tener una fuerte base poligénica (Faraone y Larsson, 2018), la heredabilidad explicada por las variantes analizadas por GWAS se reduce al 14% (Demontis et al., 2023). Puede que otros factores genéticos que no se hayan tenido en cuenta tengan un efecto importante, lo que explicaría la notable diferencia entre la heredabilidad calculada a partir de GWAS y la valorada a partir de estudios gemelares, un 74% según Faraone y Larsson (2018). Por otro lado, Mullins et al. (2017) y Polimanti y Gelernter (2017) se basan en GWAS del TDAH que por su tamaño muestral no son totalmente significativos. El resto se basan en estadísticas derivadas de los resultados de Demontis et al. (2019), pero un estudio actualizado, con mayor tamaño de muestra (Demontis et al., 2023) ha obtenido nuevos genes asociados al TDAH y descartado algunos *loci* que anteriormente parecían significativos. Es posible que los resultados de los estudios analizados se vean alterados si se tienen en cuenta estas nuevas estadísticas GWAS. En todo caso, es fundamental esclarecer los factores genéticos que subyacen en la etiología del TDAH, así como en su comorbilidad con otros trastornos psiquiátricos y otras enfermedades, para poder interpretar el papel de esos genes en el fenotipo y valorar procesos evolutivos que han podido modelarlo.

Asimismo, hay que considerar no solo los factores genéticos, sino también los ambientales. En el caso del TDAH, la heredabilidad deja margen a que factores ambientales influyan de manera importante en su manifestación (Da Silva et al., 2023). Existen casos de enfermedades consideradas desajustes con una base genética importante pero cuyo desarrollo está muy influido por el estilo de vida del individuo, como la diabetes mellitus tipo II o las enfermedades cardiovasculares (Lea et al., 2023). Se han propuesto distintos factores ambientales de riesgo para el TDAH, como factores psicosociales (Østergaard et al., 2020), consumo de sustancias tóxicas durante el embarazo o la disbiosis de la microbiota (Da Silva et al., 2023). También, en esta revisión se ha observado que hay ambientes en los que la presencia TDAH no supone un impedimento para los individuos que lo padecen (Van den Driessche et al., 2019; Arildskov et al., 2022). Esto abre el debate de si se están “patologizando” conductas ancestrales que, en ambientes más parecidos a aquellos en los que evolucionó *Homo sapiens* no serían una

desventaja, pero que sí lo son en entornos “artificiales”, como los colegios (Swanepoel et al., 2017), o por los estímulos constantes y el uso excesivo de los medios digitales (Ra et al., 2018).

Conclusiones

Todas las hipótesis planteadas sobre el valor adaptativo del TDAH en entornos ancestrales quedan inicialmente descartadas según los resultados de esta revisión. Aunque la hipótesis de Jensen et al. (1997) en el marco de las migraciones tiene cierto apoyo, no considera la arquitectura poligénica del TDAH y carece del respaldo de los estudios observacionales. Tampoco existen claras evidencias de un mayor éxito reproductivo en individuos con mayor riesgo poligénico de TDAH. Las variantes asociadas al TDAH han sufrido selección negativa en los últimos 45.000 años y tienen un origen antiguo. Es necesario esclarecer los factores genéticos de la etiología del TDAH para poder determinar los procesos evolutivos que han podido moldear este fenotipo. Igualmente, es importante tener en cuenta el papel de los factores ambientales. Con todo, entender el TDAH desde una perspectiva evolutiva puede mejorar su tratamiento y el desarrollo de ambientes adecuados para las personas que lo padecen.

Bibliografía

- American Psychiatric Association. (2014). Trastornos del neurodesarrollo: trastorno por déficit de atención/hiperactividad. En: J.L. Ayuso, E.Vieta, y C. Arango (Coords.). Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, DSM-5: 59-66 (5ª. Ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Arildskov T.W., Viring A., Thomsen P.H., Østergaard S.D. (2022). Testing the evolutionary advantage theory of attention-deficit/hyperactivity disorder traits. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 31(2): 337-348. <https://doi.org/10.1007/s00787-020-01692-4>
- Austad S. (2020). Randolph M. Nesse, Good Reasons for Bad Feelings: Insights from the Frontier of Evolutionary Psychiatry. *Evol Med Public Health* 24(1): 28-29. [doi: 10.1093/emph/eoaa002](https://doi.org/10.1093/emph/eoaa002)
- Cheung J.P., Tubbs J.D., Sham P.C. (2022). Extended gene set analysis of human neuro-psychiatric traits shows enrichment in brain-expressed human accelerated regions across development. *Schizophr Res* 246: 148-155. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2022.06.023>

- Corbett S., Courtiol A., Lummaa V., Moorad J., Stearns S. (2018). The transition to modernity and chronic disease: mismatch and natural selection. *Nat Rev Genet* 19(7): 419-430. <https://doi.org/10.1038/s41576-018-0012-3>
- Crognier E. (2003). Reproductive success: which meaning? *Am J Hum Biol* 15(3): 352-360. <https://doi.org/10.1002/ajhb.10153>
- Da Silva B.S., Grevet E.H., Silva L.C.F., Ramos J.K.N., Rovaris D.L., Bau C.H.D. (2023). An overview on neurobiology and therapeutics of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Discov Ment Health* 3(1): 2. <https://doi.org/10.1007/s44192-022-00030-1>
- Del Giudice, M. (2018). *Evolutionary psychopathology: A unified approach*. New York: Oxford University Press.
- Demontis D., Walters G.B., Athanasiadis G., Walters R., Therrien K., Nielsen T.T., et al. (2023). Genome-wide analyses of ADHD identify 27 risk loci, refine the genetic architecture and implicate several cognitive domains. *Nat Genet* 55(2): 198-208. <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01285-8>
- Demontis D., Walters R.K., Martin J., Mattheisen M., Als, T.D., Agerbo E., et al. (2019). Discovery of the first genome-wide significant risk loci for attention deficit/hyperactivity disorder. *Nat Genet* 51(1): 63-75. <https://doi.org/10.1038/s41588-018-0269-7>
- Diamond J. (2002). Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature* 418(6898): 700-707. <https://doi.org/10.1038/nature01019>
- Ding Y.C., Chi H.C., Grady D.L., Morishima A., Kidd J.R., Kidd K.K., et al. (2002). Evidence of positive selection acting at the human dopamine receptor D4 gene locus. *PNAS* 99(1): 309-314. <https://doi.org/10.1073/pnas.012464099>
- Djakovic I, Key A., Soressi M. (2022). Optimal linear estimation models predict 1400-2900 years of overlap between *Homo sapiens* and Neandertals prior to their disappearance from France and northern Spain. *Sci Rep* 12: 15000 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19162-z>
- Esteller-Cucala P., Maceda I., Børglum A.D., Demontis D., Faraone S.V., Cormand B., Lao O. (2020). Genomic analysis of the natural history of attention-deficit/hyperactivity disorder using Neanderthal and ancient *Homo sapiens* samples. *Sci Rep* 10(1): 8622. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65322-4>
- Faraone S.V., Larsson H. (2018). Genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Mol Psychiatry* 24(4): 562-575. [doi: 10.1038/s41380-018-0070-0](https://doi.org/10.1038/s41380-018-0070-0)
- Garg P., Jadhav B., Lee W., Rodríguez O.L., Martín-Trujillo A., Sharp A.J. (2022). A phenome-wide association study identifies effects of copy-number variation of VNTRs and multicopy genes on multiple human traits. *Am J Hum Genet* 109(6): 1065-1076. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2022.04.016>
- Gauthier L., Dehaut F., Joanette Y. (1989). The Bells Test: A quantitative and qualitative test for visual neglect. *Int J Clin Neuropsychol* 11(2): 49-54.
- Gizer I.R., Ficks C., Waldman I.D. (2009). Candidate gene studies of ADHD: A meta-analytic review. *Hum Genet* 126(1): 51-90. <https://doi.org/10.1007/s00439-009-0694-x>
- Gurven M.D., Lieberman D.E. (2020). WEIRD bodies: mismatch, medicine and missing diversity. *Evol Hum Behav* 41(5): 330-340. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2020.04.001>
- Haile B., Neme K., Belachew T. (2017). Evolution of human diet and effect of globalization on regional diet with emphasis to the Mediterranean diet. *Nutr Food Sci* 47(6): 869-883. <https://doi.org/10.1108/NFS-02-2017-0017>
- Hardy A. (1960). Was man more aquatic in the past? *New Sci* 7(5): 642-645.
- Hartmann T. (2019). *ADHD: A Hunter in a Farmer's World*. USA: Simon & Schuster.
- Jensen, P.S., Mrazek, D., Knapp, P.K., Steinberg, L., Pfeffer, C., Schowalter, J., Shapiro T. (1997). Evolution and revolution in child psychiatry: ADHD as a disorder of adaptation. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 36(12): 1672-1681. <https://doi.org/10.1097/00004583-199712000-00015>
- Keller M.C., Miller G. (2006). Resolving the paradox of common, harmful, heritable mental disorders: which evolutionary genetic models work best? *Behav Brain Sci* 29(4): 385-404. [doi: 10.1017/S0140525X06009095](https://doi.org/10.1017/S0140525X06009095)
- Lea A.J., Clark A.G., Dahl A.W., Devinsky O., García A.R., Golden C.D., et al. (2023). Applying an evolutionary mismatch framework to understand disease susceptibility. *PLoS Biol* 21(9): e3002311. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002311>
- Li N.P., van Vugt M., Colarelli S.M. (2018). The evolutionary mismatch hypothesis: Implications for psychological science. *Curr Dir Psychol Sci* 27(1): 38-44. <https://doi.org/10.1177/0963721417731378>
- Manus M.B. (2018). Evolutionary mismatch. *Evol Med Public Health* 2018(1): 190-191. <https://doi.org/10.1093/emph/eoy023>
- McGuire M.T., Troisi A. (1998). *Darwinian psychiatry*. New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/med:psych/9780195116731.001.1.0001>
- Moreno J. (2019). Reproductive Success. En: J.C. Choe (Ed.). *Encyclopedia of Animal Behavior*: 94-100 (2nd Edition). Elsevier Ltd. Amsterdam.

- Mullins N., Ingason A., Porter H., Euesden J., Gillett A., Ólafsson S., et al. (2017). Reproductive fitness and genetic risk of psychiatric disorders in the general population. *Nat Commun* 8: 15833. <https://doi.org/10.1038/ncomms15833>
- Ni G., Amare A.T., Zhou X., Mills N., Gratten J., Lee S.H. (2019). The genetic relationship between female reproductive traits and six psychiatric disorders. *Sci Rep* 9(1): 12041. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48403-x>
- Østergaard S.D., Trabjerg B.B., Als T.D., Climent C.A., Privé F., Vilhjálmsson B.J., et al. (2020). Polygenic risk score, psychosocial environment and the risk of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Transl Psychiatry* 10(1): 335. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-01019-6>
- Polimanti, R., Gelernter, J. (2017). Widespread signatures of positive selection in common risk alleles associated to autism spectrum disorder. *PLoS Genet* 13(2): e1006618. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006618>
- Ra C.K., Cho J., Stone M.D., De La Cerda J., Goldenson N.I., Moroney E., et al. (2018). Association of Digital Media Use With Subsequent Symptoms of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Among Adolescents. *JAMA* 320(3): 255-263. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.8931>
- Sedgwick J.A., Merwood A., Asherson P. (2018). The positive aspects of attention deficit hyperactivity disorder: a qualitative investigation of successful adults with ADHD. *Atten Defic Hyperact Disord* 11(3): 241-253. <https://doi.org/10.1007/s12402-018-0277-6>
- Seo J.C., Jon D.I., Shim S.H., Sung H.M., Woo Y.S., Hong J., et al. (2022). Prevalence and Comorbidities of Attention Deficit Hyperactivity Disorder Among Adults and Children/Adolescents in Korea. *Clin Psychopharmacol Neurosci* 20(1): 126-134. <https://doi.org/10.9758/cpn.2022.20.1.126>
- Shelley-Tremblay J.F., Rosén L.A. (1996). Attention deficit hyperactivity disorder: An evolutionary perspective. *J Genet Psychol* 157(4): 443-453. <https://doi.org/10.1080/00221325.1996.9914877>
- Spiegel T., Pollak Y. (2019). Attention Deficit/Hyperactivity Disorder and Increased Engagement in Sexual Risk-Taking Behavior: The Role of Benefit Perception. *Front Psychol* 10: 1043. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01043>
- Swanepoel A., Music G., Launer J., Reiss M.J. (2017). How evolutionary thinking can help us to understand ADHD. *BJ Psych Adv* 23(6): 410-418. [doi:10.1192/apt.bp.116.016659](https://doi.org/10.1192/apt.bp.116.016659)
- Swanepoel A., Reiss M.J., Launer J., Music G., Wren B. (2022). Evolutionary perspectives on neurodevelopmental disorders. En: R. Abed y P. St. John-Smith (Eds.). *Evolutionary Psychiatry: Current Perspectives on Evolution and Mental Health*: 228-243. Cambridge University Press: Cambridge. [doi:10.1017/9781911623625.017](https://doi.org/10.1017/9781911623625.017)
- Thagaard M.S., Faraone S.V., Sonuga-Barke E.J., Østergaard S.D. (2016). Empirical tests of natural selection-based evolutionary accounts of ADHD: A systematic review. *Acta Neuropsychiatr* 28(5): 249-256. [doi:10.1017/neu.2016.14](https://doi.org/10.1017/neu.2016.14)
- Tovo-Rodrigues L., Callegari-Jacques S.M., Petzl-Erler M.L., Tsuneto L., Salzano F.M., Hutz M.H. (2010). Dopamine receptor D4 allele distribution in Amerindians: a reflection of past behavior differences? *Am J Phys Anthropol* 143(3): 458-464. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21358>
- Vallini L., Zampieri C., Shoaee M.J., Bortolini E., Marciani G., Aneli S., et al. (2024). The Persian plateau served as hub for *Homo sapiens* after the main out of Africa dispersal. *Nat Commun* 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46161-7>
- Van den Driessche C., Chevrier O.F., Cleeremans J. Sackur. (2019). Lower Attentional Skills predict increased exploratory foraging patterns. *Sci Rep* 9: 10948. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46761-0>
- Vidal C.M., Lane C.S., Asrat A., Barford D.N., Mark D. F., Tomlinson E.L., et al. (2022). Age of the oldest known *Homo sapiens* from eastern Africa. *Nature* 601, 579-583. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04275-8>
- Wang E., Ding Y.C., Flodman P., Kidd J.R., Kidd K.K., Grady D.L., et al. (2004). The genetic architecture of selection at the human dopamine receptor D4 (DRD4) gene locus. *Am J Hum Genet* 74(5): 931-944. <https://doi.org/10.1086/420854>
- Williams J., Taylor E. (2005). The evolution of hyperactivity, impulsivity and cognitive diversity. *J R Soc Interface* 3(8): 399-413. <https://doi.org/10.1098/rsif.2005.0102>

Anthropometric measures: associated factors, and relationships with weight satisfaction in an adult population

Imane Barakat^{1,2}, Sanaa El-Jamal^{1,3}, Halima Belaoufi¹, Halima Daif¹, Rachida Moustakim¹, Mohammed Elayachi¹ and Rekia Belahsen^{1*}

¹Laboratory of Anthropogenetic, Biotechnologies ad Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University. El Jadida, 24000 Morocco

²Higher Institute of Professions Nurses and Health Techniques of Marrakesh. Morocco

³Higher Institute of Professions Nurses and Health Techniques of Casablanca. Morocco

*Corresponding Author: rekiabelahsen@gmail.com; rbelahsen@yahoo.com

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo estudiar las medidas antropométricas, los factores asociados y su relación con la satisfacción con el peso, en una muestra de población formada por 507 adultos marroquíes. Los datos sobre las características sociodemográficas (edad, sexo, zona de residencia y nivel educativo) y la satisfacción con el peso se recopilaron mediante un cuestionario, completado con una entrevista. Las medidas antropométricas, especialmente el peso, la estatura, el índice de masa corporal (BMI), la circunferencia de la cintura (WC), la relación cintura-cadera (WHR), la masa grasa corporal (%FM) y la masa muscular del cuerpo (%MM), fueron tomadas con un equipo adecuado. Más de la mitad de la población estudiada (52%) tenía entre 20 y 39 años y el 52% eran mujeres. Los resultados de los análisis estadísticos mostraron que la edad tenía una asociación significativa y positiva con el IMC ($p<0,001$), la WC ($p<0,001$), la WHR ($p<0,001$) y el %FM ($p<0,001$); el grupo de edad de entre 20-29 años tuvo los valores más bajos en estas medidas y el de 50-59 años los más elevados. El sexo se asoció significativamente con el BMI ($p<0,001$), el %FM ($p<0,001$) y el %MM ($p<0,001$), con valores del BMI y del %MF más altos en las mujeres que en los hombres, mientras que el %MM fue mayor en estos últimos. Respecto a la satisfacción con el peso, los resultados mostraron que el BMI y la WC estaban asociados positivamente con el deseo de perder peso. Así, el aumento del BMI en una unidad aumentó este deseo en 1,21 veces, mientras que el incremento en una unidad de la WC lo aumentó en 1,06 veces. Estos resultados pueden ayudar a orientar las acciones de prevención y gestión del sobrepeso, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares y metabólicas.

Palabras clave:

Antropometría
Composición corporal
Peso corporal
Satisfacción con el peso
Marruecos

Recibido: 26-01-2025

Aceptado: 22-04-2025

ABSTRACT

This research aimed to study anthropometric measures, their associated factors, and their relationships with weight satisfaction in an adult population. Thus, 507 Moroccan adults were studied. Data on socio-demographic characteristics (age, sex, area of residence, and education level) and weight satisfaction were collected by a questionnaire completed by interview. The anthropometric measures, notably weight, height, body mass index (BMI), waist circumference (WC), waist-hip ratio (WHR), body fat mass (%FM), and body muscle mass (%MM), were taken with suitable equipment. More than half of the population studied (52%) were aged between 20 and 39 years old, and were female (52%). The principal results of statistical analysis showed that age had a positive significant association with BMI ($p<0.001$), WC ($p<0.001$), WHR ($p<0.001$) and %FM ($p<0.001$). The age group of 20 - 29 years had the lowest values of these measures, by contrast, the age group [50 - 59] years had the highest values. Sex had a significant association with BMI ($p<0.001$), %FM ($p<0.001$), and %MM ($p<0.001$). The BMI and %FM values were higher in women than in the men's group; by contrast, the %MM was higher in men than in the women's group. Furthermore, in relationship with weight satisfaction, the statistical analysis showed that BMI and WC were associated positively with the desire to lose weight. Indeed, increasing the BMI of a unit increased this desire by 1.21 times, and increasing the WC of a unit increased this desire by 1.06 times. These results may help to guide actions for the prevention and management of overweight, obesity, and cardiovascular and metabolic diseases.

Keywords:

Anthropometry
Body composition
Body weight
Weight satisfaction
Morocco

Introduction

Nutritional status represents the health status of the body resulting from food intake, absorption, and utilization, as well as pathological factors (Saccoun, 2008). It is determined by biological analyzes, clinical signs, anthropometric measures, and body composition (Blondé-Cynober and Aussel, 2006; Campos del Portillo et al., 2015). The latter include body mass index (BMI), waist circumference (WC), waist-to-hip ratio (WHR), and body composition in fat and lean mass (Oppert, 2003; Messiah, 2020). These different measures make it possible to qualify the weight status of an individual or a population by classifying them according to their degree of underweight, overweight, and obesity (Casadei and Kiel, 2020). Thus, BMI, calculated as weight/height^2 and expressed in kg/m^2 is an indicator of weight status, and WC is an indicator of abdominal adiposity (Oppert, 2003). In fact, it is recommended to calculate the BMI completed with the WC, which is a major indicator of cardiovascular and metabolic risk (Tsigos et al., 2008; De D, Danne and Sinoni, 2009; Jacobs et al., 2010). For its part, the WHR is an indicator of the distribution of adipose tissue between the upper and lower parts of the body, and therefore its increase could result from an increase in abdominal adiposity as well as a decrease in hip circumference (Han et al., 1997; Oppert, 2003).

In addition to these methods of anthropometric assessment, there are other methods assessing body composition by impedance measurement, including fat and lean mass or free fat mass (FFM) (Messiah, 2020; Holmes and Racette, 2021; Heymsfield et al., 2024). Fat-Free Mass includes muscle mass but also the weight of organs, bones, skin and body water, while muscle mass refers only to muscle weight (Holmes and Racette, 2021; Damluji et al., 2023). Unlike the measurement of free fat mass, which presents the risk of overestimation of muscle mass (Buckinx et al., 2018), the interest of the specific measure of muscle mass is that it is directly related to metabolic functions, mobility, and response to nutritional and physical interventions (Walowski et al., 2020).

Moreover, independently of the

anthropometric measures mentioned above, individuals may have a subjective perception of their body weight, which induces a satisfaction or a dissatisfaction with this weight. Thus, some people may perceive their weight status as normal while it is excess and do not adopt the appropriate attitude to correct it, namely a healthy diet and sufficient physical activity (Duncan et al., 2011; Blake et al., 2013), or they may perceive their weight status as excess and adopt weight-loss diets while they have a normal weight status (Gillen, 2015; Rounsefell et al., 2020) and thus find themselves in a state of undernutrition. This article aims to study anthropometric measures, their associated factors, and their relationships with weight satisfaction in an adult population from Morocco.

Methods

The data included in this work are part of a study that was conducted in the region of Rabat, Salé, Kenitra (RSK) in Morocco, and whose conceptual and methodological framework was previously validated (Barakat, Elayachi and Belahsen, 2022).

Data collection

Data on characteristics and weight satisfaction were collected on 507 adult subjects, using a questionnaire completed by interviews. The questionnaire aimed to collect information on socio-demographic characteristics (age, sex, area of residence and education level) and weight satisfaction. Anthropometric measures and body composition were measured with validated equipment, notably a Body Circumference Measuring Tape, a Stadiometer Mobile Scale (SECA), and an OMRON BF 214 impedancemeter, which measures fat mass (FM) and muscle mass (MM) (Omron Healthcare, 2020).

Variables studied

The socio-demographic characteristics collected were age, categorized in 1) [20 - 29], 2) [30 - 39], 3) [40 - 49], 4) [50 - 59], and 5) ≥ 60 years; sex, categorized in 1) male and 2) female; area of residence, categorized in 1) urban areas and 2) rural areas according to the Moroccan territorial

organization and, education level categorized in 1) none, 2) preschool and primary, 3) secondary school, 4) qualifying secondary and 5) higher education.

Anthropometric measures were body mass index (BMI), waist circumference (WC), waist/hip ratio (WHR), fat mass %FM, and muscle mass %MM. The BMI was categorized in 1) BMI < 18.50 kg/m² (underweight); 2) BMI of 18.50 to 24.99 kg/m² (normal); 3) BMI of 25 to 29.99 kg/m² (overweight); 4) BMI ≥ 30 kg/m² (obesity) (WHO, 2014; Weir and Jan, 2022). The WC, an indicator of cardiovascular and metabolic risk (CVMR), was categorized in 1) WC ≤ 94 cm (absence of CVMR); 2) 94 cm > WC ≤ 102 cm (moderate CVMR); 3) WC > 102 cm (high CVMR) for men, and in 1) WC ≤ 80 cm (no CVMR); 2) 80 cm > WC ≤ 88 cm (moderate risk); 3) WC > 88 cm (high CVMR) for women. The WHR is also an indicator of CVMR that was categorized for men in 1) WHR ≤ 1 (absence of CVMR) and 2) WHR > 1 (presence of CVMR), and for women in 1) WHR ≤ 0.85 (absence of CVMR) and 2) WHR > 0.85 (presence of CVMR) (WHO 2000; Oppert, 2003). The % FM and the % MM were categorized into 1) deficient; 2) normal; 3) excessive (Omron Healthcare, 2020).

Weight satisfaction was categorized in 1) "satisfied with weight status"; 2) "desire to lose weight" because they perceive themselves as overweight; 3) "desire to gain weight" because they perceive themselves as underweight.

Statistical analysis

Statistical analysis were performed using SPSS for Windows (Statistical Package for the Social Sciences) version 21. Associations between variables were studied by statistical tests with a threshold of significance p-value < 0.05. Thus, the student test and the one-way ANOVA test were used to study the associations of socio-demographic characteristics with anthropometric measures. The multinomial regression was used to study associations of anthropometric measures with weight satisfaction.

Ethics approval and consent to participate

This study was carried out under the aegis of the Department of Higher Education and

Scientific Research, particularly with the agreement of the Faculty of Science of the Chouaib Doukkali University of El Jadida in Morocco. It has been approved by the Wilaya and the Regional Directorate of Health and Social Protection of Rabat-Salé-Kenitra region's (RSK). Furthermore, the core ethical precepts that guide research conduct were honored, specifically providing participants with information about the study's subject matter, volunteering, maintaining participant confidentiality, and obtaining informed consent.

Results

Characteristics of the study population

More than half of the study population (52%) was between 20 and 39 years old which demonstrates the young character of this adult population. The majority of the population (70%) resided in urban environment which is characterized by both westernized food practices and the predominance of overweight and obesity compared to rural areas. More than half of the population (52%) were women. A proportion of 35% of the population had a higher education level that is supposed to promote access to proper nutritional information (Table 1).

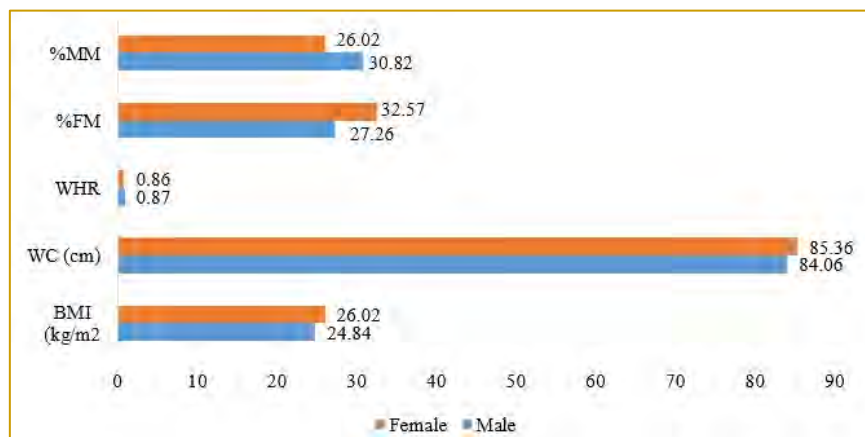
Anthropometric measures of the study population

Anthropometric measures showed that men have a normal BMI mean (24.84 kg/m²) while women have a BMI mean indicating overweight (26.02 kg/m²). The WC mean for men was 84.06 cm, indicating an absence of the CVMR while the WC mean for women was 85.36 cm, indicating the presence of a moderate CVMR. The WHR mean of men was 0.87, indicating an absence of CVMR, while for women it was 0.86, indicating the presence of CVMR. The %FM mean was 27.6% in men which is considered an excessive value, whereas the %FM mean was 32.57% among women indicating a normal value. Finally, the %MM mean of men is 30.82%, which is considered a deficit value, whereas among women this %MM mean is 26.02%, considered a normal value (Figure 1).

Table 1. Socio-demographic characteristics of the study population (n=507).

Characteristics		Values	CI (95%)
Age groups* (years)	[20 - 29]	142 (28%)	[23.9-32.0]
	[30 - 39]	121 (24%)	[20.3-27.4]
	[40 - 49]	101 (20%)	[16.6-23.3]
	[50 - 59]	80 (16%)	[12.6-18.9]
	≥ 60	63 (12%)	[9.5-15.4]
Sex*	Male	244 (48%)	[43.6-52.3]
	Female	263 (52%)	[47.7-56.4]
Area of residence*	Urban	355 (70%)	[66.0-74.0]
	Rural	152 (30%)	[26.0-33.0]
Professional activity *	Active	248 (49%)	[44.6-53.1]
	Inactive	259 (51%)	[46.9-55.4]
Education level*	Without	86 (17%)	[13.6-20.5]
	Preschool and primary	84 (17%)	[13.9-19.5]
	Secondary school	84 (17%)	[13.2-19.7]
	Qualifying secondary	73 (14%)	[11.6-17.4]
	Higher education	180 (35%)	[31.2-40.0]

*: Expressed in size (%); CI: Confidence interval.

**Figure 1.** Distribution of the study population by anthropometric measures and sex (n=507).

BMI: Body Mass Index; WC: Waist circumference; WHR: Waist to Hip ratio; %FM: Percentage of fat mass; %MM: Percentage of muscle mass.

Weight satisfaction of the study population

The majority of the study population (69%) reported being satisfied with their weight, while a 31% reported being dissatisfied. Of these, 20% said they wanted to lose weight because they felt overweight, and 11% said they wanted to gain weight because they thought they were underweight (Figure 2). These statements reflect perceptions that may not correspond to actual weight status and could therefore lead to inappropriate eating practices and lifestyle. Hence the need for comparisons between these statements and the rational anthropometric measures presented below.

Associations between the socio-demographic characteristics of the studied population and its anthropometric measures

Age had a significant association with BMI ($p<0.001$), WC ($p<0.001$), WHR ($p<0.001$), and %FM ($p<0.001$). The age group [20-29] years old had the lowest BMI, WC, WHR, and %FM, respectively, of 24.34 kg/m², 79.90 cm, 0.84, and 28.56%; by contrast, the age group [50-59] years old has the highest BMI, WC, WHR, and %FM corresponding respectively to 27.14 kg/m², 90.46 cm, 0.89, and 32.95%. Sex had a significant association with BMI ($p<0.001$), %FM ($p<0.001$), and %MM ($p<0.001$). The BMI and %FM were

higher in women than men's group (26.02 vs 24.84 kg/m²) and (32.5 vs 27.26%) respectively; by contrast, the %MM was higher in men than in women (30.82% vs 26.02 %). A significant association was found between area of residence and WHR (p=0.01) and %FM (p=0.006), with higher values in urban compared to rural areas for both WHR (0.87 vs 0.85) and %FM (30.55% vs 28.76%),

respectively. Education level had a significant association with BMI (p<0.001), WC (p<0.001), WHR (p<0.001), %FM (p<0.001), and %MM (p<0.007). The population with a higher education level had the lowest BMI and WC and higher %MM, respectively, 24.58 kg/m², 81.67 cm, and 29.17% (Table 2).

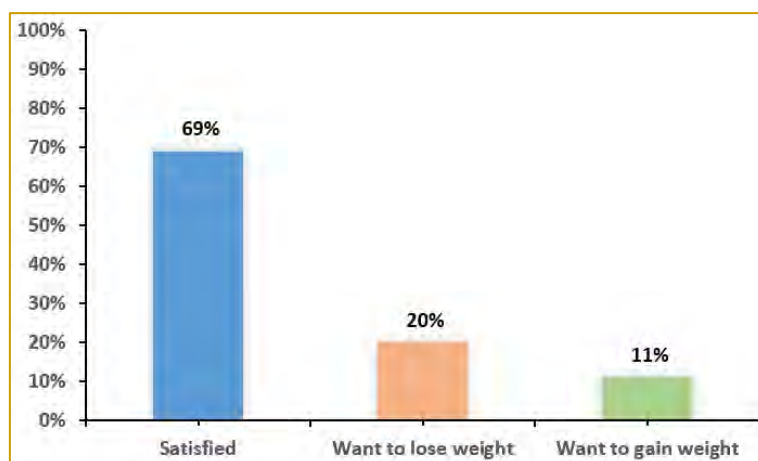


Figure 2. Distribution of the population according to satisfaction with its weight (n=507)

Table 2. Association of socio-demographic characteristics with anthropometric measures (n= 507).

Characteristics	BMI (kg/m ²)	WC (cm)	WHR	%FM	%MM
Age groups (years)					
[20 - 29]	24.34 (±3.29)	79.90 (±9.56)	0.84 (±0.08)	28.56 (±5.23)	28.64 (±5.82)
[30 - 39]	25.51 (±3.69)	82.88 (±12.73)	0.85 (±0.09)	28.64 (±6.18)	27.61 (±4.99)
[40 - 49]	25.48 (±3.24)	86.08 (±12.53)	0.87 (±0.09)	30.22 (±6.83)	29.24 (±5.77)
[50 - 59]	27.14 (±4.63)	90.46 (±14.26)	0.89 (±0.08)	32.95 (±7.85)	27.23 (±5.96)
≥ 60	25.66 (±4.78)	89.75 (±14.77)	0.88 (±0.07)	31.84 (±7.80)	28.97 (±7.02)
p ¹	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	0.08 NS
Gender					
Male	24.84 (±2.84)	84.06 (± 11.71)	0.87(±0.09)	27.26 (±4.59)	30.82 (±6.57)
Female	26.02 (±4.62)	85.36 (±14.11)	0.86 (±0.08)	32.57 (±7.44)	26.02 (±3.83)
p ²	0.001**	0.26 NS	0.1 NS	<0.001***	<0.001***
Area of residence					
Urban	25.57 (±4.17)	85.14 (±13.43)	0.87 (±0.08)	30.55 (±7.11)	28.58 (±6.39)
Rural	25.18 (±3.18)	83.78 (±11.98)	0.85 (±0.09)	28.76 (±5.71)	27.75 (±4.21)
p ²	0.3 NS	0.26 NS	0.01*	0.006**	0.14 NS
Education level					
Without	27.39 (±4.74)	94.98 (±12.80)	0.91 (±0.05)	34.23 (±7.97)	26.31 (±5.68)
Preschool and primary	26.22 (±4.31)	85.55 (±14.66)	0.86 (±0.11)	29.38 (±6.53)	28.48 (±5.65)
Secondary school	24.87 (±3.47)	82.39 (±11.60)	0.86 (±0.09)	30.15 (±7.28)	28.50 (±5.48)
Qualifying secondary	25.10 (±3.00)	81.99 (±10.21)	0.85 (±0.09)	28.12 (±5.43)	28.29 (±4.90)
Higher education	24.58(±3.40)	81.67 (±11.47)	0.86 (±0.08)	28.99 (± 5.64)	29.17 (±6.32)
p ¹	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	0.007**

Values expressed in mean (±standard deviation). 1: Student Test; 2: One Way Anova Test; significance level p<0.05; *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001; NS: Not Significant; BMI: Body Mass Index; WC: Waist circumference; WHR: Waist to Hip ratio; %FM: Percentage of fat mass; %MM: Percentage of muscle mass.

Associations between anthropometric measures and weight satisfaction

Multinomial logistic regression showed that BMI and WC were associated with the desire to lose weight. Indeed, in reference to being satisfied with one's weight, a unit increase of the BMI

increases the desire by 1.21 times, and increasing the WC by a unit increases this desire by 1.06 times. Also, BMI was associated with the desire to gain weight since its increase of one unit protects against this weight gain (Table 3).

Table 3. Associations of anthropometric measures with weight satisfaction

Variables	Satisfied ¹	Want to lose weight			Want to gain weight		
		OR	CI 95%	P ²	OR	CI 95%	P ²
BMI (kg/m ²)	-	1.21	[1.11-1.32]	<0.001**	0.81	[0.71-0.92]	<0.001**
WC (cm)	-	1.06	[1.02-1.10]	0.003*	0.99	[0.94-1.03]	0.61 NS
WHR	-	0.36	[0.12-1.50]	0.3 NS	2.97	[0.19-3.69]	0.16 NS
%FM	-	0.95	[0.91-1.10]	0.072 NS	1.02	[0.95-1.08]	0.62 NS
%MM	-	1.03	[0.97-1.08]	0.347NS	0.97	[0.92-1.03]	0.38 NS

(n = 507). R²<1; p<0.001. 1: Reference of multinomial regression; 2: Multinomial regression with significance level p<0.05; *: p<0.01, **: p<0.001; NS: Not Significant; OR: Odds Ratio; CI: Confidence interval; BMI: Body Mass Index; WC: Waist circumference; WHR: Waist to Hip ratio; %FM: Percentage of fat mass; %MM: Percentage of muscle mass.

Discussion

This research aimed to study associated factors with anthropometric measures and their relationships with weight satisfaction in an adult population. The results revealed an association between some socio-demographic characteristics such as age, sex, area of residence, and level of education and some anthropometric measures such as BMI, WC, WHR, and body composition in FM and MM (percentages). This study revealed a significant association of age with BMI, WC, WHR, and %FM, whose averages were higher in older versus younger participants. Similarly, a study conducted in Saudi Arabia found that significant trends were observed for BMI, waist circumference and fat mass based on age (Azzeh et al., 2017). In addition, other studies have shown an increase in the percentage of fat mass with age in both sexes (Bosomworth, 2019). Similarly, other investigations show that the means of all anthropometric measures increased with age (Belahsen, Mziwira and Fertat, 2004; Msyamboza, Kathyola and Dzowela, 2013). This study also revealed a significant association of sex with BMI and %FM, which are higher in women than in men. These findings are similar to those of a study reporting that overweight and obesity are more common in women than men (Simo et al., 2021), and to another study that revealing that for the same

BMI, the percentage of fat mass is higher in women than in men (Schorr et al., 2018).

This research also showed that the area of residence has a significant association with WHR and %FM, which were higher in urban than in rural areas. These results are consistent with those previously reported, indicating that overweight and obesity predominate in urban areas more than in rural ones (MSPS, 2018; Daif et al., 2021). In addition, other studies showed that the means of all anthropometric measures were higher in urban areas than in rural areas (Belahsen, Mziwira and Fertat, 2004; Msyamboza, Kathyola and Dzowela, 2013). Another study conducted in Cameroon also found a higher prevalence of overweight and obesity among adults and children in urban areas compared to rural regions (Akob et al., 2023). The present study also revealed a significant association between education level and BMI and WC values, which were lower in participants with higher education level than in illiterate ones. This result is consistent with an American study that found that tertiary graduates are less likely than secondary school graduates to be obese (Cohen et al., 2013). However, this result is contradictory to that reported by another study that found that the probabilities of overweight and obesity were higher in people with higher education level (Simo et al., 2021).

Regarding weight satisfaction, the present study revealed that the majority (69%) of the surveyed population were satisfied with their weight, 20% reported wanting to lose weight, and 11% wanted to gain weight. These results are consistent with those obtained by a great survey conducted in Belgium, which revealed that the majority of the population aged 10 to 64 years (45%) tries to maintain a stable weight, a smaller proportion (28%) tries to lose weight, and only a minority (3%) wants to gain weight (ISP, 2016). Another study that involved adult Moroccans from the Souss region and the Casablanca metropolitan area assessed the participants' perceptions of their bodies by comparing their desired and current weight status silhouettes. According to this study, half of the participants misjudged their current weight (Hibbi et al., 2016). The statistical analysis showed that increases in BMI and WC significantly increase the desire to lose weight, indicating a concordance between the results of objective anthropometric measurements and the perception of population weight status. However, measurement of height and weight should be performed as much as possible to optimize measurements in clinical practice and clinical research (Haghighian Roudsari et al., 2015). The desire to lose weight generally motivates the efforts to adapt diet and physical activity and to adopt other medical or surgical therapies, as well as alternative medicine therapies (Sarwer and Polonsky, 2016). Therefore, the population must be able to adopt healthy practices and choose appropriate and safe therapies.

Conclusion

The reported data highlights an association of socio-demographic factors with different anthropometric measures in the study adult population. The identification of these factors is very useful for guiding actions in order to prevent and manage overweight, obesity, and cardiovascular and metabolic diseases. This research also showed that the satisfaction or not of the population with its weight and hence the adopted attitudes are not always consistent with rational and objective anthropometric measures. Indeed, apart from BMI

and WC, the other measures such as WHR, %FM, and %MM did not show a positive relationship with dissatisfaction with weight. Hence the importance of raising awareness to take these measures regularly.

Acknowledgments

The authors present their heartfelt thanks to the Wilaya and the Regional Directorate of Health in the Rabat-Sale'-Kenitra region for having authorized the carrying out of this study.

Conflicts of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Funding sources

This study did not receive any funding.

References

- Akob F.A., Pillay K., Wiles N., Siwela M. (2023). A comparative study of the anthropometric status of adults and children in urban and rural communities of the North West Region of Cameroon. *BMC Nutr* 9(1): 81. doi: <https://doi.org/10.1186/s40795-023-00734-9>.
- Azzeh F.S., Bukhari H.M., Header E.A., Ghabashi M.A., Al-Mashi S.S., Noorwali, N.M. (2017). Trends in overweight or obesity and other anthropometric indices in adults aged 18-60 years in western Saudi Arabia. *Ann Saudi Med* 37(2): 106-113. doi: <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2017.106>.
- Barakat I., Elayachi M., Belahsen R. (2022). Validation of conceptual and methodological framework for the study of dietary practices and nutritional status of an adult population. *Rocz Panstw Zakl Hig* 73(2): 199-207. doi: <https://doi.org/10.32394/rpzh.2022.0211>.
- Belahsen R., Mziwira M., Fertat F. (2004). Anthropometry of women of childbearing age in Morocco: body composition and prevalence of overweight and obesity. *Public Health Nutr* 7(4): 523-530. doi: <https://doi.org/10.1079/PHN2003570>.

- Blake C.E., Hébert J.R., Lee D.C., Adams S.A., Steck S.E., Sui X., et al. (2013). Adults with greater weight satisfaction report more positive health behaviors and have better health status regardless of BMI. *J Obes* 2013(1): 291371. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/291371>.
- Blondé-Cynober F., Aussel C. (2006). Évolution en 20 ans de l'exploration de l'état nutritionnel. *Nutr Clin Metab* 20: S17-S21. doi: [https://doi.org/10.1016/S0985-0562\(06\)80017-8](https://doi.org/10.1016/S0985-0562(06)80017-8).
- Bosomworth N.J. (2019). Obésité centrale malgré un poids normal. *Can Fam Physician* 65(6): e251-e260.
- Buckinx F., Landi F., Cesari M., Fielding R.A., Visser M., Engelke K., et al. (2018). Pitfalls in the measurement of muscle mass: a need for a reference standard. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 9(2): 269-278. doi: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12268>.
- Campos del Portillo R., Palma Milla S., García Vázquez N., Plaza López B., Bermejo López L., Riobó Serván P., García-Luna P.P., Gómez-Candela C. (2015). Assessment of nutritional status in the healthcare setting in Spain. *Nutr Hosp* 31(3): 196-208. doi: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8767>.
- Casadei K., Kiel J. (2020). Anthropometric Measurement. StatPearls. Treasure Island (FL). StatPearls Publishing LLC.
- Cohen A.K., Rehkopf D.H., Deardorff J., Abrams B. (2013). Education and obesity at age 40 among American adults. *Soc Sci Med* 78:34-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2012.11.025>.
- Daif H., Chamlal H., Barakat I., El Ayachi M., Belahsen R. (2021). Nutritional status of sub-Saharan residents in the city of El Jadida - Morocco: weight in relation to socio-economic status. *Rocz Panstw Zakl Hig* 72(4): 409-418. doi: <https://doi.org/10.32394/rpzh.2021.0184>.
- Damluji A.A., Alfaraidhy M., Al-Hajri N., Rohant N.N., Kumar M., Al-Malouf C. (2023). Sarcopenia and cardiovascular diseases. *Circulation* 147(20): 1534-1553. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.123.064071>.
- De Danne A., Siboni K. (2009). Commission pour la prévention et la prise en charge de l'obésité. Rapport au Président de la République.
- Duncan D.T., Wolin K.Y., Scharoun-Lee M., Ding E.L., Warner E.T., Bennett G.G. (2011). Does perception equal reality? Weight misperception in relation to weight-related attitudes and behaviors among overweight and obese US adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 8: 1-9. doi: <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-20>.
- Gillen M.M. (2015). Associations between positive body image and indicators of men's and women's mental and physical health. *Body Image* 13: 67-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bodyim.2015.01.002>.
- Han T.S., Seidell J.C., Currall J.E., Morrison C.E., Deurenberg P., Lean M.E. (1997). The influences of height and age on waist circumference as an index of adiposity in adults. *Int J Obes* 21: 83-90. doi: <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0800371>.
- Haghighian Roudsari A., Vedadhir A., Kalantari N., Amiri P., Omidvar N., Eini-Zinab H., Pouri Hosseini S. F. A. (2015). Concordance between self-reported body mass index with weight perception, self-rated health and appearance satisfaction in people living in Tehran. *J Diabetes Metab Disord* 15: 1-9. doi: <https://doi.org/10.1186/s40200-016-0244-8>.
- Heymsfield S.B., Brown J., Ramirez S., Prado C.M., Tinsley G.M., Gonzalez M.C. (2024). Are lean body mass and fat-free mass the same or different body components? A critical perspective. *Adv Nutr* 15(12): 100335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100335>.
- Hibbi N., Derouiche A., Belhouari A., Delpeuch F. (2016). Effet de l'ethnie et de l'urbanisation sur la prévalence de l'obésité et la perception du corps dans une population de Souss (Maroc). *Nutr Clin Métab* 30(3): 271-272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nupar.2016.09.115>.
- Holmes C.J., Racette S.B. (2021). The utility of body composition assessment in nutrition and clinical practice : an overview of current methodology. *Nutrients* 13(8): 2493. doi: <https://doi.org/10.3390/nu13082493>.

- ISP (Belgique). (2016). Enquête de consommation alimentaire 2014-2015. Belgique: Institut Scientifique de Santé Publique. Report n° D/2016/2505/51.
- Jacobs E. J., Newton C. C., Wang Y., Patel A. V., McCullough M. L., Campbell P. T., et al. (2010). Waist circumference and all-cause mortality in a large US cohort. *Arch Intern Med* 170(15): 1293-1301. doi: <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2010.201>.
- Messiah S. (2020). Body Composition. In M.D. Gellman (Ed.). *Encyclopedia of Behavioral Medicine*: 276-278. Springer International Publishing. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39903-0_728.
- MSPS (Ministère de la Santé et de la Protection Sociale – Maroc). (2018). Enquête Nationale sur la Population et la Santé Familiale (ENPSF 2018).
- Msyamboza K.P., Kathyola D., Dzowela T. (2013). Anthropometric measurements and prevalence of underweight, overweight and obesity in adult Malawians: nationwide population based NCD STEPS survey. *Pan Afr Med J* 15: 108. doi: <https://doi.org/10.11604/pamj.2013.15.108.2622>.
- Omron Healthcare. (2020). Mode d'emploi du moniteur de composition corporelle BF 214 (IM-HBF-214-EBW-06-01/2020). <https://www.manualslib.fr/manual/400620/Omron-Bf214.html>.
- Oppert J.M. (2003). Obésités: quelles mesures pour les « phénotypes » à risque cardiovasculaire ?. *Sang Thromb Vaiss* 15(9): 551-556.
- Rounsefell K., Gibson S., McLean S., Blair M., Molenaar A., Brennan L., Truby H., McCaffrey T.A. (2020). Social media, body image and food choices in healthy young adults: A mixed methods systematic review. *Nutr Diet* 77(1): 19-40. doi: <https://doi.org/10.1111/1747-0080.12581>.
- Saccoun E. (2008). Marqueurs biochimiques de l'état nutritionnel. Masson. Elsevier.
- Sarwer D.B., Polonsky H.M. (2016). Body Image and Body Contouring Procedures. *Aesthet Surg J* 36(9): 1039-1047. doi: <https://doi.org/10.1093/asj/sjw127>.
- Schorr M., Dichtel L.E., Gerweck A.V., Valera R.D., Torriani M., Miller K.K., Bredella M.A. (2018). Sex differences in body composition and association with cardiometabolic risk. *Biol Sex Differ* 9(1): 28. doi: <https://doi.org/10.1186/s13293-018-0189-3>.
- Simo L.P., Agbor V.N., Temgoua F.Z., Fozou L.C.F., Bonghaseh D.T., Mbonda A.G.N., Yurika R., Dotse-Gborgbortsi W., Mbanya D. (2021). Prevalence and factors associated with overweight and obesity in selected health areas in a rural health district in Cameroon : a cross-sectional analysis. *BMC Public Health* 21(1): 475. doi: <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10403-w>.
- Tsigos C., Hainer V., Basdevant A., Finer N., Fried M., Mathus-Vliegen E., et al. (2008). Management of obesity in adults: European clinical practice guidelines. *Obes Facts* 1(2): 106-116. doi: <https://doi.org/10.1159/000126822>.
- Walowski C.O., Braun W., Maisch M.J., Jensen B., Peine S., Norman K., Müller M.J., Bosy-Westphal A. (2020). Reference values for skeletal muscle mass – Current concepts and methodological considerations. *Nutrients* 12(3): 755. doi: <https://doi.org/10.3390/nu12030755>.
- Weir C.B., Jan A. (2023). BMI Classification Percentile And Cut Off Points. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
- WHO (World Health Organization). (2000). Obesity: preventing and managing the global epidemic : report of a WHO consultation. Genève. 253 p.
- WHO (World Health Organization). (2014). International Classification of adult underweight, overweight and obesity according to BMI. http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html.

Detección de la tuberculosis en restos humanos antiguos: revisión narrativa desde la paleopatología y la paleogenómica

José Mauricio Hernández-Sarmiento^{1,2}, Diana Marcela Berrio Galeano² y Timisay Monsalve-Vargas²

¹Escuela de Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.

²Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense, Programa de Antropología, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

*Corresponding Author: hernandez.sarmiento@udea.edu.co

RESUMEN

Esta revisión narrativa examina los principales métodos empleados para detectar tuberculosis en restos humanos antiguos, destacando su valor para comprender la evolución y dispersión histórica del Complejo de *Mycobacterium tuberculosis*. Se integran hallazgos relevantes provenientes de la literatura científica en paleopatología y paleogenómica, abordando enfoques macroscópicos, microscópicos, moleculares y bioquímicos. Aunque lesiones esqueléticas como la enfermedad de Pott o la osteoartropatía hipertrófica pueden sugerir tuberculosis, el diagnóstico confiable exige técnicas de biología molecular y análisis de biomarcadores lipídicos específicos. Se discuten avances recientes en la recuperación y amplificación de ácido desoxirribonucleico antiguo altamente degradado, así como en la identificación del Complejo de *Mycobacterium tuberculosis* mediante reacción en cadena de la polimerasa dirigida, tipificación mediante espaciadores oligonucleotídicos, análisis de polimorfismos genéticos y estudios metagenómicos. La detección de ácidos micólicos y micocerosicos mediante cromatografía líquida complementa estos métodos, especialmente cuando no es posible recuperar material genético. Esta integración ha permitido identificar infecciones subclínicas, coinfecciones y adaptaciones del Complejo de *Mycobacterium tuberculosis* a diversos contextos ecológicos y humanos. Se concluye que un abordaje multidisciplinar incrementa la sensibilidad diagnóstica y ofrece una base sólida para reconstruir la historia evolutiva, la diversidad genética y el impacto biosocial de la tuberculosis en poblaciones pretéritas.

Palabras clave:

Complejo *Mycobacterium
Tuberculosis* (MTBC)
ADN antiguo
Bioarqueología
Paleopatología

Recibido: 14-04-2025

Aceptado: 02-06-2025

ABSTRACT

This narrative review examines the main methods used to detect tuberculosis in ancient human remains, highlighting their value for understanding the historical evolution and spread of the *Mycobacterium tuberculosis* complex. Relevant findings from the scientific literature in paleopathology and paleogenomics are integrated, addressing macroscopic, microscopic, molecular, and biochemical approaches. Although skeletal lesions such as Pott's disease or hypertrophic osteoarthropathy may suggest tuberculosis, reliable diagnosis requires techniques from molecular biology and the analysis of specific lipid biomarkers. Recent advances are discussed in the recovery and amplification of highly degraded ancient deoxyribonucleic acid, as well as in the identification of the *Mycobacterium tuberculosis* complex through targeted polymerase chain reaction, spacer oligonucleotide typing, genetic polymorphism analysis, and metagenomics. The detection of mycolic and mycocerosic acids using liquid chromatography complements these methods, particularly when deoxyribonucleic acid cannot be recovered. This methodological integration has enabled the identification of subclinical infections, coinfections, and adaptations of the *Mycobacterium tuberculosis* complex to various ecological and human contexts. It is concluded that a multidisciplinary approach increases diagnostic sensitivity and provides a robust foundation for reconstructing the evolutionary history, genetic diversity, and biosocial impact of tuberculosis in past populations.

Keywords:

Mycobacterium Tuberculosis
Complex (MTBC)
Ancient DNA
Bioarchaeology
Paleopathology

Introducción

La tuberculosis (TB) sigue siendo una de las principales preocupaciones de salud pública a nivel mundial. Según el informe más reciente de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2024), en 2023 se registraron aproximadamente 10.8 millones de nuevos casos y 1.25 millones de muertes asociadas, lo que la posiciona como la enfermedad infecciosa más letal a nivel global (WHO, 2024). Su persistencia, especialmente en países de bajos y medianos ingresos, subraya la importancia de comprender su origen, evolución y patrones de transmisión para diseñar estrategias de control más efectivas.

El estudio de TB en restos humanos antiguos proporciona una vía única para rastrear la historia evolutiva del patógeno y analizar su impacto en distintas poblaciones a lo largo del tiempo. Métodos como la observación macroscópica de lesiones, el análisis de ADN antiguo (aADN) y la detección de biomarcadores lipídicos permiten identificar la presencia del Complejo de *Mycobacterium tuberculosis* (MTBC) incluso en ausencia de evidencia esquelética visible (HersHKovitz et al., 2008; Lee et al., 2015, 2023; Luna et al., 2020). Estos enfoques han sido clave para reconstruir la epidemiología de la TB en diversos contextos arqueológicos (Lombardi y García Cáceres, 2000; Zink et al., 2003a; Jaeger et al., 2012;). Este tipo de revisión resulta especialmente pertinente, ya que permite integrar los avances metodológicos más relevantes en el diagnóstico paleopatológico de la TB. La articulación entre enfoques macroscópicos, moleculares y bioquímicos ofrece una visión más precisa sobre la prevalencia, evolución y adaptación del MTBC en distintas épocas y regiones. Además, este conocimiento histórico aporta modelos útiles para entender la dinámica de transmisión del patógeno, con implicaciones valiosas para la salud pública actual.

Esta revisión tiene como objetivo analizar los principales métodos utilizados para detectar TB en restos óseos humanos antiguos, desde los hallazgos morfológicos hasta las técnicas moleculares y la identificación de biomarcadores lipídicos. Asimismo, se discuten los desafíos metodológicos en contextos arqueológicos y se presentan casos representativos que han contribuido a la comprensión de la distribución y evolución histórica del MTBC.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo búsquedas electrónicas sin restricciones de idioma ni fecha en bases como PubMed, Embase, Scopus, Anthropological Index y Google Scholar. Se utilizaron descriptores *Medical Subject Headings* (MeSH) y términos libres relacionados con la TB antigua, restos óseos, diagnóstico molecular y biomarcadores lipídicos. Se incluyeron estudios originales que documentaran hallazgos morfológicos, moleculares o bioquímicos MTBC en contextos arqueológicos, priorizando aquellos con aportes metodológicos relevantes. No se aplicaron criterios sistemáticos de inclusión ni evaluación formal de calidad, dado que el enfoque fue interpretativo y exploratorio, más que exhaustivo.

Resultados y Discusión

En el proceso de revisión se identificaron 1132 artículos a partir de las búsquedas realizadas en las bases de datos consultadas y se seleccionaron finalmente 46 estudios que cumplieron con los requisitos temáticos establecidos. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes extraídos de la literatura analizada.

Patogénesis y propagación de la tuberculosis

La TB, causada por *Mycobacterium tuberculosis* (MTB), se transmite por vía aérea mediante la inhalación de aerosoles generados por la tos, estornudos o la saliva de personas infectadas. Una vez inhalado, el bacilo se aloja en los alvéolos pulmonares, donde es fagocitado por macrófagos, iniciando la formación del complejo primario o complejo de Ghon (Cambier, Falkow y Ramakrishnan, 2014). En la mayoría de los casos, el sistema inmune controla la infección, dando lugar a una forma latente que puede reactivarse años después, especialmente ante condiciones de inmunosupresión (Palanivel et al., 2023). La reactivación del bacilo o una nueva exposición pueden dar lugar a la TB secundaria, fase en la que la diseminación del microorganismo a otros órganos se torna más probable, afectando tejidos blandos e incluso estructuras óseas (Waldron, 2009). En paleopatología, es precisamente en esta fase donde las lesiones óseas características se hacen visibles. Dentro

de estas manifestaciones secundarias, se destacan tres tipos de afectación ósea principales: TB vertebral (enfermedad de Pott), TB osteomielítica y TB artrítica (Spekker et al., 2018).

Evidencia paleopatológica de la tuberculosis: identificando lesiones esqueléticas de la enfermedad

Aunque la TB afecta principalmente a los pulmones, su forma extra-pulmonar puede comprometer el sistema esquelético en aproximadamente el 3 % al 5 % de los casos no tratados (Waldron, 2009; Andersson, 2021). Esta proporción varía según el contexto histórico, con mayor prevalencia en niños en ciertos entornos. Por ejemplo, se ha reportado una tasa del 12 % en población infantil hospitalizada en sanatorios durante las décadas de 1930 y 1950 (Roberts y Bernard, 2015). Los cambios óseos resultan del establecimiento de tejido inflamatorio granulomatoso, que muestra predilección por estructuras altamente vascularizadas. Desde la perspectiva paleopatológica, estas manifestaciones pueden dividirse en dos grandes grupos: *Minor Osseous Lesions Attributable to Tuberculosis* (MOLAT), que en español puede traducirse como "lesiones óseas menores atribuibles a TB" y las formas avanzadas. Las MOLAT incluyen alteraciones como la aposición periosteal en la cara visceral de costillas, evidencia de hipervascularización en cuerpos vertebrales, cambios endocraneales y osteoartropatía hipertrófica. Aunque su interpretación diagnóstica sigue en debate, su presencia combinada puede sustentar la sospecha de TB en ausencia de destrucción ósea severa (Santos y Roberts, 2001).

Entre las formas avanzadas, la afectación costal y vertebral son las más características. Las costillas muestran formación de hueso nuevo periosteal en su superficie visceral, asociada a TB pulmonar activa. Estas alteraciones se han documentado desde contextos neolíticos en Hungría hasta restos de neandertales, reflejando la larga historia evolutiva de la enfermedad (Nicklisch et al., 2012; Masson et al., 2015; Lee et al., 2023). La enfermedad de Pott es la manifestación vertebral más reconocida, afectando la región anterior de los cuerpos vertebrales con colapso, fusión y deformidades angulares (Viswanathan y Subramanian, 2023). Aunque habitualmente no se ven más de cuatro vértebras afectadas, esta no es una regla estricta, ya que

también se han descrito lesiones en porciones posteriores (Holloway et al., 2013).

Además, se ha registrado osteopatía hipertrófica pulmonar (OHP), secundaria a infecciones respiratorias crónicas como la TB. Un caso notable corresponde a un individuo de unos 7.000 años hallado en Hungría, con extensa reacción periosteal (Masson et al., 2015). También se han reportado afectaciones craneales, especialmente en coinfecciones o diseminación meníngea (Donoghue et al., 2005), así como osteomielitis tuberculosa en sitios húngaros (Pósa et al., 2015).

La TB articular afecta principalmente la cadera y la rodilla, representando entre el 15 % y el 30 % y entre el 10 % y 20 % de los casos no espinales, respectivamente (Holloway et al., 2013). Estas manifestaciones se caracterizan por destrucción articular con escasa neoformación ósea, aunque se han documentado casos con formación ósea reactiva asociada a procesos de curación prolongada (Mays et al., 2001).

El diagnóstico diferencial de los signos de afectación tuberculosa es complejo, ya que otras patologías infecciosas, degenerativas o neoplásicas pueden generar alteraciones similares. Fracturas por compresión, artritis piógena o reumatoide, brucelosis, histoplasmosis, nódulos de Schmorl y tumores óseos deben considerarse antes de establecer una atribución definitiva (Ortner, 2003; Dangvard Pedersen, 2016). La confiabilidad del diagnóstico depende de la distribución anatómica, el patrón de destrucción, la ausencia de esclerosis marginal y la combinación de varios indicadores.

Técnicas bacteriológicas y microscópicas para la detección de TB en restos óseos antiguos

En paleopatología, el uso de técnicas microscópicas e histológicas, junto con métodos bacteriológicos, ha contribuido a la identificación de infecciones antiguas como la TB. Sin embargo, su aplicación presenta limitaciones metodológicas. El aislamiento por cultivo, común en microbiología clínica, suele ser ineficaz en tejidos arqueológicos debido a la pérdida de viabilidad bacteriana (Salo et al., 1994). Además, la contaminación postmortem por microorganismos ambientales puede interferir en los resultados (Tsokos y Püschel, 2001). Las alteraciones

histológicas, como la formación de hueso nuevo o las reacciones periosteales, no son exclusivas de la TB y pueden asociarse a otras enfermedades o condiciones ambientales, por lo que su interpretación requiere el apoyo de métodos complementarios, especialmente moleculares (Morris, Harrison y Partridge, 2006). Un ejemplo destacado es el estudio de Lombardi y García Cáceres (2000) en una momia precolombina de la cultura Nasca (Perú), en el cual se identificó TB multisistémica mediante un enfoque integral que combinó análisis anatomo-radiológicos, bacteriológicos, moleculares y paleo-epidemiológicos. La observación de bacilos ácido-alcohol resistentes (BAAR) en tejidos pleuro-pulmonares mediante microscopía electrónica de transmisión, junto con la detección del marcador IS6110, confirmó la infección. Los autores propusieron una alta prevalencia de TB en la costa sur de Perú y norte de Chile antes del contacto europeo, posiblemente intensificada por urbanización y prácticas pastoriles.

Otro caso relevante es el de Nicklisch et al. (2012), quienes identificaron TB en restos neolíticos de Alemania central. A través de histología y microtomografía computarizada (micro-CT), se detectaron lesiones costales y vertebrales compatibles con TB, que posteriormente fueron confirmadas por análisis moleculares. Este estudio relaciona la aparición de la enfermedad con cambios sociales como el sedentarismo, la agricultura y la domesticación de animales. Estos hallazgos subrayan el valor de las técnicas microscópicas y bacteriológicas como herramientas complementarias en el diagnóstico paleopatológico de la TB, destacando la necesidad de enfoques interdisciplinarios para aumentar la confiabilidad diagnóstica en contextos arqueológicos.

Análisis Biomoleculares para la Detección de aADN del MTBC

Extracción de aADN

La identificación molecular de MTB en contextos arqueológicos depende de la recuperación eficiente de aADN, un material altamente fragmentado y vulnerable a la degradación química y contaminación exógena (Hershkovitz et al., 2008; Masson et al., 2015). Tras la muerte del organismo, el ADN queda expuesto a procesos hidrolíticos y oxidativos, generando errores de replicación que dificultan su análisis (Dabney,

Meyer y Paabo, 2013). Su conservación mejora significativamente en climas fríos.

La proporción de ADN endógeno suele ser inferior al 10 % del metagenoma total, y el de patógenos antiguos representa menos del 0,5 % (Warinner et al., 2017). Por ello, la extracción requiere condiciones rigurosamente controladas, limpieza mecánica y química de las muestras, y protocolos libres de contaminación (Hershkovitz et al., 2008).

Los protocolos convencionales incluyen descalcificación con EDTA, digestión con proteinasa K y purificación con columnas de sílice o precipitación con isopropanol, a menudo complementados con tampones líticos y sales caotrópicas. En casos de ADN altamente dañado, se ha utilizado bromuro de N-fenaciltiolum (PTB) para romper enlaces cruzados (Masson et al., 2015). Protocolos recientes han mejorado notablemente la eficiencia. Carøe et al. (2018) desarrollaron el método BEST, que prescinde de purificación intermedia y emplea desnaturalización térmica, lo que reduce la pérdida de fragmentos. Maixner et al. (2022) propusieron una técnica basada en poliacrilamida lineal (LPA) y etanol sin sal, permitiendo recuperar fragmentos tan pequeños como 20 pb incluso en muestras inhibidas.

En el estudio de Jäger et al. (2022), se aplicó una variante del protocolo de Maixner et al. (2022) a restos óseos de una partera húngara del siglo XVIII con sospecha de coinfección TB-sífilis. El protocolo incluyó descalcificación extendida con EDTA y proteinasa K, seguida de disrupción mecánica intensiva (perlas de granate y congelación en nitrógeno líquido). La purificación mediante cloroformo-isoamilo y etanol con LPA permitió recuperar fragmentos ultracortos de MTB, incluso desde fases orgánicas. Este enfoque ha demostrado ser eficaz en contextos de preservación comprometida y representa un avance relevante para estudios paleogenómicos en TB.

Identificación molecular de aADN del MTBC

Desde los años noventa, la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) ha sido fundamental en la detección de MTB en restos antiguos, al permitir la amplificación de regiones específicas del ADN. La visualización de estos fragmentos se realiza mediante electroforesis, mientras que la identidad de las secuencias amplificadas es confirmada posteriormente

mediante secuenciación tipo Sanger (Zink et al., 2007). Sin embargo, su requerimiento de fragmentos relativamente largos (>70 pb) y conocimiento previo del patógeno limita su utilidad en ADN degradado (Arriaza et al., 1995).

En el caso de la TB, la amplificación por PCR de las secuencias de inserción *IS6110* e *IS1081* han sido ampliamente utilizadas por su alta especificidad y número de copias en el genoma del MTBC (Masson et al., 2015). En Hungría, estas secuencias permitieron identificar infecciones desde el Neolítico hasta el siglo XVIII (Masson et al., 2013; Szikossy et al., 2015), y en América del Sur se ha detectado TB precolombina incluso sin lesiones óseas visibles (Baron, Hummel y Herrmann, 1996; Zink et al., 2003a). Sin embargo, la especificidad de *IS6110* ha sido cuestionada, ya que se han identificado secuencias similares en micobacterias no tuberculosas (MNT) capaces de inducir lesiones óseas (Müller, Roberts y Brown, 2015). Por ello, se recomienda interpretar estos hallazgos con cautela y junto con otros marcadores y evidencia paleopatológica.

El uso de *single nucleotide polymorphisms* (SNPs) representa una alternativa complementaria de alta especificidad, útil para distinguir especies dentro del MTBC. En particular, mutaciones en los genes *katG* y *gyrA* permiten clasificar las cepas en cuatro grupos genéticos principales, según polimorfismos en los codones 463, 203 (*katG*) y 95 (*gyrA*) (Witas et al., 2015). Otros marcadores como *rpoB*, asociado a resistencia a rifampicina, y *oxyR*, inactivado en MTB, pero funcional en *M. bovis*, también han sido aplicados para aumentar la especificidad diagnóstica (Taylor et al., 1999). Esta integración de múltiples marcadores ha enriquecido los estudios paleogenómicos, permitiendo rastrear la evolución, dispersión y diversidad genética del complejo MTBC a lo largo de la historia humana.

Adicional a lo anterior, los avances en técnicas de secuenciación, *spoligotyping* y análisis metagenómico han permitido caracterizar con mayor precisión los linajes del MTBC en restos humanos antiguos, aportando evidencia clave sobre su evolución, transmisión y diversidad genética. Zink et al. (2003b) aplicaron *spoligotyping* a momias egipcias y detectaron ADN de MTB en la mayoría de las muestras, sin presencia de *M. bovis*, lo que sugiere una transmisión predominantemente humana en ese contexto.

Adicionalmente, se identificaron patrones compatibles con *M. africanum*, reforzando la diversidad histórica del complejo MTBC.

Por otro lado, el estudio de Bos et al. (2014) analizó genomas antiguos de esqueletos precolombinos y encontró que estos genomas estaban estrechamente relacionados con *Mycobacterium pinnipedii*, un linaje adaptado a mamíferos marinos como focas y leones marinos. Estos hallazgos desafían la noción tradicional de que la TB en las Américas se introdujo exclusivamente por los colonizadores europeos. El análisis genómico mostró que los genomas antiguos compartían 76 SNPs con cepas modernas de *M. pinnipedii* y presentaban signos de adaptación, incluyendo cinco SNPs únicos que indican una posible presión selectiva positiva. Estos hallazgos sugieren que las adaptaciones específicas al huésped y la diseminación de la TB podrían haber ocurrido entre el 700 y el 1.000 d.C. Entender estos orígenes zoonóticos y los procesos de adaptación puede ofrecer nuevas perspectivas sobre la interacción entre patógenos y huéspedes y la evolución de enfermedades infecciosas (Bos et al., 2014).

Dawson-Hobbis, Taylor y Stewart (2021) documentaron un caso de TB infantil en la Inglaterra medieval tardía, confirmado mediante análisis osteológicos y amplificación molecular de los elementos *IS6110* y *mtp40*. El ADN recuperado correspondía al linaje 4 (Euro-Americano), caracterizado por una delección de siete pares de bases en el locus *pks15/1*, que afecta la producción de ciertos lípidos patogénicos. La identificación de esta cepa sugiere una amplia diseminación del linaje durante el periodo medieval. Estos resultados fueron soportados por la presencia de lesiones óseas que incluyeron afectación del cráneo, indicando una infección crónica diseminada, posiblemente a través del sistema linfático y sanguíneo, compatible con meningitis tuberculosa. Este hallazgo aporta una visión valiosa sobre la patogénesis de la TB infantil de la época medieval, así como su impacto en la salud y desarrollo de los niños afectados.

En continuidad con el estudio mencionado anteriormente, Jäger et al. (2022) también realizaron un análisis metagenómico en restos de una partera húngara del siglo XVIII, revelando una coinfección con dos sublinajes distintos de MTB: L4.1.2.1/Haarlem y

L4.10/PGG3. Esta infección mixta podría estar relacionada con la inestabilidad social y demográfica de la comunidad de Vác tras la ocupación turca, incendios, la llegada de migrantes de regiones como Alemania, Chequia y Moravia, junto con las condiciones de vida precarias, favorecieron la circulación prolongada de TB. La detección de múltiples cepas en un solo individuo sugiere que la coinfección no es un fenómeno exclusivo de contextos modernos, y evidencia procesos históricos de transmisión compleja y adaptación del patógeno. Los hallazgos de estos estudios no solo enriquecen nuestra comprensión de la epidemiología histórica de la TB, sino que también proporcionan una base para estudios futuros sobre la evolución y control de esta enfermedad.

Biomarcadores lipídicos para la identificación de TB en restos humanos

Además del análisis de aADN, la detección de MTB en contextos arqueológicos ha avanzado mediante el uso de biomarcadores lipídicos específicos de su envoltura celular. Esta estructura, compuesta por una matriz de péptidoglicano-arabinogalactano esterificada con ácidos micólicos y asociada a lípidos “libres”, varía entre especies micobacterianas, lo que permite su uso como marcadores diagnósticos y evolutivos (Lee et al., 2015, 2023; Donoghue, 2016). Los ácidos micólicos, principales componentes de dicha envoltura, son ácidos grasos β -hidroxilados con anillos de ciclopropano, grupos metoxi y cetonas. Se clasifican en formas alfa (>70 %), metoxi y cetomicólicas (10–15 %) (Takayama, Wang y Besra, 2005). Su alta estabilidad química favorece su preservación a largo plazo, convirtiéndolos en herramientas valiosas para el estudio de la TB cuando el ADN está degradado.

A diferencia de las técnicas de amplificación genética, los biomarcadores lipídicos pueden detectarse directamente mediante métodos físico-químicos. Entre estos, la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés *High-Performance Liquid Chromatography*), ha sido ampliamente utilizada en contextos arqueológicos. Por ejemplo, en momias del siglo XVIII de Vác, Hungría, se utilizó la HPLC acoplada a ionización por electropulverización térmica en tándem con espectrometría de masas (HPLC-HESI-MS), lo que permitió identificar ácidos micocerosicos específicos del MTBC y confirmar

infecciones tuberculosas en un contexto históricamente documentado (Váradi et al., 2021). Asimismo, Lee et al. (2023) identificaron biomarcadores lipídicos asociados a MTB en restos neandertales de la cueva Subalyuk, lo cual respalda la hipótesis de que la TB ya circulaba en Eurasia antes de la llegada de los humanos modernos. Otro estudio relevante es el de Luna et al. (2020), en el asentamiento neolítico de Atlit-Yam (Israel), donde se combinaron análisis de aADN y biomarcadores lipídicos. La detección de MTB en individuos de hace 9000 años sugiere que la TB pudo haber emergido o proliferado en poblaciones agrícolas densamente asentadas, aportando nuevas perspectivas sobre su evolución y adaptación al ser humano.

Aunque los estudios que aplican biomarcadores lipídicos son menos numerosos que los moleculares, su valor diagnóstico es considerable, especialmente cuando otras técnicas no arrojan resultados concluyentes. Su resistencia a la degradación, su especificidad estructural y su capacidad para evidenciar infecciones antiguas sin requerir ADN intacto los posicionan como herramientas complementarias clave en la reconstrucción de la paleoepidemiología de la TB.

Implicaciones y direcciones futuras

El estudio de la TB en restos óseos antiguos ha sido clave para el desarrollo de la paleopatología, al permitir no solo identificar la expresión esquelética de la enfermedad, sino también reconstruir condiciones de vida, y dinámicas sociales de poblaciones pretéritas. Se destaca la necesidad de enfoques metodológicos integradores que combinen observación morfológica, análisis de aADN y detección de biomarcadores lipídicos. Esta convergencia ha sido crucial para identificar infecciones subclínicas y trazar la evolución del MTBC a lo largo del tiempo (Hershkovitz et al., 2008; Masson et al., 2013; Lee et al., 2015, 2023; Witas et al., 2015; Luna et al., 2020). Para avanzar en esta línea, resulta prioritario mejorar la calidad de las muestras, estandarizar protocolos analíticos y fomentar equipos interdisciplinarios con antropólogos, paleopatólogos, genetistas y bioinformáticos. Además, se sugiere incorporar variables ambientales y socioculturales, como urbanización o domesticación animal, al análisis de la prevalencia histórica, dado su impacto en la transmisión del patógeno.

Líneas emergentes como el análisis de polimorfismos en genes inmunológicos, como el receptor de vitamina D e interleuquinas ofrecen nuevas vías para estudiar patrones históricos de susceptibilidad o resistencia frente al MTBC. Asimismo, las tecnologías metagenómicas han revolucionado el campo al permitir la detección de múltiples patógenos en muestras degradadas, sin requerir hipótesis previas. Su uso facilita la identificación de coinfecciones, la reconstrucción de genomas antiguos y la estimación de tasas evolutivas (Warinner et al., 2017; Maixner et al., 2022). Finalmente, el estudio conjunto de TB con otras enfermedades infecciosas, como la lepra, permite comprender con mayor profundidad las comorbilidades, así como los factores biológicos y sociales que incidieron en la distribución y severidad de la enfermedad en contextos históricos.

Conclusiones

El diagnóstico macroscópico de TB en restos óseos antiguos, aunque útil, resulta limitado debido a la baja especificidad de muchas de sus manifestaciones y a la posibilidad de infecciones subclínicas sin evidencia macroscópica. La revisión demuestra que incluso en casos con lesiones compatibles, es imprescindible complementar con técnicas moleculares y bioquímicas para alcanzar diagnósticos confiables. La PCR dirigida a secuencias como *IS6110* e *IS1081* ha sido fundamental para detectar el MTBC en restos humanos de distintas épocas y regiones. Sin embargo, sus limitaciones, como la contaminación o la detección de micobacterias ambientales, exigen el uso de múltiples marcadores y protocolos estrictos de autenticidad. En contextos con ADN altamente degradado, los biomarcadores lipídicos, como los ácidos micólicos y micocerosicos, han demostrado ser una herramienta diagnóstica robusta por su alta estabilidad y especificidad, incluso cuando las técnicas genéticas no arrojan resultados concluyentes.

Desde una perspectiva metodológica, se concluye que la integración de análisis macroscópico, molecular y lipídico constituye el enfoque más sólido para el estudio de TB antigua. Este modelo aumenta la sensibilidad diagnóstica y facilita la comprensión de la evolución, persistencia y adaptación histórica del MTBC en poblaciones humanas. Se propone avanzar hacia modelos diagnósticos integradores, estandarizar

los protocolos analíticos y fomentar la colaboración interdisciplinaria, con el fin de reconstruir con mayor precisión el impacto histórico de la TB y su papel en la evolución biológica y social de las sociedades del pasado.

Agradecimientos

Agradecimientos a Con Criterio en Salud por su valioso apoyo en la revisión y corrección de estilo, contribuyendo a la calidad y claridad de este trabajo.

Bibliografía

- Andersson L. (2021). Diagnosing Tuberculosis. A critical review of palaeopathological literature on tuberculosis in human skeletal and mummified remains. Master. Lund University. Sweden.
<https://www.lu.se/lup/publication/9053914>
- Arriaza B.T., Salo W., Aufderheide A.C., Holcomb T.A. (1995). Pre-Columbian tuberculosis in Northern Chile: Molecular and skeletal evidence. *Am J Phys Anthropol* 98(1): 37-45. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330980104>
- Baron H., Hummel S., Herrmann B. (1996). Mycobacterium tuberculosis Complex DNA in Ancient Human Bones. *J Archaeol Sci* 23(5): 667-671.
<https://doi.org/10.1006/jasc.1996.0063>
- Bos K.I., Harkins K.M., Herbig A., Coscolla M., Weber N., Comas I., et al. (2014). Pre-Columbian mycobacterial genomes reveal seals as a source of New World human tuberculosis. *Nature* 514(7523): 494-497.
<https://doi.org/10.1038/nature13591>
- Cambier C.J., Falkow S., Ramakrishnan L. (2014). Host Evasion and Exploitation Schemes of Mycobacterium tuberculosis. *Cell* 159(7): 1497-1509.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.11.024>
- Carøe C., Gopalakrishnan S., Vinner L., Mak S.S.T., Sinding M.H.S., Samaniego J.A., Wales N., Sicheritz-Pontén T., Gilbert M.T.P. (2018). Single-tube library preparation for degraded DNA. *Methods Ecol Evol* 9(2): 410-419.
<https://doi.org/10.1111/2041-210X.12871>
- Dabney J., Meyer M., Paabo, S. (2013). Ancient DNA Damage. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 5(7): a012567-a012567.
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a012567>
- Dangvard Pedersen D. (2016). The presence of tuberculosis in Danish skeletons AD 800 - 1800: from skeletal data to paleoepidemiological analysis. Tesis Doctoral. University of Southern Denmark.

- Dawson-Hobbis H., Taylor G.M., Stewart G.R. (2021). A case of childhood tuberculosis from late mediaeval Somerset, England. *Tuberculosis* 128: 102088. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2021.102088>
- Donoghue H.D. (2016). Paleomicrobiology of Human Tuberculosis. *Microbiol Spectr* 4(4). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.PoH-0003-2014>
- Donoghue H.D., Marcsik A., Matheson C., Vernon K., Nuorala E., Molto J.E., Greenblatt C.L., Spigelman M. (2005). Co-infection of *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium leprae* in human archaeological samples: a possible explanation for the historical decline of leprosy. *Proc R Soc B Biol Sci* 272(1561): 389-394. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2966>
- Hershkovitz I., Donoghue H.D., Minnikin D.E., Besra G.S., Lee O.Y.-C., Gernaey A.M., et al. (2008). Detection and Molecular Characterization of 9000-Year-Old *Mycobacterium tuberculosis* from a Neolithic Settlement in the Eastern Mediterranean. *PLoS One* 3(10): e3426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003426>
- Holloway K.L., Link K., Rühli F., Henneberg M. (2013). Skeletal Lesions in Human Tuberculosis May Sometimes Heal: An Aid to Palaeopathological Diagnoses. *PLoS One* 8(4): e62798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062798>
- Jaeger L.H., Leles D., dos Santos Lima V., Silva, da Piedade da Silva L., Dias, O., Mayo Iñiguez A. (2012). *Mycobacterium tuberculosis* Complex detection in human remains: tuberculosis spread since the 17th century in Rio de Janeiro, Brazil. *Infect Genet Evol* 12(4): 642-648. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.08.021>
- Jäger H.Y., Maixner F., Pap I., Szikossy I., Pálfi G., Zink A.R. (2022). Metagenomic analysis reveals mixed *Mycobacterium tuberculosis* infection in a 18th century Hungarian midwife. *Tuberculosis* 137: 102181. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2022.102181>
- Lee O.Y.-C., Wu H.H.T., Besra G.S., Rothschild B.M., Spigelman M., Hershkovitz I., Bar-Gal G.K., Donoghue H.D., Minnikin D.E. (2015). Lipid biomarkers provide evolutionary signposts for the oldest known cases of tuberculosis. *Tuberculosis* 95(1): S127-S132. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2015.02.013>
- Lee O.Y.-C., Wu H.H.T., Besra G.S., Minnikin D.E., Jaeger H.Y., Maixner F., et al. (2023). Sensitive lipid biomarker detection for tuberculosis in late Neanderthal skeletons from Subalyuk Cave, Hungary. *Tuberculosis* 143: 102420. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2023.102420>
- Lombardi G.P., García Cáceres, U. (2000). Multisystemic tuberculosis in a pre-columbian peruvian mummy: four diagnostic levels, and a paleoepidemiological hypothesis. *Chungará (Arica)*: 32(1). <https://doi.org/10.4067/S0717-73562000000100010>
- Luna L.H., Aranda C.M., Santos A.L., Donoghue H.D., Lee O.Y.-C., Wu H.H.T., et al. (2020). Oldest evidence of tuberculosis in Argentina: A multidisciplinary investigation in an adult male skeleton from Saujil, Tinogasta, Catamarca (905–1030 CE). *Tuberculosis* 125: 101995. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2020.101995>
- Maixner F., Mitterer C., Jäger H.Y., Sarhan M.S., Valverde G., Lückner S., et al. (2022). Linear polyacrylamide is highly efficient in precipitating and purifying environmental and ancient DNA. *Methods Ecol Evol* 13(3): 653-667. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13772>
- Masson M., Molnár E., Donoghue H.D., Besra G.S., Minnikin D.E., Wu H.H.T., Lee O.Y.-C., Bull I.D., Pálfi G. (2013). Osteological and Biomolecular Evidence of a 7000-Year-Old Case of Hypertrophic Pulmonary Osteopathy Secondary to Tuberculosis from Neolithic Hungary. *PLoS One* 8(10): e78252. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078252>
- Masson M., Bereczki Z., Molnár E., Donoghue H.D., Minnikin D.E., Lee O.Y.-C., Wu H.H.T., Besra G.S., Bull I.D., Pálfi G. (2015). 7000 Year-Old tuberculosis cases from Hungary – Osteological and biomolecular evidence. *Tuberculosis* 95: S13-S17. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2015.02.007>
- Mays S., Taylor G.M., Legge A.J., Young D.B., Turner-Walker G. (2001). Paleopathological and biomolecular study of tuberculosis in a medieval skeletal collection from England. *Am J Phys Anthropol* 114(4): 298-311. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1042>
- Morris J.A., Harrison L.M., Partridge S.M. (2006). Postmortem bacteriology: a re-evaluation: Table 1. *J Clin Pathol* 59(1): 1-9. <https://doi.org/10.1136/jcp.2005.028183>
- Müller R., Roberts C.A., Brown T.A. (2015). Complications in the study of ancient tuberculosis: non-specificity of IS6110 PCRs. *Sci Technol Archaeol* 1(1): 1-8. <https://doi.org/10.1179/2054892314Y.0000000002>
- Nicklisch N., Maixner F., Ganslmeier R., Friederich S., Dresely V., Meller H., Zink A., Alt K.W. (2012). Rib lesions in skeletons from early neolithic sites in Central Germany: On the trail of tuberculosis at the onset of agriculture. *Am J Phys Anthropol* 149(3): 391-404. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22137>
- Ortner D.J. (2003). Infectious Diseases: Tuberculosis and Leprosy. En: D.J. Ortner (Ed.). *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains:*

- 227-271. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012528628-2/50047-8>
- Palanivel J., Sounderrajan V., Thangam T., Rao S.S., Harshavardhan S., Parthasarathy K. (2023). Latent Tuberculosis: Challenges in Diagnosis and Treatment, Perspectives, and the Crucial Role of Biomarkers. *Curr Microbiol* 80(12): 392. <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03491-x>
- Pósa A., Maixner F., Sola C., Bereczki Z., Molnár E., Masson M., et al. (2015). Tuberculosis infection in a late-medieval Hungarian population. *Tuberculosis* 95: S60-S64. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2015.02.010>
- Roberts C.A., Bernard M.-C. (2015). Tuberculosis: A biosocial study of admissions to a children's sanatorium (1936–1954) in Stannington, Northumberland, England. *Tuberculosis* 95: S105-S108. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2015.02.012>
- Salo W.L., Aufderheide A.C., Buikstra J., Holcomb T.A. (1994). Identification of *Mycobacterium tuberculosis* DNA in a pre-Columbian Peruvian mummy. *PNAS* 91(6): 2091-2094. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.6.2091>
- Santos A.L., Roberts C.A. (2001). A picture of tuberculosis in young Portuguese people in the early 20th century: A multidisciplinary study of the skeletal and historical evidence. *Am J Phys Anthropol* 115(1): 38-49. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1054>
- Spekker O., Hunt D.R., Váradi O.A., Berthon W., Molnár E., Pálfi G. (2018). Rare manifestations of spinal tuberculosis in the Robert J. Terry Anatomical Skeletal Collection (National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC, USA). *Int J Osteoarchaeol* 28(3): 343-353. <https://doi.org/10.1002/oa.2658>
- Szikossy I., Pálfi G., Molnár E., Karlinger K., Kovács B.K., Korom C., et al. (2015). Two positive tuberculosis cases in the late Nigrovits family, 18th century, Vác, Hungary. *Tuberculosis* 95: S69-S72. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2015.02.015>
- Takayama K., Wang C., Besra G.S. (2005). Pathway to Synthesis and Processing of Mycolic Acids in *Mycobacterium tuberculosis*. *Clin Microbiol Rev* 18(1): 81-101. <https://doi.org/10.1128/CMR.18.1.81-101.2005>
- Taylor G.M., Goyal M., Legge A.J., Shaw R.J., Young D. (1999). Genotypic analysis of *Mycobacterium tuberculosis* from medieval human remains. *Microbiol* 145(4): 899-904. <https://doi.org/10.1099/13500872-145-4-899>
- Tsokos M., Püschel K. (2001). Postmortem bacteriology in forensic pathology: diagnostic value and interpretation. *Leg Med* 3(1): 15-22. [https://doi.org/10.1016/S1344-6223\(01\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S1344-6223(01)00002-5)
- Váradi O.A., Rakk D., Spekker O., Terhes G., Urbán E., Berthon W., et al. (2021). Verification of tuberculosis infection among Vác mummies (18th century CE, Hungary) based on lipid biomarker profiling with a new HPLC-HESI-MS approach. *Tuberculosis* 126: 102037. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2020.102037>
- Viswanathan V.K., Subramanian S. (2023). *Pott Disease*. StatPearls Publishing. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Recuperado el 15 de abril de 2025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538331/>
- Waldron T. (2009). *Palaeopathology*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511812569>
- Warinner C., Herbig A., Mann A., Fellows Yates J.A., Weiß C.L., Burbano H.A., Orlando L., Krause J. (2017). A Robust Framework for Microbial Archaeology. *Annu Rev Genomics Hum Genet* 18(1): 321-356. <https://doi.org/10.1146/annurev-genom-091416-035526>
- Witas H.W., Donoghue H.D., Kubiak D., Lewandowska M., Gładkowska-Rzeczycka J.J. (2015). Molecular studies on ancient *M. tuberculosis* and *M. leprae*: methods of pathogen and host DNA analysis. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 34(9): 1733-1749. <https://doi.org/10.1007/s10096-015-2427-5>
- WHO. (2024). World Health Organization. Global tuberculosis report 2024. Recuperado el 15 de abril de 2025. <https://www.who.int/teams/global-programme-on-tuberculosis-and-lung-health/tb-reports/global-tuberculosis-report-2024>
- Zink A.R., Grabner W., Reischl U., Wolf H., Nerlich A.G. (2003a). Molecular study on human tuberculosis in three geographically distinct and time delineated populations from ancient Egypt. *Epidemiol Infect* 130(2): 239-249. <https://doi.org/10.1017/S0950268802008257>
- Zink A.R., Sola C., Reischl U., Grabner W., Rastogi N., Wolf H., Nerlich A.G. (2003b). Characterization of *Mycobacterium tuberculosis* Complex DNAs from Egyptian Mummies by Spoligotyping. *J Clin Microbiol* 41(1): 359-367. <https://doi.org/10.1128/JCM.41.1.359-367.2003>
- Zink A.R., Molnár E., Motamedi N., Pálfi G., Marcsik A., Nerlich A.G. (2007). Molecular history of tuberculosis from ancient mummies and skeletons. *Int J Osteoarchaeol* 17(4): 380-391. <https://doi.org/10.1002/oa.909>

Presencia de adipocira en restos óseos humanos contemporáneos: su importancia en contextos forenses (Argentina)

Linda Jezabel Miguez¹, Marcos Plischuk^{1,2}, Guillermo Lamenza^{2,3}, Liz Carla Cesa¹ y Bárbara Desántolo¹

¹Laboratorio de Investigaciones en Ciencias Forenses (LICIF), Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de La Plata.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

³Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

*Corresponding Author: liezabelmiguez@med.unlp.edu.ar

RESUMEN

Uno de los subproductos más comunes de la degradación de lípidos es la formación de adipocira, que aparece inicialmente como una consistencia pastosa y luego se solidifica hasta asemejarse a cera dura, pudiendo ser resistente a otros cambios de putrefacción. Si bien suele hallarse en ambientes húmedos, también se ha documentado en contextos secos. Su formación es más común en individuos con alto contenido de grasa corporal y puede estar asociada a vestimenta. Entre los factores que suelen contribuir a su desarrollo se incluyen un pH alcalino, temperatura cálida, condiciones anóxicas y humedad adecuada, y la presencia *postmortem* de bacterias. El objetivo de este trabajo fue analizar la relación entre la adipocira en restos óseos humanos y diversos factores que influyen en su formación, en contextos contemporáneos de inhumación. Se estudiaron individuos de la colección osteológica "Prof. Dr. Rómulo Lembre" (Facultad de Ciencias Médicas - Universidad Nacional de La Plata) y restos exhumados arqueológicamente dentro del Cementerio Municipal de La Plata (Argentina). Los resultados muestran una mayor frecuencia de adipocira en diferentes trayectorias, en sectores anegables del cementerio y en envoltorios que retienen humedad. También se identificó una distribución anatómica y por sexo y se reconocieron dos tipos macroscópicos de adipocira (fresca y seca). Valores levemente alcalinos de pH podrían favorecer su formación. Aunque se observan asociaciones, no es posible atribuir la formación de adipocira a un único factor. Estos hallazgos aportan evidencia valiosa para la interpretación de contextos forenses y arqueológicos, contribuyendo a la reconstrucción de las condiciones de inhumación.

Palabras clave:

Adipocira
Antropología forense
Colección documentada
Tafonomía
Cementerio
Restos óseos humanos

ABSTRACT

One of the most common by-products of lipid degradation is the formation of adipocere which initially appears as a pasty substance and later solidifies into a hard wax-like material, potentially resistant to other decomposition changes. Although it is usually found in humid environments, it has also been documented in dry contexts. Its formation is more common in individuals with a high body fat content and may be associated with clothing. Factors that typically contribute to its development include an alkaline pH, warm temperature, anoxic conditions, adequate moisture, and the postmortem presence of bacteria. The aim of this study was to analyze the relationship between adipocere in human skeletal remains and various factors that influence its formation in contemporary burial contexts. Individuals from the osteological collection "Prof. Dr. Rómulo Lembre" (School of Medical Sciences - National University of La Plata) and remains archaeologically exhumed from the Municipal Cemetery of La Plata (Argentina) were studied. The results show a higher frequency of adipocere in different trajectories, in waterlogged sectors of the cemetery, and in wrappings that retain moisture. An anatomical and sex-based distribution was also identified, and two macroscopic types of adipocere (fresh and dry) were recognized. Slightly alkaline pH values may favor its formation. Although associations were observed, it is not possible to attribute adipocere formation to a single factor. These findings provide valuable evidence for the interpretation of forensic and archaeological contexts, contributing to the reconstruction of burial conditions.

Keywords:

Adipocere
Forensic anthropology
Documented collection
Taphonomy
Cemetery
Skeletal human remains

Introducción

La adipocira es una sustancia que se forma en restos en descomposición a través de la desintegración del tejido adiposo (Forbes et al., 2004). Aunque a veces se hace referencia a este proceso como “saponificación”, es importante destacar que este término se refiere específicamente a la producción de jabones dentro del proceso de formación de adipocira. A menudo se usan indistintamente los términos “saponificación”, “formación de adipocira”, “tejido saponificado” y “adipocira” (Magni, Lawn y Guareschi, 2020). La adipocira representa una alteración del proceso de descomposición, ralentizándolo o deteniéndolo, y se considera un tipo natural de conservación de los cadáveres (O’Brien y Kuehner, 2007; Ubelaker y Zarenko, 2011). Esta formación ocurre cuando la descomposición se ve inhibida por los ácidos grasos que retardan el crecimiento de bacterias putrefactas. Además, existen diferentes tipos de adipocira, dependiendo de los ácidos grasos involucrados al combinarse con sodio, potasio, calcio o magnesio (Reverte Coma, 1999; Dix y Graham, 2000; Vass, 2001; Gennard, 2007; Rogers, 2010).

Los cuerpos que contienen adipocira pueden encontrarse en una variedad de ambientes, tanto terrestres (como bóvedas y entierros) como acuáticos (en cuerpos de agua naturales o recintos artificiales). Cada uno de estos entornos puede influir de distintas maneras en su formación, favoreciendo o inhibiendo su aparición y desarrollo, a la vez que puede afectar la composición química de la sustancia. Adicionalmente, factores culturales como la disposición de prendas de vestir (Aturaliya y Lukasewycz, 1999) y el embalaje del cadáver en bolsas plásticas (Forbes, Stuart y Dent, 2005) también pueden modificar las condiciones microambientales del cuerpo, influyendo en la formación de adipocira y en el tiempo de su aparición (Guerrero et al., 2013). En contextos forenses, donde se requiere estimar el *intervalo postmortem* (IPM), es vital considerar estos factores ambientales. Dependiendo del entorno, la formación de adipocira se ha descrito como “típica” o “atípica” siendo la primera, característica de inmersión en agua, tumbas y bóvedas húmedas, mientras que las segundas se observan en condiciones secas, donde su formación es hasta diez veces más lenta que en condiciones típicas (Forbes, Stuart y Dent, 2002,

2005; Forbes, Dent y Stuart, 2005; Magni, Lawn y Guareschi 2020), como es el caso de los cerebros de La Pedraja, hallados en una fosa común de la Guerra Civil Española, donde, a pesar de su aparente descomposición, se preservaron debido a las condiciones de enterramiento (Etxeberria y Serrulla, 2020).

La composición corporal también juega un papel relevante en este proceso, dado que las mujeres tienen un porcentaje mayor de tejido adiposo, presentan una mayor predisposición a la formación de adipocira, especialmente en áreas como caderas, muslos, y glúteos (Evans, 1963; Quiroz Carmona, 2007). En los hombres en cambio, la adipocira tiende a concentrarse en la región abdominal (Evans, 1963; Quiroz Carmona, 2007), diferencias que pueden influir en los patrones de preservación observados en contextos forenses.

La formación de adipocira en restos óseos humanos sigue siendo un fenómeno poco estudiado en contextos de entierros, especialmente en ámbitos contemporáneos. Por lo expuesto anteriormente, este trabajo tiene como objetivo principal analizar las relaciones entre la presencia de adipocira en restos óseos humanos y los diferentes factores que influyen en su formación: las trayectorias de enterramiento, el tipo de envoltorio al momento de la inhumación, la ubicación dentro del cementerio, el pH del suelo y el sexo. En este sentido, se espera que aquellos individuos que han atravesado procesos de exhumación y reinhumación, o que han permanecido en sectores con alta retención de humedad y/o con envoltorios absorbentes, presentan mayor probabilidad de conservar adipocira. Asimismo, se explora la posibilidad de que existan diferencias según el sexo, considerando que los restos femeninos podrían verse más afectados. Para evaluar estas condiciones, se analizan individuos que integran la colección Lambre y restos exhumados mediante métodos arqueológicos dentro del Cementerio Municipal de La Plata.

Materiales y métodos

Se observaron esqueletos pertenecientes a la Colección Osteológica “Profesor Dr. Rómulo Lambre” (Laboratorio de Investigaciones en Ciencias Forenses, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de La Plata), la cual cuenta con datos documentales

acerca de la edad de muerte, sexo, nacionalidad, fecha y causa de deceso de los individuos (Salceda et al., 2009). Esta información fue obtenida de las Actas de Defunción del Cementerio Municipal de La Plata (CMLP), Argentina, necrópolis donde estuvieron originalmente inhumados (Plischuk et al., 2020; Miguez, Plischuk y Lamenza, 2022).

El Cementerio Municipal de la Ciudad de La Plata está situado entre las calles 131, donde se encuentra el pórtico principal, 135, 137, 72, 74 y 76, en el vértice sur de la ciudad, desarrollándose en un predio de 299.600 metros cuadrados (Sempé et al., 2009) (Figura 1). Esta área se caracteriza por su clima templado y por una abundante humedad debido a su cercanía al Río de La Plata, sumado a la vasta extensión de la necrópolis, se presentan diversas condiciones de terreno, zonas de anegamiento y diversidad en la acción de flora, lo cual permite ver diferentes procesos tafonómicos en los restos óseos, mediante su excavación sistemática. En 2002, se firmó la Ordenanza Municipal 9471/02, que permitió la cesión de restos no reclamados del CMLP a la Facultad de Ciencias Médicas (UNLP) con fines educativos y científicos (Salceda et al., 2009). Hasta el año 2019, los restos fueron exhumados por el personal del cementerio, y a partir de 2021, como parte de la tesis doctoral de uno de los autores (LJM), se realizaron excavaciones sistemáticas en la necrópolis, exhumando 14 individuos, de los cuales 10 fueron incorporados a la colección Lambre para su estudio.



Figura 1. Ubicación geográfica de la provincia de Buenos Aires, La Ciudad de La Plata y el Cementerio Municipal de La Plata.

Por lo tanto, la muestra analizada en este estudio está conformada por 70 individuos, con edades

que oscilan entre los 15 y los 58 años. De estos, 60 pertenecen a la colección Lambre, mientras que los 10 restantes fueron observados a partir de las exhumaciones realizadas por nuestro equipo de trabajo durante el 2021 y 2022 (Miguez, 2024). Los años de inhumación varían entre 1937 y 2012, lo que permite obtener un registro de la duración del enterramiento. Se incluyeron individuos que hubiesen tenido un paso de sepultura en tierra, aunque se ponderó la presencia de diversas trayectorias de los restos. Estas fueron clasificadas en T (tierra), N/T (nicho a tierra) y T/N (tierra a nicho) (Figura 2) (Miguez, Plischuk y Lamenza, 2022; Miguez, 2024). Las sepulturas en tierra se caracterizaron por profundidades variables, generalmente entre 0.60 y 0.90 m, mientras que los nichos -estructuras construidas en cemento u otro material, destinadas a alojar un ataúd- presentan dimensiones aproximadas de 2.00 m de largo, 0.70 m de ancho y 0.65 m de alto. El paso por tierra previo al nicho tuvo una duración promedio de 9 años, aunque en algunos casos se extendió hasta 41 años, mientras que en otros fue de tan solo 5 años. Por otro lado, los individuos que no fueron trasladados y permanecieron exclusivamente en tierra estuvieron inhumados por un tiempo promedio de 10 años, con extremos que van desde 5 hasta 55 años. A su vez, se intentó tener representados distintos sectores del CMLP (ver Tabla 1).



Figura 2. Diferentes tipos de entierro (trayectorias) que se encuentran en el Cementerio Municipal de La Plata.

Tabla 1. Información sobre los 70 individuos analizados

CMLP	Sección	Tipo de entierro	Año de inhumación	Traslado	Años en tierra	Años en nicho	Año de exhumación	Edad	Sexo	Adipocira
36	49-G-7	T	1995	-	9	-	2004	22	M	Ausente
37	11-G-40	T	1999	-	5	-	2004	48	M	Presente
40	18-55	T	1997	-	7	-	2004	54	M	Ausente
42	50-L-18	T	1990	-	14	-	2004	44	M	Ausente
43	26-H-44	T	1999	-	5	-	2004	33	M	Ausente
53	19-H-38	T	1997	-	7	-	2004	25	M	Ausente
54	5-228	T	1998	-	6	-	2004	58	M	Presente
59	20-K-2	T	1992	-	12	-	2004	50	M	Presente
63	20-A-27	T	1996	-	8	-	2004	49	M	Ausente
64	28-H-31	T	1995	-	9	-	2004	53	M	Ausente
72	47-L-18	T	1995	-	9	-	2004	50	F	Ausente
117	14-L-23	T/N	1972	1992	20	14	2006	53	F	Presente
119	9-156	T	2001	-	6	-	2007	46	F	Presente
120	44-K-14	T	1951	-	55	-	2006	26	F	Ausente
127	19-E-12	T/N	1980	1985	5	20	2005	58	M	Ausente
149	49-L-1	T/N	1963	1972	9	33	2005	58	F	Ausente
157	44-H-39	T/N	1967	1974	7	32	2006	36	M	Ausente
160	47-H-1	T	1998	-	9	-	2007	52	M	Ausente
164	48-E-19	T/N	1983	1989	6	17	2006	48	M	Ausente
170	17-70	T	1996	-	11	-	2007	57	F	Ausente
175	19-C-27	T	1996	-	11	-	2007	25	F	Ausente
179	29-A-37	T	1997	-	10	-	2007	40	M	Ausente
190	36-I-1	T/N	1967	1973	6	32	2005	46	M	Ausente
201	10-C-25	N/T	1981	1996	11	15	2007	56	F	Presente
204	29-B-34	T/N	1964	1972	8	33	2005	59	M	Presente
217	46-B-35	T/N	1969	1975	6	29	2004	22	F	Presente
219	56-G-35	T/N	1979	1985	6	20	2005	45	F	Ausente
223	22-527	T	1997	-	10	-	2007	48	F	Ausente
236	28-L-7	T	1995	-	6	-	2001	59	M	Presente
239	21-E-17	T	1998	-	10	-	2008	21	M	Ausente
241	16-F-36	T/N	1961	1969	8	39	2008	45	F	Ausente
242	35-C-36	T/N	1990	1996	6	18	2014	51	F	Ausente
244	16-F-36	T/N	1952	1961	9	47	2008	36	M	Ausente
250	58-J-18	T/N	1978	1984	6	16	2000	52	M	Ausente
252	29-K-16	T/N	1937	1952	15	56	2008	23	F	Ausente
253	44-H-22	T/N	1977	1984	7	24	2008	40	M	Presente
254	46-H-15	T/N	1994	2000	6	14	2014	42	F	Ausente
258	17-K-50	T/N	1937	1953	16	61	2014	33	M	Presente
261	14-B-10	T/N	1981	1988	7	20	2008	46	F	Presente
262	20-K-42	T/N	1978	1986	8	22	2008	47	F	Ausente
266	14-E-22	T/N	1977	1983	6	34	2017	49	M	Ausente

Tabla 1 (Continuación). Información sobre los 70 individuos analizados

CMLP	Sección	Tipo de entierro	Año de inhumación	Traslado	Años en tierra	Años en nicho	Año de exhumación	Edad	Sexo	Adipocira
268	41-F-4	T/N	1980	1986	6	31	2017	49	M	Presente
269	58-L-12	T/N	1990	1996	6	21	2017	55	F	Presente
270	52-D-17	T/N	1989	1995	6	22	2017	18	M	Ausente
271	57-LL-38	T/N	1974	1980	6	37	2017	51	M	Ausente
272	34-G-10	T/N	1974	1980	6	37	2017	57	F	Presente
274	24-D-30	T/N	1977	1983	6	34	2017	30	M	Presente
275	51-B-15	T/N	1967	1974	7	43	2017	43	M	Presente
276	34-B-29	T/N	1967	1974	7	43	2017	47	M	Ausente
277	10-K-37	T/N	1977	1983	6	34	2017	37	F	Presente
278	32-D-18	T/N	1923	1944	21	73	2017	26	M	Ausente
279	51-B-17	T/N	1961	1969	8	48	2017	46	F	Presente
280	8-168	T/N	1994	2001	7	16	2017	38	F	Ausente
281	52-L-24	T/N	1969	1974	5	43	2017	36	M	Ausente
282	24-N-11	T/N	1960	1967	7	50	2017	33	F	Ausente
284	58-K-11	T/N	1976	1982	6	35	2017	46	F	Presente
285	15-J-18	T/N	1964	1972	8	45	2017	20	M	Presente
288	27-H-20	T/N	1992	1999	7	18	2017	27	F	Ausente
289	41-LL-34	T/N	1967	1974	7	43	2017	32	M	Presente
292	36-G-32	T/N	2003	2011	8	6	2017	28	M	Presente
293	22-795	T	2008	-	13	-	2021	15	M	Ausente
294	35-C-33	T	2004	-	17	-	2021	40	M	Ausente
295	16-J-2bis	T	2012	-	9	-	2021	49	M	Ausente
296	18-893	T	2006	-	16	-	2022	25	M	Ausente
297	39-L-38	N/T	1975	2009	13	34	2022	54	F	Ausente
298	39-L-38	N/T	1965	1981	41	16	2022	43	M	Ausente
299	39-F-20	T	2008	-	14	-	2022	21	F	Presente
300	39-L-13	T	2009	-	13	-	2022	48	F	Ausente
301	46-C-5	T	2012	-	10	-	2022	19	F	Presente
302	62-871	N/T	1977	2010	12	33	2022	50	F	Presente

T: tierra; T/N: tierra a nicho; N/T: nicho a tierra; M: masculino; F: femenino

Análisis del material

Para el análisis de los individuos, se realizaron los inventarios correspondientes, tanto *in situ* como en el laboratorio, registrando la localización, aspecto y coloración de la adipocira. Esta sustancia fue observada utilizando un enfoque macroscópico y morfológico durante las dos etapas: en las exhumaciones controladas y en el laboratorio. Se tomaron fotografías de las áreas afectadas y, a su vez, fue registrada la presencia de vestimentas y plásticos utilizados como

envoltorios, así como fragmentos adheridos a los elementos óseos, que podrían haber influido en su formación.

La adipocira fue clasificada en fresca y seca basándose en sus diferencias, permitiendo una clara distinción entre ambos tipos. La adipocira fresca, se observó en el proceso de exhumación de los restos, caracterizándose por una textura suave, húmeda y pastosa, de color grisáceo brillante y con un olor fuerte y pronunciado (Figura 3). Por otro lado, la adipocira seca, se encontró únicamente en los restos de la

colección, que presentaba una textura dura, quebradiza y cerosa, con un color blanquecino más apagado y un

olor casi inexistente (Forbes, Stuart y Dent, 2002, 2005; Gennard, 2007; Rogers, 2010) (Figura 4).



Figura 3. A y B: Adipocira fresca en restos sin reducir. C: Envoltorio con presencia de adipocira fresca.



Figura 4. Adipocira seca en restos de la colección. A: Coxal; B: Calcáneo; C-D: Costillas; E: Sacro; F: Fémur.

Para confirmar que lo que observamos es adipocira, se realizó un análisis químico comparativo. Se tomaron muestras de la sustancia seca de los restos de la colección y una muestra de grasa animal que se utilizó como control. Las muestras fueron colocadas en tubos Falcon de 50 ml, en los que se añadieron 10 ml de bencina (Lehninger, Nelson y Cox, 2008). En cada tubo se incluyó una muestra de adipocira o una muestra de grasa animal, y se dejó actuar en intervalos de 15

minutos a lo largo de una hora. Se documentaron las observaciones de la disolución de ambas muestras, registrando cualquier separación de componentes, así como los cambios en la textura, color y claridad de las mismas.

Para evaluar el impacto de la humedad en la formación de adipocira, se consideraron las zonas inundables dentro del CMLP. Las mismas fueron definidas en colaboración con el personal del

cementerio, identificando como tales las secciones 56, 57, 58, 49, 50, 51, 34, 35, 36 y 39, mientras que el resto del cementerio, incluyendo las secciones 11, 18, 26, 19, 5, 20, 28, 47, 14, 9, 44, 48, 17, 29, 10, 46, 56, 22, 21, 41, 52, 24, 15, 27, 32 y 8, fueron consideradas no anegables (Miguez, 2024) (Figura 5).



Figura 5. Se encuentran coloreadas las secciones anegables según lo informado por el personal del CMLP.

Se llevaron a cabo análisis estadísticos utilizando el software SPSS, versión 23.0, para examinar posibles correlaciones entre la adipocira y factores como las trayectorias de inhumación, tipo de envoltorio, sexo y características del terreno (zonas anegables y no anegables).

A modo exploratorio, se evaluó el posible efecto del pH en la formación de adipocira. Se realizaron mediciones de pH sólo en muestras de sedimento tomadas tanto de la superficie como del interior de las tumbas exhumadas (9 de superficie y 5 del interior). Además, se tomaron muestras de

referencia del suelo circundante al cementerio, dentro de un radio de 500 metros, para establecer los valores típicos del pH en la zona (Miguez, 2024). Las muestras de sedimento fueron preparadas siguiendo el protocolo propuesto por Beretta, Bassahum y Musselli (2014). Se dejaron secar las muestras de sedimento a temperatura ambiente durante 48 horas, luego se tamizaron y se colocaron 10 g de cada muestra en tubos Falcon de 50 ml, a los que se les añadió 25 ml de agua desionizada. La mezcla de suelo-agua se agitó durante 3 minutos y se dejó reposar por 3 minutos más, para luego realizar la medición del pH en el sobrenadante. Las mediciones de pH fueron realizadas con el equipo PHS-3D pH meter Sanxin, perteneciente al Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada (CENEXA) de la Facultad de Ciencias Médicas-UNLP, previamente calibrado en soluciones acuosas con pH 4 y pH 7.

Consideraciones Bioéticas

Los estándares referidos al manejo de estos restos fueron evaluados por el Comité de Bioética de la FCM de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) (Exp. 800-6213812/12), considerando a su vez la Declaración de Helsinki y el artículo 4 de la “Declaración de la Asociación de Antropología Biológica Argentina” en “Relación con la Ética del Estudio de Restos Humanos” (2007) y por el “Código Deontológico para el estudio, conservación y gestión de restos humanos de poblaciones del pasado” (Aranda, Barrientos y Del Papa, 2014), debido a lo cual se garantiza un trato digno y respetuoso a los restos a través de un correcto manejo y preservación (García-Mancuso et al., 2019; Plischuk et al., 2020).

Resultados

Se identificó la presencia de adipocira seca en 26 individuos de la muestra seleccionada (37.14%) (Figura 6). Principalmente, este rasgo se encontró más representado en las zonas de ambos fémures (12), elementos de ambos pies (11 derechos y 10 izquierdos), seguido por coxales (9), tibias (8 derechas y 7 izquierdas) y en menor medida en sacro (6), escápulas (4), vértebras (4), radios (4), costillas (4), peronés (3), húmeros (2), cráneo (3) y mandíbula (2), sin observar mayores diferencias al segmentar la muestra por sexo

(Figura 7). El 43.33% de los individuos femeninos (13 individuos) presentaban adipocira, mientras que en los masculinos se encontró en el 32.5% (13 individuos) de los casos (Figura 8).

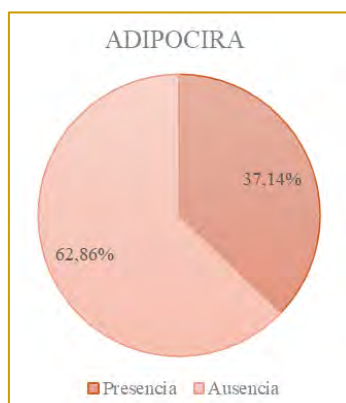


Figura 6. Ausencia/Presencia de adipocira en la muestra.

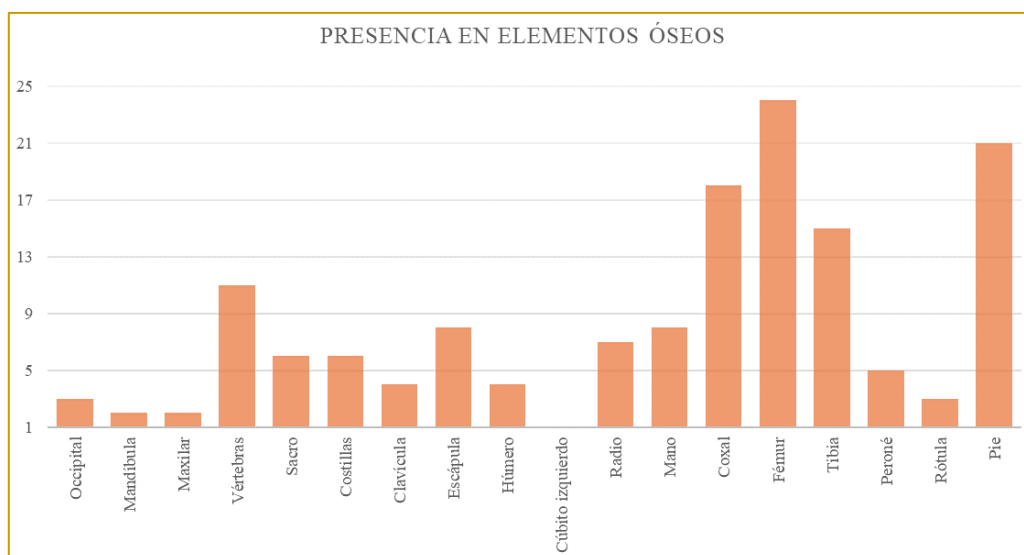


Figura 7. Número de elementos óseos con presencia de adipocira.

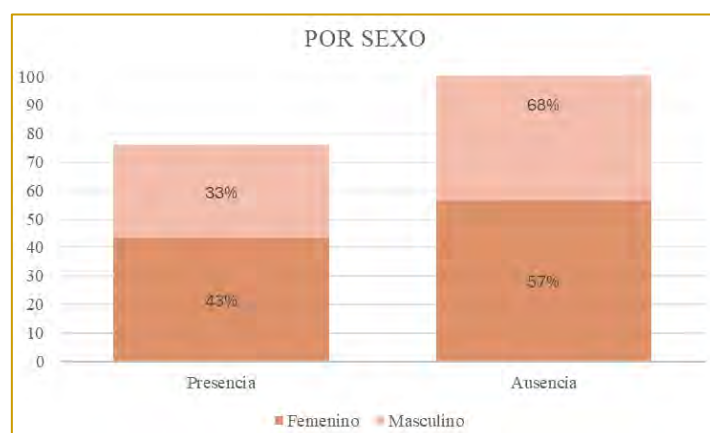


Figura 8. Presencia/Ausencia de adipocira por sexo.

En relación con las trayectorias, se observó que el 44% (17 individuos) de los que tuvieron el traslado tierra/nicho presentaron adipocira, mientras que solo el 26% de los que estuvieron inhumados directamente en tierra mostraron este rasgo (Figura 9).

Entre los cuatro con traslado de nicho/tierra, se evidenció su presencia en el 50% de los casos, siendo estos los individuos con mayor cantidad de adipocira en sus restos esqueléticos.

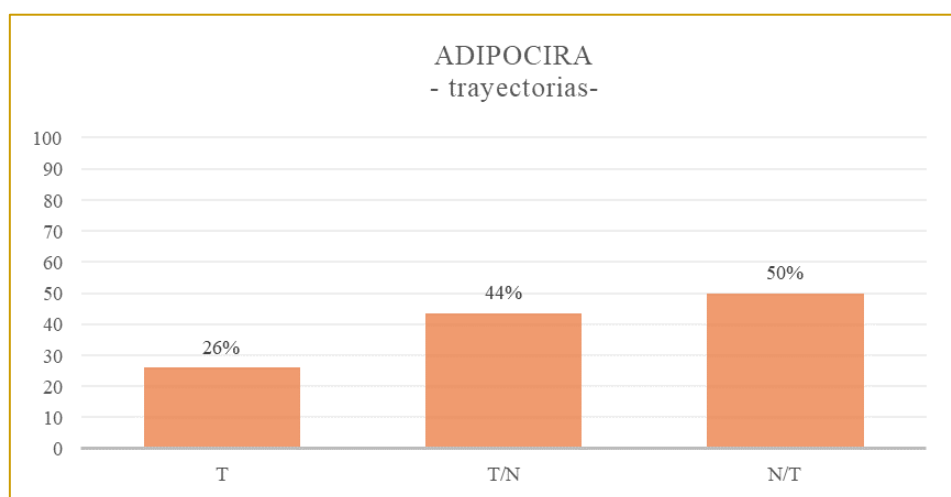


Figura 9. Adipocira presente en las diversas trayectorias (T: tierra; T/N: tierra a nicho; N/T: nicho a tierra)

En cuanto a las zonas anegables, se encontró adipocira en un 45%, mientras que en las zonas no anegables se observó en un 38% (Figura 10). Específicamente, en las zonas anegables, se halló un 46% (6 individuos) con adipocira en las trayectorias tierra/nicho y un 60% (3 individuos) en tierra. Sin embargo, no se encontraron individuos con este rastro dentro de la trayectoria nicho/tierra (Figura 11). Dentro

de las zonas no anegables, el 42% de los individuos que tuvieron el pasaje tierra/nicho presentaban adipocira. En los individuos que solo estuvieron inhumados en tierra, se encontró adipocira en el 23% (5 individuos) de los casos. En los casos con trayectorias nicho/tierra, se evidenció el 100% (2 individuos) (Figura 11).

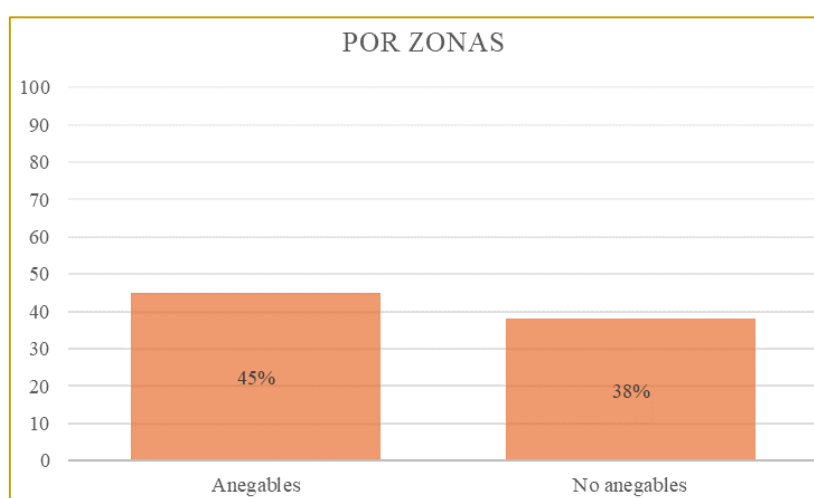


Figura 10. Adipocira por zonas.

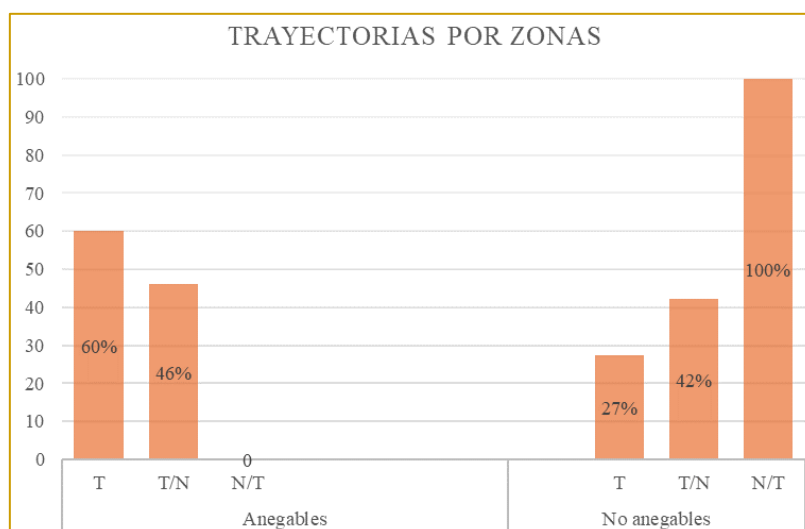


Figura 11. Adipocira por trayectorias y zonas. T: tierra; T/N: tierra a nicho; N/T: nicho a tierra.

Para evaluar la relación entre las variables previamente mencionadas, se realizaron diversos análisis estadísticos. En primer lugar, la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov dió como resultado un valor de significancia menor a 0.05. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y concluimos que las cuatro variables (adipocira, sexo, trayectoria y zonas anegables/no anegables) no se ajustan a una distribución normal. En segundo lugar, se seleccionó el test de Chi-cuadrado de Pearson, que nos permitió probar la independencia de dos variables entre sí mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia. En este caso se buscó probar la correlación de adipocira con sexo, trayectorias de inhumación y características de las zonas. Los resultados mostraron que no existen diferencias entre las variables, por lo que no se puede establecer una relación estadísticamente significativa entre ellas.

El pH del sedimento se registró con valores cercanos a 7, indicando una condición neutra. Sin embargo, al analizar el pH del sedimento en la proximidad de los restos óseos, se observó un valor superior a 7, lo que señala un ambiente más alcalino en esa área específica. En algunos casos particulares, se detectaron valores más bajos de pH, lo cual puede indicar una posible acidificación localizada (Tabla 2). Al comparar los valores de pH dentro del CMLP notamos que varían en un rango más amplio (5.43 a 7.83) en comparación con los valores por fuera del

CMLP (7.06 a 7.37). Se puede decir que el pH promedio dentro del CMLP es ligeramente más ácido (6.89) en contraste con los valores promedio por fuera del CMLP (7.26) (Tabla 3).

Tabla 2. Muestras de pH del sedimento de los exhumados

Exhumación	pH	Sección CMLP
CMLP 293 – superficial	6.78	22-795
CMLP 294 - muestra 1	6.78	35-C-33
CMLP 294 - muestra 2	7.26	35-C-33
CMLP 295 – superficial	6.39	16-J-2bis
CMLP 297 – superficial	6.82	39-L-38
CMLP 299 – superficial	7.04	39-F-20
CMLP 299 – cráneo	7.03	39-F-20
CMLP 300 – superficial	7.47	39-L-13
CMLP 300 – cráneo	5.53	39-L-13
CMLP 301 – interior	5.43	46-C-5
CMLP 301 – superficial	7.76	46-C-5
CMLP 301 – cráneo	7.83	46-C-5
CMLP 302 – superficial	7.73	62-871
CMLP 302 – cráneo	6.41	62-871

Tabla 3. Muestras de pH del sedimento periferia del CMLP

Periferia CMLP	pH	Ubicación
Muestra 1	7.35	Av. 137 y Av. 72
Muestra 2	7.26	Calles 74 y 135
Muestra 3	7.25	Calles 132 e/76 y 77
Muestra 4	7.37	Av. 31 y 75
Muestra 5	7.06	Av. 72 y Av. 31

Con respecto a las pruebas químicas realizadas con bencina para corroborar la presencia de adipocira, en las muestras obtenidas del coxal, se observó, a los 15 minutos, la separación de la grasa del tejido, depositándose ésta en el fondo del tubo. A los 30 minutos, la muestra adquirió una coloración más turbia y aceitosa, sin percibir otros cambios a los 45 y 60 minutos. En la prueba control con grasa animal, la muestra a temperatura ambiente se disolvió, mientras que la muestra congelada no mostró alteraciones. Estos resultados demuestran que la bencina disuelve la grasa, lo que apoya la hipótesis de que la muestra de la colección corresponde a adipocira.

Por último, en cuanto a la adipocira fresca sólo fue observada en 5 de las 14 exhumaciones llevadas a cabo en el CMLP (exhumaciones 1, 6, 10, 11 y 14). En tres de estas exhumaciones, los restos fueron inhumados nuevamente debido a que la adipocira abarcaba gran parte del individuo, lo que indicaba que el proceso de esqueletización aún no había finalizado. En los otros dos casos, la adipocira fresca solo se encontró en pequeñas muestras adheridas al envoltorio y/o vestimenta de los individuos exhumados. Estas pequeñas muestras permitieron observar que, aunque la adipocira fresca es menos común, su presencia es significativa en los contextos donde la descomposición del cuerpo ha sido parcial.

Discusión

En este trabajo se propuso analizar la relación entre la presencia de adipocira y distintos factores que influyen en su formación, como las trayectorias *postmortem*, el tipo de envoltorio, sectores del cementerio, el pH del suelo y el sexo de los individuos. A partir del análisis de 70 casos, se identificaron tendencias que sugieren vínculos entre estas variables y la presencia de adipocira, aunque las pruebas estadísticas no permitieron confirmar asociaciones significativas.

En primer lugar, en relación a la localización de la adipocira en cada esqueleto, su presencia se concentró especialmente en los huesos correspondientes a las zonas más proclives a su formación, como los coxales y fémures, siendo esta

distribución consistente con las zonas donde se espera que la adipocira se forme debido a la mayor cantidad de tejido graso en los procesos de descomposición (Evans, 1963; Vargas, 1989; Quiroz Carmona, 2007). Sin embargo, la elevada frecuencia de adipocira encontrada en huesos del pie y tibias plantea *a priori* un aspecto por elucidar. Una posible explicación provendría de la observación práctica en las exhumaciones, en donde se ha detectado que la presencia de medias en los restos podría generar las condiciones microambientales que favorezcan su formación en estas áreas, al actuar como una especie de barrera reteniendo la humedad, con la consecuente preservación de tejido graso en estos huesos.

Otro aspecto observado tiene que ver con el sexo de los individuos donde se evidenció una mayor presencia de adipocira en el sexo femenino, en comparación con el sexo masculino (Evans, 1963). Aunque estas diferencias en nuestro trabajo no alcanzan significancia estadística, varios autores han propuesto que esta tendencia podría deberse a la distribución y composición diferenciada de la grasa corporal. Las mujeres tienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados y una mayor cantidad de tejido adiposo subcutáneo, lo que facilita el proceso de saponificación, crucial para la formación de adipocira. Además, los factores hormonales, como los niveles de estrógenos, influyen en la distribución y acumulación de grasa, creando un entorno más propicio para este proceso (Evans, 1963; Quiroz Carmona, 2007; Sorg, Haglund y Wren, 2012; Nociarová, 2016; Byard, Simpson y Forbes, 2020). Aunque no sea concluyente, la evidencia sugiere que ciertas características biológicas y composicionales en las mujeres estarían favoreciendo la formación de adipocira.

En cuanto a las trayectorias de entierro, se observó que los individuos que atravesaron procesos de traslado presentaron una mayor frecuencia de adipocira, en comparación con los que estuvieron inhumados solo en tierra. Es importante destacar que, de los casos en los que hubo traslado de nicho a tierra, corresponde a los individuos con mayor cantidad de adipocira en sus restos esqueléticos. Si bien el número de individuos observados en este último contexto es reducido, este fenómeno podría

atribuirse a las condiciones específicas del entierro y la composición corporal del individuo, donde la interacción entre el cajón metálico, la ubicación del nicho y la grasa corporal pudo haber facilitado la formación y preservación de la adipocira (Ferllini Timms, 1994; Guareschi, Dadour y Magni, 2019). En los casos en que los restos provienen de nichos con cajón metálico y posteriormente fueron enterrados en áreas con acumulación de agua, hemos observado que el féretro actúa como un depósito que impide el flujo de líquidos (agua y fluidos corporales), retrasando la esqueletización y favoreciendo la formación de adipocira. En este sentido, el trabajo de Guareschi, Dadour y Magni (2019), demostró que los ataúdes de roble, plomo y zinc contribuyen a la formación de adipocira, mientras que los de pino y abeto, así como los revestidos con paja, aceleran la descomposición. Un estudio similar al presente, realizado en dos cementerios del norte de Italia refuerzan esta idea, en donde se demostró que el 98.5% de los cuerpos-inhumados en fosas (tierra) estaban esqueletizados, mientras que casi el 90% de los cuerpos en tumbas de piedra (nicho) se conservaron por adipocira, esqueletizándose sólo aquellos con ataúdes dañados (Guerrero et al., 2013; Guareschi, Dadour y Magni, 2019; Magni, Lawn y Guareschi, 2020).

La ubicación de los entierros dentro del cementerio también mostró ciertas asociaciones para destacar. En las zonas anegables, se encontró más adipocira que en las zonas no anegables, tendencia que podría deberse a que las condiciones de humedad y la compactación del suelo por las losas, reducen el drenaje y el movimiento del aire, provocando estancamiento de agua que favorece la formación de adipocira (Guareschi, Dadour y Magni, 2019; Magni, Lawn y Guareschi, 2020). Sin embargo, esta diferencia sería menor a la esperada a lo sugerido en la bibliografía (Forbes, Stuart y Dent, 2002; Ubelaker y Zarenko, 2011). Creemos que, basados en la figura 11, la variable que mayor peso estaría teniendo en la formación de adipocira serían los traslados del cuerpo.

Otro componente relevante del contexto de inhumación es el tipo de envoltorio de los restos y su asociación con los tipos de adipocira. En este sentido, uno de los casos más llamativos fue el de los

restos que se encontraron en una doble bolsa roja, utilizada en la práctica forense para evitar propagaciones de enfermedades infectocontagiosas, que evitó que los líquidos escurrieran en el sedimento, ralentizando significativamente el proceso de esqueletización, a pesar de que habían transcurrido más de 10 años desde la inhumación pueden influir en la preservación de los restos y la formación de adipocira fresca (Forbes, Dent y Stuart, 2005; Guerrero et al., 2013). Sin embargo, Ubelaker y Zarenko (2011) sugieren que los materiales impermeables, como el plástico, pueden demorar la formación de adipocira al limitar la exposición a los agentes descomponedores, lo cual contradice las observaciones realizadas en el presente estudio.

Por otra parte, los restos óseos analizados de la colección Lambre y los casos de individuos con los diversos tipos de trayectoria, evidenciaron la presencia de adipocira seca, lo que estaría demostrando una mayor preservación de los tejidos (óseo y adiposo), por ende, una mayor antigüedad de la misma (Forbes, Stuart y Dent 2002, 2005; Gennard, 2007; Rogers, 2010). Si bien varios autores acuerdan que la vestimenta y el plástico promueven la formación de adipocira, nuestros resultados apoyan la propuesta de Magni, Lawn y Guareschi (2020), quienes sostienen que la ropa de poliéster facilitaría el endurecimiento de la adipocira al permitir el intercambio catiónico entre los diferentes agentes (suelo, material orgánico e inorgánico) que intervienen en el contexto de inhumación.

Por último, también se llevó a cabo un análisis exploratorio sobre la influencia del pH del suelo, con el propósito de corroborar una posible relación entre este factor y la formación de adipocira. El pH del sedimento es una variable crucial para entender el entorno en el que se han preservado los restos óseos, aunque poco se sabe sobre su efecto en los mismos (Lyman, 1984; Carter y Tibbet, 2008). Dado que el pH influye en la solubilidad y estabilidad de los minerales, conocer su comportamiento cerca de los elementos esqueléticos es fundamental para discernir los procesos postdeposicionales y tafonómicos que han afectado a los huesos a lo largo del tiempo. La variabilidad en los valores de pH observadas en el CMLP refleja las condiciones del entorno en que los restos óseos han

estado expuestos. Los valores bajos de pH (alrededor de 5 y 6) detectados en algunas áreas del cementerio nos estarían indicando una acidificación localizada, probablemente causada por la actividad microbiana durante la descomposición de la materia orgánica, la acumulación de compuestos ácidos y la descomposición de raíces muertas (Torres-Guerrero et al., 2013). Estos valores ácidos podrían acelerar la descomposición de los materiales orgánicos, mientras que los pH más altos, como los registrados en las zonas cercanas a los huesos, sugieren un ambiente alcalino, lo que podría favorecer la formación de adipocira (Lyman, 1984; Favier Dubois, 2001; Carter y Tibbet, 2008). La diferencia en los valores de pH entre el interior y la periferia del CMLP podría estar influenciada por la presencia de vegetación en el entorno, y la falta de enterramientos en esas áreas (Miguez, 2024).

Conclusiones

Los resultados obtenidos han permitido identificar una serie de tendencias relevantes a considerar en los futuros casos de hallazgos forenses con presencia de adipocira en nuestra región. Se observó una mayor frecuencia de adipocira en individuos con trayectorias complejas en sectores anegables del cementerio y en aquellos envueltos en materiales que retienen humedad, como bolsas plásticas. Si bien estas observaciones no alcanzaron significancia estadística, constituyen un aporte relevante para interpretar los factores que inciden en la conservación diferencial de los restos humanos.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran el reducido número de restos exhumados por nuestro equipo, lo que imposibilita la obtención de información contextual precisa, en particular de datos como la profundidad exacta de inhumación o el tipo de envoltorios utilizados. Contar con estos datos permitiría establecer relaciones más claras entre las condiciones específicas de enterramiento y la formación de adipocira, mejorando la capacidad para identificar factores determinantes y fortalecer la interpretación de resultados.

Como líneas futuras de investigación, se propone ampliar la muestra mediante nuevas

exhumaciones controladas en el Cementerio Municipal de La Plata, aparte de realizar un seguimiento de los casos con presencia de adipocira que fueron reinhumados, con el objetivo de observar la evolución de los procesos de conservación y descomposición a lo largo del tiempo. Asimismo, se propone ampliar la muestra total, incorporar nuevos casos en condiciones controladas y sistematizar el registro de variables clave como el tipo de féretro, ropa, envoltorio y condiciones de drenaje. Finalmente, se plantea profundizar los estudios sobre el pH del suelo y su relación con la preservación diferencial, como una vía exploratoria complementaria que podría enriquecer la interpretación tafonómica en contextos de inhumación recientes.

Agradecimientos

A Javier, Niño, Teo, Carina, Alicia, Juan, Ricky y al personal del CMLP por su apoyo. Al Dr. Francini y al equipo del CENEXA por su colaboración en la medición del pH. A la Universidad Nacional de La Plata por el apoyo económico brindado (Proyecto M254). Agradecemos también a los revisores por sus valiosas contribuciones, que enriquecieron este trabajo.

Bibliografía

- Aranda C., Barrientos G., Del Papa M.C. (2014). Código deontológico para el estudio, conservación y gestión de restos humanos de poblaciones del pasado. *Rev Arg Antrop Biol* 16(2): 111-113. doi: <https://doi.org/10.17139/raab.2014.0016.02.05>
- Aturaliya S., Lukasewycz A. (1999). Experimental forensic and bioanthropological aspects of soft tissue taphonomy: 1. Factors influencing postmortem tissue desiccation rate. *J Forensic Sci* 44(5): 893-396. doi: <https://doi.org/10.1520/JFS12011J>
- Beretta A., Bassahum D., Musselli R. (2014). ¿Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando? *Agrociencia (Uruguay)* 18(2): 90-94. doi: <https://doi.org/10.31285/AGRO.18.469>
- Byard R.W., Simpson E., Forbes S.L. (2020). Arid climate adipocere—The importance of microenvironment. *J*

- Forensic Sci 65(1): 327-329. doi: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14152>
- Carter D.O., Tibbett M. (2008). Cadaver decomposition and soil: processes. En: Soil analysis in forensic taphonomy. Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains: 29-51. CRC Press. Boca Raton, Florida. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420069921>
- Dix J., Graham M. (2000). Time of Death, Decomposition and Identification. An atlas. Boca Raton, Florida: CRC Press. doi: <https://doi.org/10.4324/9780367806422>
- Etcheberria F., Serrulla F. (2020). The case of the brains of La Pedraja. Forensic sciences and historical memory in Spain. *Métode Sci Stud J* 10: 109-117. Doi: <https://doi.org/10.7203/metode.10.13295>
- Evans W.E. (1963). Adipocere formation in a relatively dry environment. *Med Sci Law* 3: 145-153.
- Favier Dubois C.M. (2001). Análisis geoarqueológico de los procesos de formación del registro, cronología y paleoambientes, en sitios arqueológicos de Fuego-Patagonia. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires (Argentina). https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n3404_FavierDubois
- Ferlini Timms R. (1994). Determinación del tiempo de muerte en cadáveres putrefactos, momificados y saponificados. *Med leg Costa Rica* 10(2): 17-21.
- Forbes S.L., Dent B.B., Stuart B.H. (2005). The effect of soil type on adipocere formation. *Forensic Sci Int* 154(1): 35-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.09.108>
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dadour I.R., Dent B.B. (2004). A preliminary investigation of the stages of adipocere formation. *J Forensic Sci* 49(3): 566-574. doi: <https://doi.org/10.1520/JFS2002230>
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dent B.B. (2002). The identification of adipocere in grave soils. *Forensic Sci Int* 127(3): 225-230. Doi: [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(02\)00127-5](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(02)00127-5)
- Forbes S.L., Stuart B.H., Dent B.B. (2005). The effect of the burial environment on adipocere formation. *Forensic Sci Int* 154(1): 24-34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.09.107>
- García-Mancuso R., Plischuk M., Desántolo B., Garizoain G., Sardi, M.L. (2019). Ethical Considerations in Human Remains Based Research in Argentina. En: Ethical Approaches to Human Remains. A Global Challenge in Bioarchaeology and Forensic Anthropology: 447-463. Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32926-6_20
- Gennard D.E. (2007). Forensic Entomology: An introduction. Chichester (UK). John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1603/033.046.0538>
- Guareschi E., Dadour I.R., Magni P.A. (2019). A taphonomic examination of inhumed and entombed remains in Parma cemeteries, Italy. *Glob J Forensic Sci Med* 1(4): 1-8. doi: <https://doi.org/10.33552/GJFSM.2019.01.000518>
- Guerrero J.M., Villalobos C., Navarro A.I., Medina C.S. (2013). Propuesta metodológica para el abordaje forense de cadáveres en estado de adipocira. *Antistio Rev Cient INMLCF Colomb* 1(1): 71-80. doi: <https://doi.org/10.60007/antistio.4556>
- Lehninger A.L., Nelson D.L., Cox M.M. (2008). Principles of Biochemistry (5°ed.). W.H. Freeman and Co., Ltd. <http://doi.org/10.1007/978-3-662-08289-8>
- Lyman R.L. (1984). Bone density and differential survivorship of fossil classes. *J Anthropol Archaeol* 3(4): 259-299. doi: [https://doi.org/10.1016/0278-4165\(84\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0278-4165(84)90004-7)
- Magni P.A., Lawn J., Guareschi E.E. (2020). A practical review of adipocere: Key findings, case studies and operational considerations from crime scene to autopsy. *J Forensic Leg Med* 78: 102109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2020.102109>
- Miguez L.J. (2024). Lineamientos metodológicos para la recuperación de restos óseos humanos en contextos forenses. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata (Argentina). doi: <https://doi.org/10.35537/10915/164621>
- Miguez L.J., Plischuk M., Lamenza G. (2022). Arqueología forense. Primeras experiencias en un cementerio contemporáneo (La Plata, Argentina). *Intersec Antropol* 23 (Especial 1): 23-34. doi: <https://doi.org/10.37176/iea.23.Especial1.2022.715>
- Nociarová D. (2016). Taphonomic and anthropological analysis of unclaimed human remains from cemetery context in Barcelona. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona (España). <http://hdl.handle.net/10803/393919>
- O'Brien T.G., Kuehner A.C. (2007). Waxing grave about adipocere: soft tissue change in an aquatic context. *J Forensic Sci* 52(2): 294-301. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00362.x>
- Plischuk M., Garizoain G., Petrone S., Desántolo B., García-Mancuso R., Salceda S., Inda A.M. (2020). El aporte de las colecciones osteológicas documentadas: líneas de investigación en la Colección "Prof. Dr. Rómulo Lambre" (La Plata, Argentina). *Jangwa Pana* 19(1): 5. doi: <https://doi.org/10.21676/16574923.3447>
- Quiroz Carmona M.P. (2007). Necesidad de la aplicación de la entomología forense como prueba pericial en la determinación del cronotanodiagnóstico en cadáveres antiguos, encontrados al aire libre. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México (México). <https://repositorio.unam.mx/contenidos/316766>
- Reverte J.M. (1999). Antropología Forense (segunda edición). Madrid. Ministerio de Justicia, Secretaría General Técnica.

- Rogers C. (2010). Dating death: Forensic taphonomy and the postmortem interval. PhD Dissertation. University of Wolverhampton (UK). <http://hdl.handle.net/2436/210852>
- Salceda S., Desántolo B., García-Mancuso R., Plischuk M., Prat G., Inda A. (2009). Integración y conservación de la Colección Osteológica "Profesor Doctor Rómulo Lambre": Avances y Problemáticas. *Rev Arg Antrop Biol* 11(1): 133-141. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/6029>
- Sempé M.C., Viera L., García T., García B., Gómez E. (2009). Arquitectura, urbanismo y simbología masónica en cementerios urbanos. Buenos Aires, Argentina: María Carlota Sempé. (Ed.).
- Sorg M.H., Haglund W.D., Wren J.A. (2012). Current research in forensic taphonomy. En: D.C. Dirkmaat (Ed.). *A Companion to Forensic Anthropology*: 477-498. Wiley online Library. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118255377.ch24>
- Torres-Guerrero C.A., Etchevers J.D., Fuentes-Ponce M.H., Govaerts B., León-González F.D., Herrera J.M. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoam* 31(1): 71-84.
- Ubelaker D.H., Zarenko K.M. (2011). Adipocere: what is known after over two centuries of research. *For Sci Int* 208(1-3): 167-172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.11.024>
- Vargas E. (1989). *Medicina Legal: Compendio de Ciencias Forenses para Médicos y Abogados*. 3ra. edición. San José (Costa Rica): Lehmann.
- Vass A.A. (2001). Beyond the grave-understanding human decomposition. *Microbiol Today* 28: 190-192.



CONTENTS - Vol. 51 (2025)

- 01 **Eva Fernández-Domínguez and Eduardo Arroyo-Pardo**
Obituary: Thank you, Daniel (1947-2025).
- 01 **Hajar El Hendaoui, Rachida Moustakim, Imane Barakat, Mostafa Kandil, Mohamed Mziwira, Mohammed Elayachi, Abdellah Elhabazi and Rehia Belahsen**
Evaluation of the determinants of adherence to the Mediterranean diet in an adult population of Khouribga province in Morocco
- 15 **Aline Jelenkovic, Lara Huebra, Alaitz Poveda, María Eugenia Ibáñez-Zamacona and Esther Rebato**
Attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) as a developmental mismatch. A systematic review.
- 26 **Imane Barakat, Sanaa El-Jamal, Halima Belaoufi, Halima Daif, Rachida Moustakim, Mohammed Elayachi and Rehia Belahsen**
Anthropometric measures: associated factors, and relationships with weight satisfaction in an adult population
- 35 **José Mauricio Hernández-Sarmiento, Diana Marcela Berrio Galeano and Timisay Monsalve-Vargas**
Detection of tuberculosis in ancient human remains: a narrative review from palaeopathology and palaeogenomics.
- 44 **Linda Jezabel Miguez, Marcos Plischuk, Guillermo Lamenza, Liz Carla Cesa and Bárbara Desántolo**
The presence of adipocere in contemporary human skeletal remains: its importance in forensic contexts (Argentina).

SUMARIO - Vol. 51 (2025)

- 01 **Eva Fernández-Domínguez y Eduardo Arroyo-Pardo**
Obituario: Gracias, Daniel (1947-2025)
- 01 **Hajar El Hendaoui, Rachida Moustakim, Imane Barakat, Mostafa Kandil, Mohamed Mziwira, Mohammed Elayachi, Abdellah Elhabazi y Rekia Belahsen**
Evaluation of the determinants of adherence to the Mediterranean diet in an adult population of Khouribga province in Morocco
- 15 **Aline Jelenkovic, Lara Huebra, Alaitz Poveda, María Eugenia Ibáñez-Zamacona y Esther Rebato**
El trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) como desajuste evolutivo. Una revisión sistemática
- 26 **Imane Barakat, Sanaa El-Jamal, Halima Belaoufi, Halima Daif, Rachida Moustakim, Mohammed Elayachi y Rekia Belahsen**
Anthropometric measures: associated factors, and relationships with weight satisfaction in an adult population
- 35 **José Mauricio Hernández-Sarmiento, Diana Marcela Berrio Galeano y Timisay Monsalve-Vargas**
Detección de la tuberculosis en restos humanos antiguos: revisión narrativa desde la paleopatología y la paleogenómica
- 44 **Linda Jezabel Miguez, Marcos Plischuk, Guillermo Lamenza, Liz Carla Cesa y Bárbara Desántolo**
Presencia de adipocira en restos óseos humanos contemporáneos: su importancia en contextos forenses (Argentina)