



## Impacto de exposición de moléculas orgánicas derivadas de hidrocarburos en jóvenes universitarios

Ricardo Alberto Suárez Pérez<sup>1</sup>, José Arnold González-Garrido<sup>1,2</sup>, Adelma Escobar-Ramírez<sup>1,2</sup>,  
Eduardo De la Cruz-Cano<sup>1,2,3</sup>, Carlos Javier López-Victorio<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular, CICTAT, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, Tabasco, C.P. 86690, México

<sup>2</sup>Grupo de investigación Bioquímica y Biología Molecular, <sup>1</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

<sup>3</sup>Secretaría de Salud, Hospital General de Comalcalco, Departamento de Laboratorio de Análisis Clínicos, Comalcalco, Tabasco C.P. 86300, México.

\*[javier.lopez@ujat.mx](mailto:javier.lopez@ujat.mx)

---

### Resumen

**Introducción.** La exposición a moléculas orgánicas derivadas de hidrocarburos aromáticos policíclicos, se ha vinculado con la patogénesis de diferentes trastornos metabólicos como la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2. Una hipótesis emergente se basa en que la exposición a disruptores endocrino-ambientales juega un papel importante en la fisiopatología de estos trastornos al alterar la programación metabólica en estos individuos. **Objetivo.** Investigar la asociación entre los hidrocarburos aromáticos policíclicos con la obesidad en estudiantes universitarios. **Resultados.** Se identificó una banda en el espectro de 265 nm, correspondiente a las muestras de pacientes obesos, lo cual fue relacionado con la exposición a HAP. También, se identificaron tres estudiantes con datos de proteinuria durante el examen general de orina. **Conclusión.** Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que la exposición a productos químicos altera el sistema endocrino contribuyendo al riesgo de obesidad.

**Palabras clave:** hidrocarburos aromáticos policíclicos, obesidad, contaminantes ambientales.

### Abstract

**Introduction.** Exposure to organic molecules derived from polycyclic aromatic hydrocarbons has been linked to the pathogenesis of different metabolic disorders such as obesity and type 2 diabetes mellitus. An emerging hypothesis is based on the fact that exposure to endocrine-environmental disruptors plays an important role in the pathophysiology of these disorders by altering metabolic programming in these individuals. **Objective.** Investigate the association between polycyclic aromatic hydrocarbons with obesity in university students. **Results.** A band in the 265 nm spectrum was identified corresponding to the samples of obese students, which was related to exposure to PAH. **Conclusion.** The results obtained in this research suggest that exposure to chemicals alters the endocrine system contributing to the risk of obesity.

**Keywords:** polycyclic aromatic hydrocarbons, obesity, environmental pollutants.

---

Recibido: 12 de mayo de 2019. Aceptado: 31 agosto 2019. Publicado: 1 de diciembre de 2019.



## 1. Introducción

La obesidad es un grave problema de salud pública, en la cual el índice de masa corporal (IMC) se encuentra incrementado  $\geq 30\text{kg/m}^2$  [1, 2]. La prevalencia de esta condición está aumentando tanto en países desarrollados como en países subdesarrollados [1]. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que más de 700 millones de personas en todo el mundo padecen obesidad y aproximadamente más de 2 mil millones de personas tienen sobrepeso [3]. Los factores de riesgo asociados con esta enfermedad incluyen: genéticos [4, 5], metabólicos [6], tabaquismo [7] y estilo de vida sedentaria [8]. Asimismo, la obesidad se ha relacionado con la patogénesis de diversas enfermedades endocrino-metabólicas como: diabetes mellitus [9], hígado graso no alcohólico [10, 11], diversos tipos de cánceres [12, 13], infarto agudo de miocardio [14] y accidentes cerebrovasculares [15, 16]. Por lo tanto, la obesidad es un tema de gran preocupación, y la prevención de esta enfermedad es un paso esencial para controlarla. Una hipótesis emergente asociada con el incremento de la obesidad es que la exposición a moléculas orgánicas derivadas de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP) puede desempeñar un papel importante en la patogénesis de esta enfermedad [17, 18]. Los HAP son una familia de compuestos químicos que se forman a través de la combustión incompleta de materiales orgánicos. Son penetrantes en el medio ambiente y se distribuyen ampliamente en la atmósfera [19, 20]. La exposición a los HAP puede darse por inhalación de humo de cigarrillos, inhalación de humo de vehículos, ingestión de carnes asadas y alimentos procesados [19].

Químicamente, los HAP consisten en dos o más anillos aromáticos fusionados [19, 20]. Los HAP de bajo peso molecular que tienen dos o tres anillos aromáticos se emiten en fase gaseosa, mientras que los HAP de alto peso molecular, con cinco o más anillos, se emiten en fase de partículas [20, 21]. La evidencia sugiere que los HAP son carcinógenos conocidos y disruptores endocrinos [22, 23]. Los HAP hidroxilados, el principal producto metabólico de los HAP, son estructuralmente similares al estrógeno y se ha demostrado que tienen actividades estrogénicas [23, 24]. Asimismo, existe evidencia de que los HAP pueden interrumpir las vías mediadas por estrógenos [24, 25]. Por ejemplo, algunos HAP como el fenantreno y el fluoranteno, muestran efectos anti-androgénicos [26]. Es importante resaltar, que los HAP se transportan a todos los tejidos del cuerpo humano que contienen grasa y tienen fuertes propiedades lipofílicas [17]. Se pueden almacenar en las células grasas, el hígado y los riñones y pueden acumularse por exposiciones repetidas y a largo plazo [17]. En este sentido, estudios realizados en adolescentes han demostrado que el benzopireno, un HAP de alto peso molecular, conduce al aumento de peso, y aumenta la probabilidad de asma bronquial [27]. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue investigar si los HAP están asociados con los resultados de sobrepeso y obesidad en estudiantes universitarios.

## 2. Pregunta de Investigación

¿Cómo influye la exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos con el riesgo de obesidad en estudiantes universitarios?

## 3. Metodología experimental

### 3.1. Población de estudio

El presente estudio de cohorte se realizó en el Departamento de Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular de la División Académica de Ciencias Básicas (DACB) de la Universidad Juárez



Autónoma de Tabasco (UJAT), durante el periodo enero a noviembre de 2018. La población consistió en 48 estudiantes pertenecientes a la División Académica de Ciencias Básicas y a la División Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez (DAMJ). Los participantes autorizaron mediante consentimiento informado y respondieron un cuestionario que incluía: hábitos alimenticios, ocupacionales, factores hereditarios, condiciones socioeconómicas.

### 3.2. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión fueron: ser mexicanos entre 17 a 25 años, estudiante en activo de las DACB y/o DAMJ. Ser originario de alguno de los municipios del Estado de Tabasco pertenecientes a la región Chontalpa (Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo y Paraíso). Por otra parte, estudiantes femeninos, así como individuos que pertenecían a otros municipios fueron excluidos de esta investigación. También fueron excluidos de esta investigación, estudiantes recientemente diagnosticados con enfermedades metabólicas (como dislipidemia, diabetes mellitus tipo 2), así como y endocrinológicas (como hipertiroidismo).

### 3.3. Determinación de marcadores bioquímicos

Se realizaron toma de muestras de sangre a las 7 a.m. en tubo de ensayo sin anticoagulante, después que los estudiantes realizaron ayuno nocturno durante 12 horas y abstención de fumar, así como consumir bebidas alcohólicas y/o bebidas con cafeína. Las mediciones bioquímicas comprendió: glucosa sérica, colesterol total, y triglicéridos. Estos parámetros bioquímicos se midieron utilizando métodos automatizados enzimáticos estandarizados. Los valores de referencia fueron de acuerdo al intervalo normal empleado para la población mexicana [28].

### 3.4. Determinación de sobrepeso y obesidad

Se recolectaron los datos antropométricos (edad, peso y altura), para calcular el IMC. Por lo tanto, se siguieron las recomendaciones de la OMS, respecto a los criterios de sobrepeso/obesidad para comparaciones internacionales: un IMC  $\geq 25$  kg / m<sup>2</sup> se considera "sobrepeso", mientras que un IMC  $\geq 30$  kg / m<sup>2</sup> se define como "obesidad" [3, 29]. Adicionalmente, se determinó el tamaño de circunferencia abdominal (CA) de cada estudiante, como indicador de posibles riesgos de salud relacionados con la acumulación de grasa. Por lo tanto, una CA  $\geq 102$  está asociado a riesgo de comorbilidades [30].

### 3.5 Determinación de patologías del tracto urinario

Para este propósito se recolectó en frasco estéril 30 mL de la primera orina matutina. El examen general de orina incluyó: 1) *Examen físico*. Para determinar el color y turbidez de la orina. 2) *Examen químico*. El cual se determinó utilizando tiras reactivas *BioUridiagA10/MexLab*; este examen incluyó: densidad urinaria, pH, glucosa, proteinuria, nitritos, hemoglobina y esterasas leucocitarias. 3) *Examen de sedimento urinario*. Se llevó a cabo con el objetivo de identificar

componentes microscópicos (como células epiteliales, bacterias, cristales, cilindros) asociados con el funcionamiento renal (ver **Figura 1**).

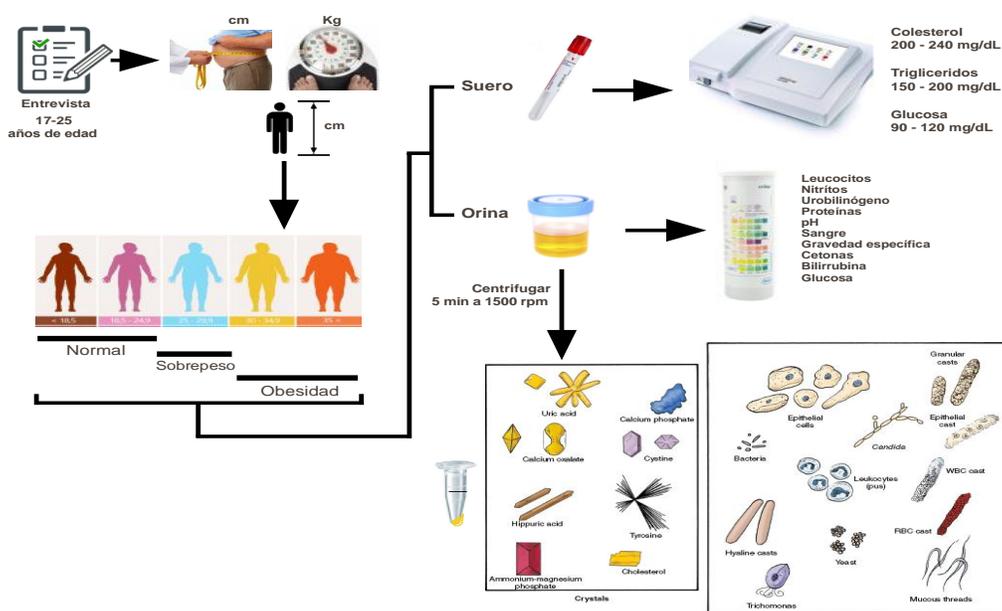


Figura 1. *Protocolo de recolección y análisis de las muestras*. Los estudiantes incluidos en el presente estudio, fueron clasificados con base en su IMC. Posteriormente se recolectaron muestras de orina y sangre, para la determinación de los parámetros bioquímicos.

### 3.6. Detección de HAP mediante espectroscopia de luz ultravioleta visible (UV-VIS)

La caracterización de los HAP se realizó en muestras de orina, siguiendo un protocolo modificado para identificar la presencia de anillos aromáticos mediante espectroscopia de luz ultravioleta visible (UV-VIS) [31]. La espectroscopia UV-VIS es una técnica que involucra la absorción de luz visible o ultravioleta, lo que provoca la excitación de un electrón de la molécula receptora promoviendo el paso de un estado excitado de alta energía. Por lo tanto, la transición electrónica de los orbitales  $\pi$  de los compuestos aromáticos puede identificarse en el rango de 200 – 500 nm [31]. Además, se utilizó como fase estacionaria una columna de vidrio con 10 g de tierra diatomea activada con metanol durante 1 hora. En esta columna, durante 3 horas se diluyó 100  $\mu$ L de muestra en 3 mL de fase móvil (diclorometano, metanol). El eluyente se recolectó para realizar la medición de barrido en el espectrofotómetro Cary 300 UV-Vis/Agilent. Las muestras fueron procesadas por triplicado como se ilustra en la **Figura 2**. La espectroscopia de luz UV-VIS se realizó para identificar moléculas de 2, 3 y 4 anillos aromáticos en la región de 309 nm.

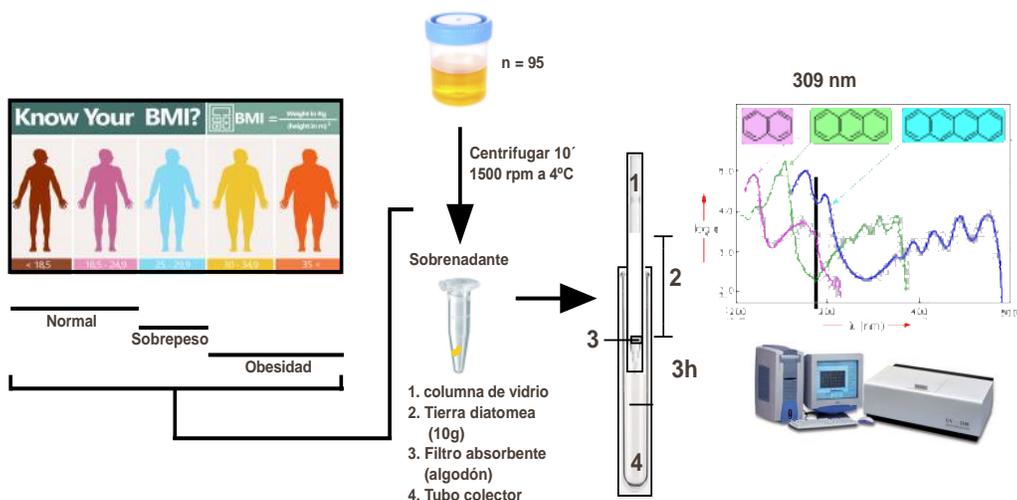


Figura 2. Identificación de anillos aromáticos por espectrometría de luz UV-VIS. Se determinó mediante espectrometría de luz ultravioleta la presencia de compuestos aromáticos. La señal detectada a 309 nm equivale a moléculas de 2, 3 y 4 anillos aromáticos

#### 4. Resultados experimentales

##### 4.1. Distribución de los estudiantes por lugar de procedencia

Se identificó que la mayoría de los participantes eran originarios de los municipios de Centro (31%), y Cunduacán (20%). Un 6% de los participantes eran provenientes del Estado de Chiapas, los cuales fueron incluidos como grupo control, debido a que provenían de zonas no asociadas con la industria petrolera (ver **Figura 3A**). El rango de edad de los participantes fue de 17 a 25 años, siendo de 19 años la edad con mayor frecuencia (ver **Figura 3B**).

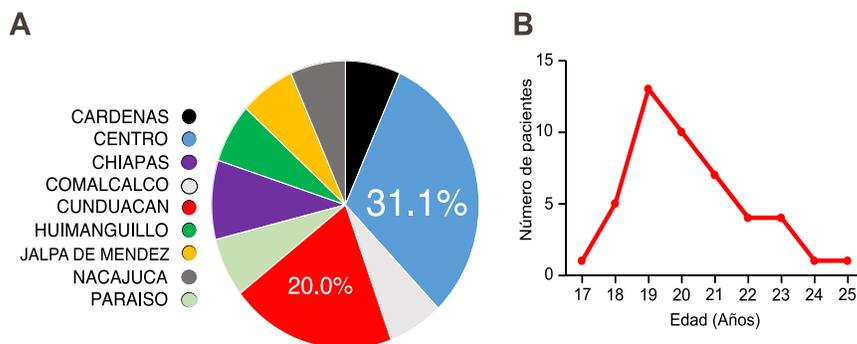


Figura 3. Determinación de los estudiantes por lugar de procedencia (%) y edad (Años).

## 4.2. Clasificación de los estudiantes en función al IMC de procedencia

Los estudiantes fueron agrupados con base en su IMC, en los cuales se encontró que el 34.1% de los estudiantes presentaron sobrepeso y un 39.6% obesidad (ver **Figura 6A**). Por otra parte, la CA fue de  $89.40 \pm 12.16$  (ver **Figura 6B**), una condición que representó un efecto protector en estos individuos.

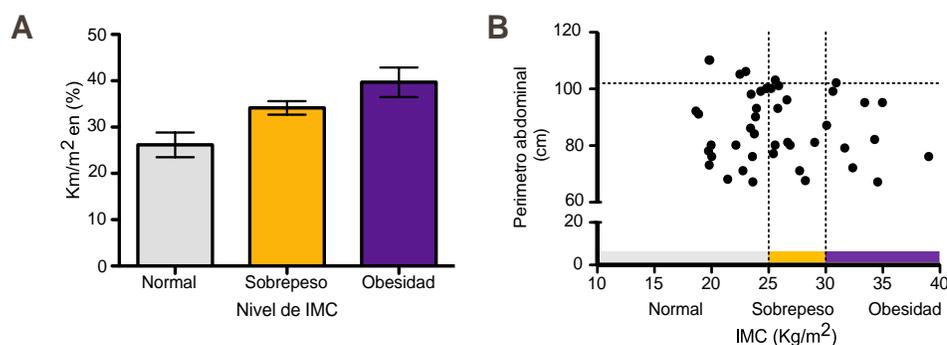


Figura 4. Clasificación de los estudiantes en función al IMC. A) Peso normal: >14–24.9 kg/m<sup>2</sup> (color gris); sobrepeso: 25.0 – 29.9 kg/m<sup>2</sup> (color amarillo); Obesidad: 30 ≥ kg/m<sup>2</sup> (color violeta). B) Promedio de la circunferencia abdominal (CA) expresada en centímetros. Las líneas punteadas verticales representan los límites de los niveles de IMC. La línea punteada horizontal representa el valor límite de CA.

## 4.3. Correlación entre los parámetros bioquímicos y el IMC

Como se muestra en la Figura 5, no se observaron diferencias significativas entre los grupos analizados al comparar el IMC con las concentraciones de glucosa y colesterol séricos. Sin embargo, observamos una diferencia significativa entre el nivel de IMC y el incremento en las concentraciones de triglicéridos.

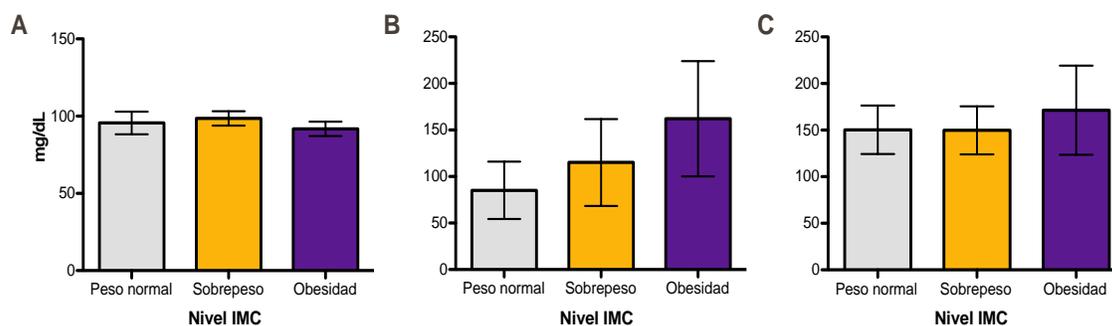


Figura 5. Análisis de correlación *entre los parámetros bioquímicos y el IMC*. **A)** Glucosa sérica. **B)** Triglicéridos. **C)** Colesterol total. Peso normal: >14–24.9 kg/m<sup>2</sup> (color gris); sobrepeso: 25.0 – 29.9 kg/m<sup>2</sup> (color amarillo); Obesidad: 30 ≥ kg/m<sup>2</sup> (color violeta). Las concentraciones séricas están expresadas en mg/dL.

#### 4.4. Detección de HAP en estudiantes obesos mediante espectroscopia de luz UV-Vis

El análisis de espectroscopia de luz UV-Vis, mostró una banda en el espectro de 309 nm, lo cual fue indicativo de estructuras policíclicas de 2, 3 y 4 anillos aromáticos (flecha azul a 309 nm). El control negativo y el solvente, están representados con las líneas amarilla y naranja, respectivamente. Los resultados de los estudiantes con sobrepeso y obesidad se muestran en líneas de color gris (ver **Figura 6**). De manera importante, se identificó una banda en el espectro de 265 nm, correspondiente a las muestras de pacientes obesos, lo cual fue relacionado con la exposición a HAP.

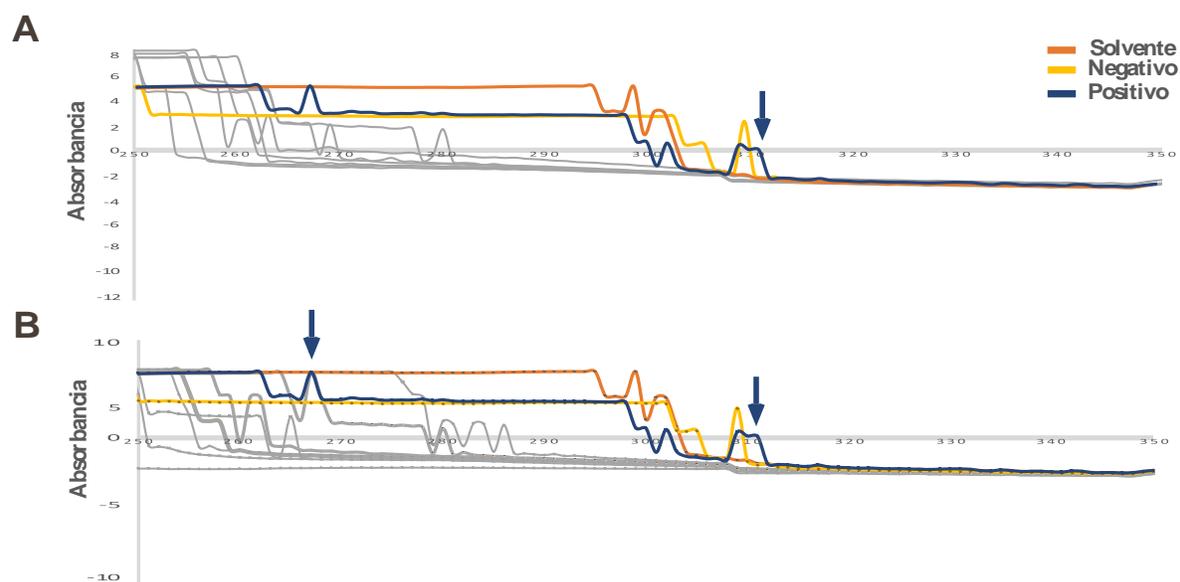


Figura 6. Identificación de *moléculas aromáticas en pacientes obesos*. Representación gráfica del espectro UV-Vis de 250 – 350 nm, en orina de pacientes con sobrepeso **(A)** y obesidad **(B)**. Las líneas representan los valores promedio de 3 muestras individuales; estudiantes (gris), solvente (amarillo), Control positivo (azul), Control negativo (naranja). La escala en eje “y” representa valores de absorbancia, la flecha indica la banda en longitud de onda determinada.

#### 4.5. Hallazgo del examen general de orina

Los resultados de este análisis se detallan en la **Tabla 1**. El examen general de orina se realizó con el propósito de evaluar la función renal de los estudiantes universitarios. Sin embargo, solamente se identificaron tres individuos con datos de proteinuria, los cuales al analizar el sedimento urinario mediante microscopia (40x) se observaron cristales de oxalato de calcio (moderados). Estos cristales son indicadores indirectos de litiasis renal. Por otra parte, al analizar de manera global los resultados de glucosa serica (bioquímica), se identificaron 5 estudiantes con hiperglicemia superior a 110 mg/dL; de los cuales uno de ellos mostró una glicemia de 214.7 mg/dL.



Bioquímica	Examen físico				Examen químico								
	Glucosa Sérica	Color	Aspecto	Densidad	Glucosa (mg/dL)	pH	Leuc (leu/ $\mu$ L)	Proteínas (mg/dL)	Nitritos	Uro (UI/L)	Hgb (Eri/ $\mu$ L)	Cetona (mg/dL)	Bilis (mg/dL)
95.4	A	T	1.025	Negativo	6.0	70.0	Negativo	Negativo	Negativo	1.0	Negativo	5.0	Negativo
94.2	A	T	1.030	Negativo	6.0	70.0	15.0	Negativo	Negativo	1.0	Negativo	5.0	Negativo
89.1	AO	LT	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
97.1	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	15.0	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
90.8	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
85.8	A	LT	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
69.3	AC	T	1.025	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
92.8	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
97.5	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	15.0	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
100.9	A	T	1.025	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	1.0	Negativo	5.0	Negativo
85.7	A	T	1.030	Negativo	6.0	70.0	Negativo	Negativo	Negativo	2.0	Negativo	15.0	Negativo
98.2	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
49.9	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	15.0	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
110.1	A	T	1.025	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
126.3	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
92.8	AC	T	1.025	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
178	AC	T	1.025	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
67.6	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
127.9	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	0.2	25.0	Negativo	Negativo
133.6	AO	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	15.0	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo
70.2	AO	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	1.0	25.0	Negativo	Negativo
214.7	A	T	1.030	Negativo	6.0	Negativo	15.0	Negativo	Negativo	0.2	Negativo	Negativo	Negativo

**Abreviaciones:** A: amarillo; AO: amarillo opaco; AC: amarillo claro; T: turbio; LT: ligeramente turbio; uro: urobilinogeno; hgb: hemoglobina; Leuc: leucocitos

Tabla 1. Resultados de glicemia y del Examen General de Orina de los estudiantes universitarios. determinación de los parámetros bioquímicos.

#### 4.6. Discusión

En el presente estudio, encontramos que la exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos fue significativamente asociada con el sobrepeso/obesidad. Esta asociación fue evidente cuando se comparó con las concentraciones séricas de triglicéridos. La literatura sugiere que la fuente principal de exposición al naftaleno es por inhalación (principalmente contaminación ambiental), mientras que para los HAP más grandes (fluoreno, fenantreno, y pireno), la principal fuente de exposición es dietética. Nuestros resultados coinciden con estudios previos realizados tanto en animales y como en humanos [32, 33]. Por ejemplo Irigaray *et al*[34]., informaron que la exposición a HAP afecta el tejido adiposo, induce lipólisis de tejidos y aumento de grasa en ratones [34]. Similarmente Rundle *et al*[35]., y Poursafa *et al*[33]., informaron que la exposición a HAP de alto peso molecular se asoció con un IMC  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> en pacientes pediátricos [33, 35]. Por otra parte, debe tenerse en cuenta algunas consideraciones al interpretar los resultados de este estudio. El tamaño de la población fue pequeño y este estudio no incluyó a mujeres universitarias. Además, debido a la naturaleza de la presente investigación (estudio de cohorte), no se monitorizó los niveles de HAP. Por lo tanto, los resultados obtenidos pueden no ser representativos de exposiciones a largo plazo; por esta razón, estudios de seguimiento se sugiere realizar en futuras investigaciones con poblaciones más representativas. Finalmente, no se determinó otros predictores de obesidad, por lo cual, no está absolutamente claro que la exposición a HAP sea la



ventana de exposición crítica, y se podría estar observando indirectamente los efectos metabólicos de estas causas.

## 5. Conclusiones

En conclusión, este estudio sugiere que la exposición a los HAP provoca un mayor riesgo de obesidad en estudiantes universitarios. Los puntos fuertes de este estudio incluyen el análisis en orina para evaluar la exposición a los HAP en estudiantes universitarios, el diseño prospectivo de cohorte y el uso de datos de composición corporal para demostrar la asociación de los HAP con el sobrepeso y/o obesidad. Los resultados obtenidos en esta modesta investigación proporcionan evidencia sobre las consecuencias negativas para la salud de la contaminación por HAP y sugiere que la exposición a productos químicos altera el sistema endocrino contribuyendo al riesgo de obesidad.

## 6. Agradecimientos

Se agradece al Programa para el desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el apoyo otorgado a través del proyecto UJAT-PTC-268. También se agradece al Grupo de Investigación en Ciencias de la tierra, DACB, UJAT en especial al Dr. Carlos Mario Morales Bautista, por su participación en la implementación las metodologías de identificación de HAP y al Laboratorio de Análisis Clínicos de la DACB en especial a la M. en C. Blanca Estela Sánchez Trejo por su participación en el desarrollo de las pruebas bioquímicas.

## 7. Referencias

- [1] James PT: **Obesity: the worldwide epidemic.** *Clinics in dermatology* 2004, **22**(4):276-280.
- [2] Yanovski JA: **Obesity: Trends in underweight and obesity - scale of the problem.** *Nature reviews Endocrinology* 2018, **14**(1):5-6.
- [3] Kurisu S, Nitta K, Sumimoto Y, Ikenaga H, Ishibashi K, Fukuda Y, Kihara Y: **Frontal QRS-T angle and World Health Organization classification for body mass index.** *Int J Cardiol* 2018, **272**:185-188.
- [4] Goodarzi MO: **Genetics of obesity: what genetic association studies have taught us about the biology of obesity and its complications.** *The lancet Diabetes & endocrinology* 2018, **6**(3):223-236.
- [5] Fairbrother U, Kidd E, Malagamuwa T, Walley A: **Genetics of Severe Obesity.** *Current diabetes reports* 2018, **18**(10):85.
- [6] Yun HR, Kim H, Park JT, Chang TI, Yoo TH, Kang SW, Choi KH, Sung S, Kim SW, Lee J *et al*: **Obesity, Metabolic Abnormality, and Progression of CKD.** *American journal of kidney diseases : the official journal of the National Kidney Foundation* 2018, **72**(3):400-410.
- [7] Courtemanche C, Tchernis R, Ukert B: **The effect of smoking on obesity: Evidence from a randomized trial.** *Journal of health economics* 2018, **57**:31-44.
- [8] Kohorst MA, Warad DM, Nageswara Rao AA, Rodriguez V: **Obesity, sedentary lifestyle, and video games: The new thrombophilia cocktail in adolescents.** *Pediatric blood & cancer* 2018, **65**(7):e27041.
- [9] Kleinert M, Clemmensen C, Hofmann SM, Moore MC, Renner S, Woods SC, Huypens P, Beckers J, de Angelis MH, Schurmann A *et al*: **Animal models of obesity and diabetes mellitus.** *Nature reviews Endocrinology* 2018, **14**(3):140-162.



- [10] Bullón-Vela MV, Abete I, Martínez JA, Zulet MA: **Obesity and Nonalcoholic Fatty Liver Disease: Role of Oxidative Stress**. In: *Obesity*. edn.: Elsevier; 2018: 111-133.
- [11] Polyzos SA, Kountouras J, Mantzoros CS: **Obesity and nonalcoholic fatty liver disease: from pathophysiology to therapeutics**. *Metabolism* 2018.
- [12] Breininger SP, Malcomson FC, Afshar S, Turnbull DM, Greaves L, Mathers JC: **Effects of obesity and weight loss on mitochondrial structure and function and implications for colorectal cancer risk**. *The Proceedings of the Nutrition Society* 2019, **78**(3):426-437.
- [13] Nattenmuller CJ, Kriegsmann M, Sookthai D, Fortner RT, Steffen A, Walter B, Johnson T, Kneisel J, Katzke V, Bergmann M *et al*: **Obesity as risk factor for subtypes of breast cancer: results from a prospective cohort study**. 2018, **18**(1):616.
- [14] Lavie CJ, Carbone S, Agarwal MA: **An obesity paradox with myocardial infarction in the elderly**. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif)* 2018, **46**:122-123.
- [15] *Sensors (Basel, Switzerland)*.
- [16] Lee HJ, Choi EK: **Risk of ischemic stroke in metabolically healthy obesity: A nationwide population-based study**. 2018, **13**(3):e0195210.
- [17] Yin W, Hou J, Xu T, Cheng J, Li P, Wang L, Zhang Y, Wang X, Hu C, Huang C *et al*: **Obesity mediated the association of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon with risk of cardiovascular events**. *The Science of the total environment* 2018, **616-617**:841-854.
- [18] Hendryx M, Luo J: **Latent class analysis of the association between polycyclic aromatic hydrocarbon exposures and body mass index**. *Environment international* 2018, **121**(Pt 1):227-231.
- [19] Varjani SJ, Joshi RR, Kumar PS, Srivastava VK, Kumar V, Banerjee C, Kumar RP: **Polycyclic aromatic hydrocarbons from petroleum oil industry activities: effect on human health and their biodegradation**. In: *Waste Bioremediation*. edn.: Springer; 2018: 185-199.
- [20] Škrbić B, Marinković V, Spaić S, Milanko V, Branovački S: **Profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke from combustion and thermal decomposition of poplar wood pellets and sawdust**. *Microchemical Journal* 2018, **139**:9-17.
- [21] van Drooge BL, Prats RM, Reche C, Minguillón M, Querol X, Grimalt JO, Moreno T: **Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons and other organic pollutants in the air particles of subway stations in Barcelona**. *Science of the total environment* 2018, **642**:148-154.
- [22] Hao X, Zhang X, Cao X, Shen X, Shi J, Yao Z: **Characterization and carcinogenic risk assessment of polycyclic aromatic and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in exhaust emission from gasoline passenger cars using on-road measurements in Beijing, China**. *The Science of the total environment* 2018, **645**:347-355.
- [23] Oranuba E, Deng H, Peng J, Dawsey SM, Kamangar F: **Polycyclic aromatic hydrocarbons as a potential source of carcinogenicity of mate**. *Journal of environmental science and health Part C, Environmental carcinogenesis & ecotoxicology reviews* 2019, **37**(1):26-41.
- [24] Lam MM, Engwall M, Denison MS, Larsson M: **Methylated polycyclic aromatic hydrocarbons and/or their metabolites are important contributors to the overall estrogenic activity of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soils**. 2018, **37**(2):385-397.
- [25] Vondráček J, Pivnička J, Machala M: **Polycyclic aromatic hydrocarbons and disruption of steroid signaling: History, recent advances and open questions**. *Current Opinion in Toxicology* 2018.
- [26] Hayakawa K: **Chemistry of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Nitropolycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs) and other oxidative derivatives of PAHs**. In: *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*. edn.: Springer; 2018: 3-10.



- [27] Choi H, Dostal M, Pastorkova A, Rossner P, Jr., Sram RJ, Ho SM: **Greater susceptibility of girls to airborne Benzo[a]pyrene for obesity-associated childhood asthma.** *Environment international* 2018, **121**(Pt 1):308-316.
- [28] Urióstegui-Flores A, García-Bravo MdL, Pérez-Pinto A, Orea-Lara A: **Measurement of parameters associated with metabolic syndrome in nursing students from Taxco, México.** *Revista de Salud Pública* 2018, **20**(3):334-339.
- [29] **Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation.** *World Health Organization technical report series* 2000, **894**:i-xii, 1-253.
- [30] Lean ME, Han TS, Morrison CE: **Waist circumference as a measure for indicating need for weight management.** *BMJ (Clinical research ed)* 1995, **311**(6998):158-161.
- [31] Perkampus H-H: **UV-VIS Spectroscopy and its Applications:** Springer Science & Business Media; 2013.
- [32] Siegrist KJ, Romo D, Upham BL, Armstrong M, Quinn K, Vanderlinden L, Osgood RS, Velmurugan K, Elie M, Manke J: **Early Mechanistic Events Induced by Low Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Mouse Lung Epithelial Cells: A Role for Eicosanoid Signaling.** *Toxicological Sciences* 2019, **169**(1):180-193.
- [33] Poursafa P, Dadvand P, Amin MM, Hajizadeh Y, Ebrahimpour K, Mansourian M, Pourzamani H, Sunyer J, Kelishadi R: **Association of polycyclic aromatic hydrocarbons with cardiometabolic risk factors and obesity in children.** *Environment international* 2018, **118**:203-210.
- [34] Irigaray P, Ogier V, Jacquenet S, Notet V, Sibille P, Mejean L, Bihain BE, Yen FT: **Benzo[a]pyrene impairs beta-adrenergic stimulation of adipose tissue lipolysis and causes weight gain in mice. A novel molecular mechanism of toxicity for a common food pollutant.** *The FEBS journal* 2006, **273**(7):1362-1372.
- [35] Rundle A, Hoepner L, Hassoun A, Oberfield S, Freyer G, Holmes D, Reyes M, Quinn J, Camann D, Perera F *et al*: **Association of childhood obesity with maternal exposure to ambient air polycyclic aromatic hydrocarbons during pregnancy.** *American journal of epidemiology* 2012, **175**(11):1163-1172.