

## Glucosa y hemoglobina glicosilada como marcadores tempranos del síndrome metabólico

### *Glucose and glycosylated hemoglobin as early markers of metabolic syndrome*

**Galo Jazmany Asimbaya Jaramillo\***  
Universidad Nacional de Chimborazo  
Riobamba - Ecuador  
galo.asimbaya@unach.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0003-9653-4516>

**Ximena del Rocío Robalino Flores**  
Universidad Nacional de Chimborazo  
Riobamba - Ecuador  
xrobalino@unach.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-4712-6466>

\*Correspondencia:  
galo.asimbaya@unach.edu.ec

**Cómo citar este artículo:**  
Asimbaya, G., & Robalino, X. (2025). Glucosa y hemoglobina glicosilada como marcadores tempranos del síndrome metabólico. *Esprint Investigación*, 4(3), 62-77. <https://doi.org/10.61347/ei.v4i3.188>

**Recibido:** 9 de octubre de 2025

**Aceptado:** 14 de noviembre de 2025

**Publicado:** 17 de noviembre de 2025

**Resumen:** El síndrome metabólico es un trastorno clínico que agrupa un conjunto complejo de alteraciones metabólicas y fisiológicas interrelacionadas. Representa un importante problema de salud pública y se reconoce como un predictor significativo e independiente para el desarrollo de enfermedades crónicas a largo plazo. En este contexto, la glucosa en ayunas y la hemoglobina glicosilada se han propuesto como marcadores bioquímicos útiles para identificar alteraciones glucémicas incipientes. El objetivo de este estudio fue sintetizar la evidencia científica disponible desde 2020 a 2025 sobre la utilidad de la glucosa y la HbA1c como marcadores tempranos del síndrome metabólico, mediante una revisión sistemática de la literatura. Se siguieron las directrices del protocolo PRISMA y la metodología PICOS para definir los criterios de búsqueda, seleccionando estudios originales indexados en Scopus y PubMed. De los 127 registros iniciales, 57 cumplieron los criterios de inclusión. Los resultados mostraron que los valores de glucosa  $\geq 100$  mg/dL y de HbA1c entre 5.4% y 5.7% se asociaron significativamente con un mayor riesgo de desarrollar síndrome metabólico. Asimismo, se evidenció que su uso en atención primaria favorece la detección oportuna de individuos con disfunción metabólica y contribuye a la prevención de enfermedades crónicas. En conclusión, la glucosa y la HbA1c constituyen marcadores accesibles, reproducibles y clínicamente relevantes para la evaluación temprana del riesgo metabólico, consolidando su papel estratégico en el laboratorio clínico y en los programas de prevención y control del síndrome metabólico.

**Palabras clave:** Atención primaria, glucosa, hemoglobina glicosilada, laboratorio clínico, prevención de enfermedades, síndrome metabólico.

**Abstract:** Metabolic syndrome is a clinical disorder that groups together a complex set of interrelated metabolic and physiological alterations. It represents a major public health problem and is recognized as a significant and independent predictor of the long-term development of chronic diseases. In this context, fasting glucose and glycosylated hemoglobin have been proposed as useful biochemical markers to identify incipient glycemic alterations. The objective of this study was to synthesize the scientific evidence available from 2020 to 2025 on the usefulness of glucose and HbA1c as early markers of metabolic syndrome through a systematic literature review. The PRISMA guidelines and the PICOS methodology were followed to define the search criteria, selecting original studies indexed in Scopus and PubMed. Of the initial 127 records, 57 met the inclusion criteria. The results showed that glucose values  $\geq 100$  mg/dL and HbA1c values between 5.4% and 5.7% were significantly associated with an increased risk of developing metabolic syndrome. Likewise, it was evidenced that their use in primary care favors the timely detection of individuals with metabolic dysfunction and contributes to the prevention of chronic diseases. In conclusion, glucose and HbA1c constitute accessible, reproducible, and clinically relevant markers for the early assessment of metabolic risk, consolidating their strategic role in the clinical laboratory and in metabolic syndrome prevention and control programs.

**Copyright:** Derechos de autor 2025 Galo Jazmany Asimbaya Jaramillo, Ximena del Rocío Robalino Flores.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

**Keywords:** Clinical laboratory, disease prevention, glucose, glycosylated hemoglobin, metabolic syndrome, primary care.

## 1. Introducción

La creciente prevalencia del síndrome metabólico representa un desafío importante para la salud pública a nivel global debido a su estrecha asociación con enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 y otras patologías crónicas. La detección temprana de este síndrome es fundamental para implementar estrategias preventivas oportunas que reduzcan su impacto clínico y social. En este contexto, biomarcadores como la glucosa y la hemoglobina glicosilada han adquirido relevancia como herramientas potenciales para identificar individuos en riesgo antes de que se manifiesten complicaciones graves.

El síndrome metabólico (MetS) es uno de los principales peligros para la salud de la era moderna que se caracteriza por la presencia de diversos eventos dismetabólicos como diabetes mellitus tipo 2, obesidad, hipertensión, dislipidemia y problemas cardiovasculares (Mohamed et al., 2023). La presencia de al menos tres de estos factores constituye el diagnóstico de MetS (Islam et al., 2024). Dado que el MetS está estrechamente vinculado a alteraciones en la regulación de la glucosa y la hemoglobina glicosilada, estos marcadores cobran especial importancia como posibles indicadores tempranos de esta condición (Elliott et al., 2021; Xie et al., 2023).

La glucosa, un monosacárido que constituye la principal fuente energética circulante, refleja, a través de su elevación sostenida, una alteración en el metabolismo carbohidratado y aporta información sobre la homeostasis glucémica a corto plazo (American Diabetes Association, 2020). Complementariamente, la hemoglobina glicosilada (HbA1c) es una forma de hemoglobina unida de manera no enzimática a las moléculas de glucosa en la sangre; su concentración indica la exposición promedio a glucosa durante los últimos 2 a 3 meses y se utiliza ampliamente como marcador de control glucémico y criterio diagnóstico de diabetes en la práctica clínica (Selvin, 2021).

Diversos estudios han analizado esta problemática desde distintas perspectivas. De acuerdo con Neeland et al. (2024), el aumento global del síndrome metabólico está impulsado por la urbanización, los estilos de vida sedentarios y los cambios en la dieta, por lo que subraya la urgencia de abordar este síndrome. Asimismo, Warner et al. (2024) analizaron la relación entre HbA1c y biomarcadores de composición corporal obtenidos mediante tomografía computarizada, evidenciando que valores elevados de hemoglobina glicosilada se correlacionan con un aumento de grasa visceral y alteraciones orgánicas relacionadas con la progresión del síndrome metabólico.

En América Latina, el síndrome metabólico también representa un creciente problema de salud pública, afectando aproximadamente al 40% de los adultos, con mayor incidencia en mujeres, adultos mayores y poblaciones urbanas (Parra-Gómez et al., 2025). Los países con mayor prevalencia son Perú, Brasil y Ecuador, donde pacientes con síndrome metabólico presentan valores de HbA1c superiores al rango de referencia, junto con factores de riesgo frecuentes como hipertensión arterial, sedentarismo, tabaquismo y diabetes (Chiquito-Guale et al., 2023).

León-Samaniego et al. (2025) señalan que la alta prevalencia de síndrome metabólico en la población ecuatoriana y su asociación con enfermedades cardiovasculares y endócrinas resalta la importancia de implementar programas de detección temprana. En particular, destaca que el uso de HbA1c como herramienta diagnóstica ofrece ventajas frente a la glucosa en ayunas, facilitando intervenciones oportunas. Además, Baldeón et al. (2021) enfatizan que la prevalencia del síndrome metabólico es altamente significativa tanto en comunidades urbanas como rurales, siendo más frecuente en mujeres de 50 años, con menor nivel educativo y con bajos recursos económicos.

A pesar de los estudios disponibles sobre este tema, estos resultan dispersos y con limitaciones en cuanto a la precisión diagnóstica, la comparación directa entre ambos marcadores y la variedad metodológica de los estudios. Esta situación dificulta la elaboración de recomendaciones claras para su aplicación en atención primaria y prevención (Boye et al., 2022; Huang et al., 2021).

Por ello, el objetivo de esta investigación es analizar y sintetizar la evidencia bibliográfica disponible sobre glucosa y hemoglobina glicosilada como marcadores tempranos del síndrome metabólico mediante una revisión sistemática de la literatura (SLR) de estudios publicados entre 2020 y 2025. Las preguntas de investigación definidas para esta revisión son: (1) ¿Qué valores de glucosa y hemoglobina glicosilada son asociados con mayor riesgo de síndrome metabólico?, y (2) ¿Cuáles son las implicaciones en el uso de estos marcadores en contextos de atención primaria y prevención de enfermedades crónicas? Esta revisión sistemática busca aportar un conocimiento actualizado y riguroso que contribuya a optimizar la identificación oportuna y el manejo clínico del síndrome metabólico, favoreciendo la implementación de intervenciones tempranas que mejoren la salud poblacional.

## 2. Metodología

La presente investigación tiene un enfoque mixto, con alcance descriptivo y diseño de síntesis de evidencia científica, además analiza parámetros clínicos en forma de números. El procedimiento se desarrolló conforme a las directrices del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar transparencia y reproducibilidad en las fases de búsqueda, selección, extracción y síntesis de la evidencia (Page et al., 2021). Además, se utilizó la metodología PICOS como marco conceptual para formular las preguntas de investigación y definir los criterios de búsqueda. Los componentes considerados fueron:

- P (Población): General.
- I (Intervención o condición de interés): glucosa y/o hemoglobina glicosilada como marcadores.
- C (Comparación): individuos con niveles normales.
- O (Resultado): detección temprana de síndrome metabólico y métricas de precisión diagnóstica.
- S (Diseño del estudio): estudios originales.

### Criterios de elegibilidad

Se definieron como criterios de inclusión estudios originales publicados entre los años 2020 - 2025 hasta la fecha de búsqueda (16/10/2025), que aborden la relación o el valor de la glucosa y/o la hemoglobina glicosilada como marcadores tempranos o predictivos del síndrome metabólico, asegurando la inclusión de investigaciones con diseño metodológico que permita la obtención y análisis de datos primarios para garantizar la validez de los resultados. Además, no se aplicaron restricciones de idioma con el fin de maximizar la recuperación de evidencia relevante.

Se excluyeron documentos publicados fuera del período establecido, estudios que no se relacionen directamente con el análisis de la glucosa y hemoglobina glicosilada como marcadores tempranos del síndrome metabólico, así como revisiones sistemáticas, documentos de conferencias, capítulos de libros, libros completos, cartas al editor, notas, estudios retractados, artículos sin acceso a texto completo y estudios sin resultados publicados.

## Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos Scopus y PubMed, seleccionadas por su amplia cobertura en literatura multidisciplinaria. La estrategia se estructuró de acuerdo con la metodología PICOS, organizando los términos en las siguientes categorías conceptuales: Intervención, "glucosa", "glycosylated hemoglobin"; Resultados, "metabolic síndrome", "early detection"; y diseño del estudio: "artículos originales". Se combinaron los términos con operadores booleanos (and, or) y la búsqueda se centró en principalmente en los títulos, así como en los resúmenes y palabras clave, adaptando la sintaxis de la cadena a las particularidades de cada base de datos. La tabla 1 muestra las cadenas de búsqueda utilizadas, así como el número total de estudios recuperados en cada base de datos.

## Métodos de síntesis

Para la extracción de datos se diseñó una matriz estandarizada basada en la metodología PICOS en la cual se registraron datos principales de cada estudio como país, diseño del estudio, tamaño muestral, características poblacionales, marcador(s) evaluado(s), umbrales analizados, métricas de rendimiento diagnóstico, desenlaces asociados y resultados principales. Posteriormente, los datos extraídos fueron categorizados y analizados de manera descriptiva, presentándose los hallazgos de forma tabular además de narrativa para facilitar la comparación y síntesis de la evidencia disponible.

**Tabla 1**

*Estrategia de búsqueda y número de estudios recuperados*

Base de datos	Cadena de búsqueda	Estudios
Scopus	(TITLE (glucose OR "glycated hemoglobin" OR "glycosylated hemoglobin" OR "hemoglobin A1c" OR "HbA1c") AND TITLE ("metabolic syndrome" OR "metabolic risk") AND TITLE-ABS-KEY (marker OR biomarker OR "early detection")) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))	85
Pubmed	((glucose[Title]) OR ("glycated hemoglobin"[Title]) OR ("glycosylated hemoglobin"[Title]) OR ("hemoglobin A1c"[Title]) OR (HbA1c[Title])) AND (("metabolic syndrome"[Title]) OR ("metabolic risk"[Title])) AND ((marker[Title/Abstract]) OR (biomarker[Title/Abstract]) OR ("early detection"[Title/Abstract])) AND (y_5[Filter])	42
Total		127

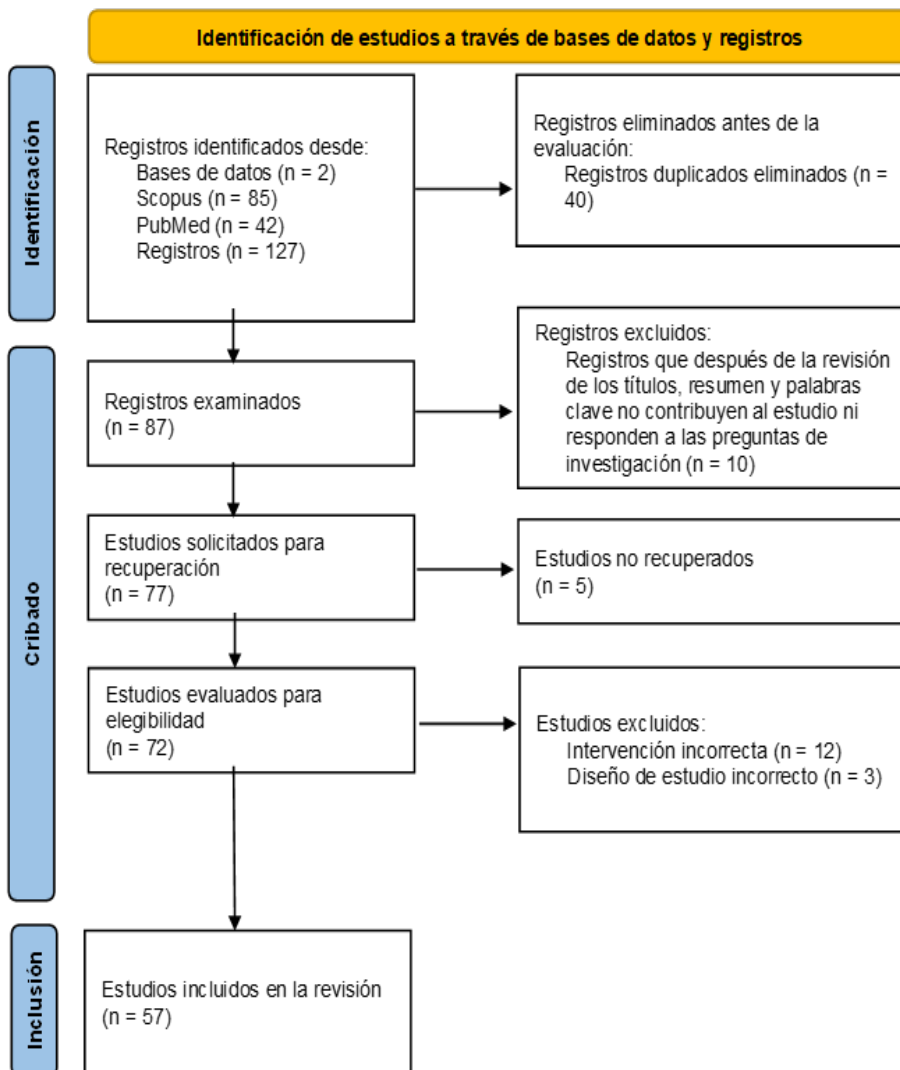
## 3. Resultados

El proceso de selección de los estudios se desarrolló conforme a las directrices del diagrama de flujo PRISMA, garantizando la transparencia y trazabilidad en la identificación, cribado y elegibilidad de los registros. En la fase de identificación, se recuperaron un total de 127 estudios provenientes de dos bases de datos científicas: Scopus (n = 85) y PubMed (n = 42). Posteriormente, se eliminaron 40 registros duplicados, obteniéndose un total de 87 estudios únicos para el proceso de cribado inicial. Durante la etapa de cribado, los títulos, resúmenes y palabras clave fueron revisados, excluyéndose 10 registros

que no se relacionaban con el objetivo del estudio ni respondían a las preguntas de investigación planteadas. De los 77 estudios seleccionados para su recuperación en texto completo, 5 no pudieron ser obtenidos, por lo que se procedió con la evaluación de elegibilidad de 72 artículos. En esta fase, se excluyeron 15 estudios no ajustarse a los criterios PICOS establecidos. Finalmente, un total de 57 estudios fueron considerados para el análisis final de la revisión sistemática, como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 1.

**Figura 1**

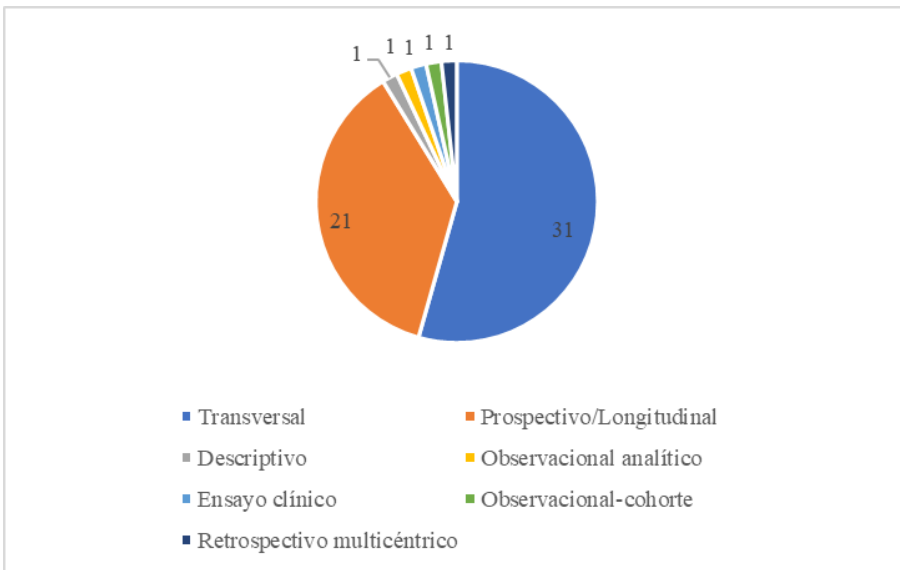
Diagrama de flujo PRISMA 2020



La mayoría de los estudios incluidos en la revisión sistemática son de tipo transversal, representando la categoría con mayor frecuencia (ver figura 2). Le siguen los estudios de tipo prospectivo o longitudinal, que también tienen una participación significativa. Se identifican además estudios descriptivos, análisis observacionales, ensayos clínicos, y algunos estudios retrospectivos multicéntricos. Esta distribución refleja una predominancia de diseños transversales y prospectivos, lo que sugiere enfoques variados en la recopilación y análisis de datos dentro del área investigada.

**Figura 2**

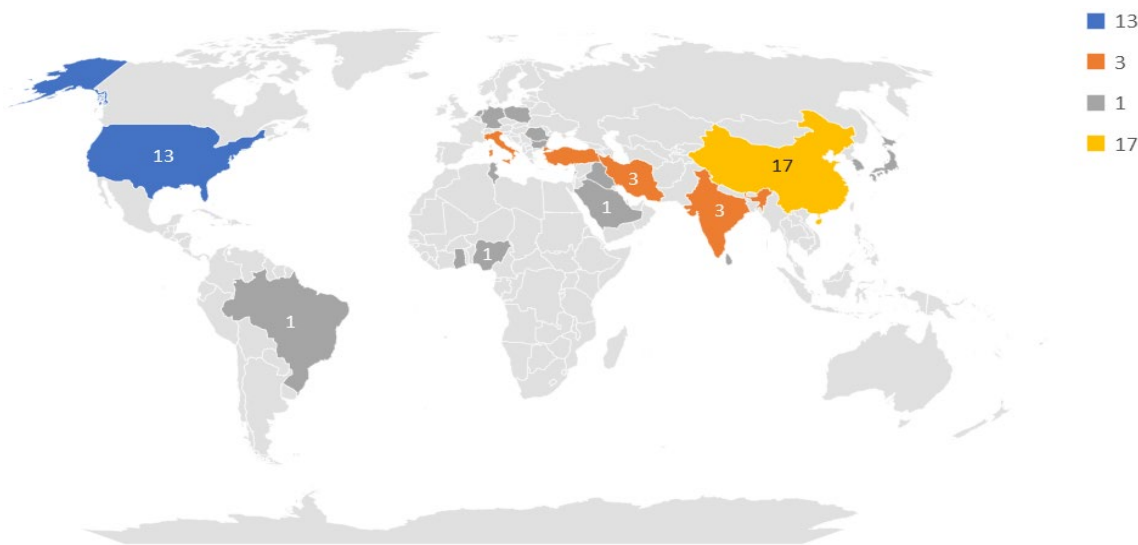
*Diseño metodológico de los estudios*



El análisis de la distribución geográfica de los estudios (ver figura 3), indica que China y Estados Unidos lideran la contribución en el campo de análisis, con una cantidad considerablemente mayor en comparación con otras naciones. Países como Irán, Turquía, Italia e India también aportan estudios al análisis, aunque en menor medida. El resto de los países contribuyen con uno o pocos estudios, reflejando una diversidad geográfica amplia, pero con concentración significativa en unos pocos países. Esta distribución complementa la heterogeneidad en los diseños de estudio, mostrando además una variabilidad en el origen geográfico de la evidencia científica revisada.

**Figura 3**

*Distribución geográfica de la literatura analizada*



### Valores de glucosa y hemoglobina glicosilada asociados con riesgo de síndrome metabólico

La glucosa en ayunas (FPG) y la hemoglobina glicosilada (HbA1c) son marcadores relevantes en la evaluación del riesgo y el diagnóstico del síndrome metabólico (MetS) debido a que el aumento de la

glucemia y la resistencia a la insulina son características fisiopatológicas fundamentales del síndrome (Adams-Huet et al., 2024). La tabla 2 resume los valores de FPG y HbA1c asociados con MetS en diversas cohortes de estudio, así como los umbrales diagnósticos pertinentes.

**Tabla 2**

Valores de Glucosa y Hemoglobina Glicosilada asociados con síndrome metabólico

Cohorte y población	Metodología de muestra	Marcador	Grupo MetS	Grupo de control	Comparación
Población adulta	Mediana (rango intercuartil)	Glucosa (mg/dL)	111 (102-120)	97 (91-103)	Diferencia altamente significativa
		HbA1c (%)	5.7 (5.4-6.0)	5.3 (5.1-5.6)	
	Media ± SD	FPG (mmol/L)	5.1 ± 0.7	4.7 ± 0.7	Significativamente mayor en MetS
		HbA1c (%)	5.6 ± 0.7	5.0 ± 0.8	
		Prevalencia de MetS	38.5% (Usando criterio ADA HbA1c ≥ 5.7%)	35.2% (Usando criterio FPG ≥ 100 mg/dL)	El corte de HbA1c identificó 3.3% más sujetos con MetS que el criterio FPG
	Media ponderada ± SE	FBG (mg/dL)	119.1 ± 0.6	98.2 ± 0.2	Diferencia altamente significativa
		HbA1c (%)	6.0	5.4 ± 0.0	
Pacientes obesos	Media ± SD	Glucosa (mg/dL)	172.3 ± 55.70	88.8 ± 7.81 (NGT), 109.3 ± 6.96 (IFG)	NGT: Tolerancia Normal a la Glucosa. IFG: Glucosa en Ayunas Alterada. Aumento significativo a través de los grupos glucémicos
Pacientes con DM Tipo 2	Media ± SD	FPG (mg/dL)	200.5 ± 4.7	169.7 ± 5.23	Significativamente mayor en MetS
		HbA1c (%)	9.10 ± 2.1	8.38 ± 2.2	
Criterios diagnósticos	Criterio de componente MetS	FBG (mg/dL)	≥ 100		Criterio para hiperglucemia en la definición de MetS
	Criterio de diabetes (ADA)	FBG (mg/dL)	≥ 126		Umbral diagnóstico de diabetes
	Criterio de diabetes (ADA)	HbA1c (%)	≥ 6.5		Umbral diagnóstico de diabetes

El análisis de la FPG y HbA1c como marcadores asociados al riesgo de MetS confirma su papel central en la prevención, el diagnóstico y la estratificación del riesgo en enfermedades metabólicas. La hiperglucemia en ayunas es, por definición, uno de los cinco componentes diagnósticos principales del MetS (Adams-Huet et al., 2024; Zhang et al., 2025). Los estudios demuestran consistentemente que los sujetos con MetS presentan niveles de FPG significativamente más altos que los grupos de control o sin MetS (Annani-Akollor et al., 2020; Balcioglu et al., 2022; Wan et al., 2024). El valor de corte estándar para que la glucemia en ayunas se considere un componente del MetS es 100 mg/dL (Zhang et al., 2025).

En un análisis realizado en adultos, la mediana de la glucosa en el grupo MetS fue de 111 mg/dL (Rango Intercuartil [IQR]: 102–120), mientras que el grupo control mostró una mediana de 97 mg/dL (IQR: 91–103) (Adams-Huet et al., 2024). Esta diferencia de 14 mg/dL subraya que el grupo MetS tiene una glucemia promedio que excede claramente el umbral de 100 mg/dL. En cohortes específicas, como los pacientes con diabetes tipo 2 (T2DM), el diagnóstico coexistente de MetS está ligado a un control glucémico significativamente peor, con un FPG promedio de 200.5 mg/dL en el grupo con MetS en comparación con 169.74 mg/dL en el grupo sin MetS (Hameed et al., 2022).

Además de ser un criterio diagnóstico, la hiperglucemia en ayunas confiere un riesgo elevado, el FPG alto se asoció con mortalidad cardiovascular (Masrouri et al., 2022). Los niveles de HbA1c son consistentemente más altos en sujetos con MetS (Balcioglu et al., 2022; Wan et al., 2024). En la población adulta, la mediana de HbA1c en el grupo MetS fue de 5.7% (IQR: 5.4–6.0), superando significativamente la mediana del grupo control, que fue de 5.3% (IQR: 5.1–5.6) (Adams-Huet et al., 2024).

Este umbral de 5.7% es notable, ya que coincide con el criterio de la Asociación Americana de Diabetes (ADA) para el diagnóstico de prediabetes, lo que refuerza la noción de que el MetS se correlaciona fuertemente con estados glucémicos pre-diabéticos (Annani-Akollor et al., 2020; Zhang et al., 2025). La HbA1c también aumenta progresivamente a medida que se acumulan más componentes del MetS. En hombres no diabéticos, el valor de HbA1c promedio aumentó de 5.30%±0.02 con cero componentes de MetS a 5.59%±0.04 con cuatro componentes.

En hombres diabéticos, esta progresión fue de 7.87%±0.26 a 8.37%±0.18. Esta correlación positiva con el número de componentes subraya que la HbA1c no solo indica hiperglucemia, sino que también refleja la carga de disfunción metabólica general (Wisniewski et al., 2024). Por lo tanto, los valores de FPG ( $\geq 100$  mg/dL) y HbA1c ( $\geq 5.7\%$ , el límite inferior de la prediabetes) están fuertemente asociados con la presencia y la gravedad del MetS. El análisis de los estudios indica que, si bien el FPG es una medida de diagnóstico directo para el MetS, la HbA1c proporciona una evaluación robusta a largo plazo de la disfunción metabólica subyacente que impulsa el síndrome (Adib et al., 2024; Annani-Akollor et al., 2020; Yan et al., 2025).

### **Implicaciones en el uso de estos marcadores en contextos de atención primaria y prevención de enfermedades crónicas**

La aplicación de biomarcadores tiene un impacto significativo en la modernización de la atención primaria y en la efectividad de las estrategias para prevenir enfermedades crónicas. La Tabla 3 resume los hallazgos sobre la utilidad clínica de la glucosa, la hemoglobina glicosilada y sus índices derivados, en la prevención y manejo de patologías metabólicas y cardiovasculares.

**Tabla 3**

*Implicaciones médicas de la glucosa y hemoglobina glicosilada*

Marcador	Aplicaciones en atención primaria	Implicaciones en la prevención de enfermedades	Autor
Glucosa Plasmática en Ayunas	Diagnóstico Inmediato de MetS: Su valor ( $\geq 100$ mg/dL) es un criterio clave para identificar el MetS	Detección de T2DM: El umbral de FPG $\geq 126$ mg/dL define la diabetes mellitus tipo 2	Annani-Akollor et al. (2020); Dimova et al. (2020); Kaneko et al. (2020); Warner et al. (2024); Wisniewski et al. (2024)
	Accesibilidad y Bajo Costo: medición de laboratorio estándar, rutinaria y de fácil obtención	Evaluación de Riesgo: Niveles elevados se asocian con la progresión de la disfunción glucémica	
Hemoglobina Glicosilada (HbA1c)	Monitoreo Glucémico Crónico: Mide el control de la glucemia a largo plazo (promedio de tres meses), lo que reduce la variabilidad diaria	Predicción de ASCVD: Predictor potencialmente superior del riesgo cardiovascular (CVD), incluso en poblaciones no diabéticas	Annani-Akollor et al. (2020); Balcioglu et al. (2022); Chen et al. (2025); Chen et al. (2025); Aslan Çin et al. (2020); Couto et al. (2023); Hameed et al. (2022); He et al. (2025); Lee et al. (2022); Rajendran et al. (2022); Yang et al. (2024)
	Conveniencia y Fiabilidad: Atributos técnicos superiores al FPG, ya que no requiere que el paciente esté en ayunas	Estratificación CKM: Es un componente esencial en el cálculo de la tasa de eliminación de glucosa estimada (eGDR), un índice que predice la mortalidad por todas las causas y la mortalidad cardiovascular.	
	Cribado de Alto Riesgo: La HbA1c media en pacientes con MetS es significativamente más alta, capturando estados prediabéticos	Indicador de Carga Metabólica: Los niveles de HbA1c se incrementan progresivamente a medida que los pacientes avanzan en las etapas del síndrome CKM	
Consideraciones Generales	La integración de pruebas bioquímicas rutinarias en atención primaria es especialmente útil en entornos con recursos limitados.	Promueve acciones preventivas y educación sanitaria desde el primer nivel de atención.	Adib et al. (2024); Feng et al. (2025); Haidar et al. (2024); Lu et al. (2025); Yue et al. (2025); Zhang et al. (2025); Zhou et al. (2025)
	Evaluación continua de la glucosa y HbA1c como parte del seguimiento longitudinal en pacientes con riesgo metabólico o antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular.	Promoción del uso de marcadores metabólicos en poblaciones pediátricas y adolescentes para prevenir alteraciones metabólicas a largo plazo.	

En el entorno de la atención primaria, la utilidad de la FPG radica en su inmediatez diagnóstica y su accesibilidad universal. Como criterio central en la definición del MetS ( $FPG \geq 100 \text{ mg/dL}$ ) (Adams-Huet et al., 2024; Adib et al., 2024; Zhang et al., 2025), la medición de FPG es un procedimiento rutinario, de bajo costo y fácil de realizar en cualquier laboratorio (He et al., 2025; Tamini et al., 2025). Esta facilidad permite a los médicos de atención primaria clasificar rápidamente la disfunción glucémica, esencial para iniciar intervenciones preventivas. Sin embargo, el FPG ofrece solo una "instantánea" de la glucemia diaria (Annani-Akollor et al., 2020).

En contraste, la Hemoglobina Glicosilada proporciona una ventaja significativa en la monitorización a largo plazo, ya que refleja el control glucémico promedio durante los tres meses anteriores (Annani-Akollor et al., 2020). La HbA1c minimiza las variaciones agudas relacionadas con el ayuno o el estrés. Su implementación en la atención primaria es conveniente porque no requiere que el paciente esté en ayunas y posee características técnicas superiores.

La implicación más crítica de estos marcadores en la prevención de enfermedades crónicas reside en su capacidad para estratificar el riesgo de progresión a T2DM y a eventos cardiovasculares ateroscleróticos (ASCVD), condiciones íntimamente ligadas al MetS (Adams-Huet et al., 2024). El aumento de la FPG es un factor de riesgo para el desarrollo de T2DM (Zhang et al., 2025).

No obstante, la HbA1c muestra un valor pronóstico particularmente robusto. Varios estudios han sugerido que el HbA1c podría ser un predictor de riesgo cardiovascular más eficaz que el FPG, incluso en la población no diabética (Annani-Akollor et al., 2020). Además, la HbA1c se ha integrado en fórmulas predictivas más sofisticadas, como la Tasa de Eliminación de Glucosa Estimada (eGDR) (Tan et al., 2025). El eGDR, que utiliza la HbA1c y la circunferencia de la cintura (WC), es un indicador subrogado de la sensibilidad a la insulina que ha demostrado ser un predictor significativo de la mortalidad por todas las causas y la mortalidad cardiovascular (CVD) (Tan et al., 2025; Xing et al., 2025).

Esta integración permite a los profesionales de la salud predecir el pronóstico a largo plazo de manera más precisa y guiar estrategias de intervención temprana, especialmente en el marco del Síndrome Cardiovascular-Renal-Metabólico (CKM). La progresión a etapas más avanzadas del CKM está marcada por un aumento progresivo de los niveles de HbA1c (Hong et al., 2025; Ying et al., 2025; Zhou et al., 2025), lo que convierte a este marcador en un indicador dinámico de la carga de disfunción metabólica y un objetivo clave para la monitorización de la eficacia de las terapias preventivas.

#### 4. Discusión

El análisis y síntesis de la evidencia disponible desde 2020 a 2025 mostraron que los valores de glucosa y hemoglobina glicosilada son marcadores tempranos confiables del síndrome metabólico. Se observaron asociaciones consistentes de estos biomarcadores con la presencia del síndrome metabólico, destacando puntos de corte recurrentes (glucosa  $\geq 100 \text{ mg/dL}$ , HbA1c entre 5.4% y 5.7%) que ofrecen alta sensibilidad y especificidad diagnóstica. Además, se respalda la inclusión rutinaria de la medición de glucosa y HbA1c en la práctica clínica como una estrategia eficaz para identificar oportunamente a individuos con riesgo metabólico elevado.

Esta evidencia se alinea con investigaciones recientes, Wisniewski et al. (2024) demostraron que la HbA1c puede reflejar alteraciones metabólicas incluso por debajo de los límites clínicos tradicionales. De igual manera, Mohamed et al. (2023) confirmaron que la glucosa plasmática sigue siendo un predictor robusto de síndrome metabólico, validando el uso de glucosa  $\geq 100 \text{ mg/dL}$  como umbral diagnóstico. Cancelliere et al. (2025) identificaron un punto de corte de HbA1c  $\geq 5.7 \%$  como criterio

óptimo para la predicción del metabolismo glucídico alterado en poblaciones de alto riesgo, hallazgo congruente con el rango observado en esta revisión.

Por otra parte, León-Samaniego et al. (2025) reportaron que la glucosa fue el principal predictor de enfermedades cardiovasculares y endocrinas en población rural ecuatoriana, evidenciando su aplicabilidad en entornos con recursos limitados. Han et al. (2024) demostraron que la interacción entre HbA1c y el índice TyG se asoció con un mayor riesgo de mal control de presión arterial, ampliando el valor pronóstico de la HbA1c más allá del diagnóstico de diabetes y conectándola con otros componentes del síndrome metabólico.

Los hallazgos presentados coinciden con la literatura contemporánea que subraya la importancia de la glucosa y la HbA1c como indicadores clave en la práctica clínica. Su incorporación sistemática en los programas de atención primaria podría optimizar las estrategias de detección y prevención del síndrome metabólico, especialmente en poblaciones vulnerables o con limitado acceso a servicios especializados. Además, la evidencia sugiere que la reducción progresiva de los puntos de corte para estos marcadores podría mejorar la sensibilidad diagnóstica y permitir intervenciones preventivas más oportunas.

Entre las limitaciones de este estudio se incluye la heterogeneidad metodológica de los trabajos analizados, en aspectos como los valores de corte, los métodos analíticos empleados, la definición de síndrome metabólico y las características de las poblaciones estudiadas, lo que dificultó la realización de un metaanálisis robusto en muchos casos. También se detectaron sesgos de publicación y ausencia de datos de seguimiento longitudinal en la mayoría de los estudios, lo que limita la capacidad de establecer inferencias causales sólidas.

## 5. Conclusiones

La revisión sistemática confirma que la glucosa y la hemoglobina glicosilada son marcadores tempranos confiables para detectar el síndrome metabólico, con puntos de corte prácticos (glucosa  $\geq$  100 mg/dL y HbA1c entre 5.4% y 5.7%) que ofrecen buena capacidad diagnóstica. Su incorporación en la atención primaria facilita la identificación precoz de personas en riesgo, permitiendo intervenciones oportunas que reducen la carga de enfermedades crónicas. Debido a su accesibilidad, bajo costo y reproducibilidad, estos marcadores son herramientas viables para su uso en programas de cribado metabólico en diversos contextos sanitarios.

Además, estos marcadores bioquímicos mantienen un rendimiento diagnóstico estable, incluso frente a índices derivados o combinados. Por ello, su análisis clínico desempeña un papel fundamental en la estratificación del riesgo metabólico al proporcionar información cuantitativa que orienta la toma de decisiones médicas en etapas iniciales del proceso patológico y facilita la derivación oportuna de pacientes hacia intervenciones preventivas y terapéuticas más efectivas.

## Referencias

- Adams-Huet, B., Zubirán, R., Remaley, A., & Jialal, I. (2024). The triglyceride-glucose index is superior to homeostasis model assessment of insulin resistance in predicting metabolic syndrome in an adult population in the United States. *Journal of Clinical Lipidology*, 18(4), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2024.04.130>
- Adib, M., Mehran, L., Masoumi, S., Vatanpoor, I., Azizi, F., & Amouzegar, A. (2024). Optimal Cut-off Points of the Standardized Continuous Metabolic Syndrome Severity Score (cMetS-S) for Predicting Cardiovascular Disease (CVD) and CVD Mortality in the Tehran Lipid and Glucose Study (TLGS). *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 22(4), e154255. <https://doi.org/10.5812/ijem-154255>
- American Diabetes Association. (2020). 6. Glycemic Targets: Standards of Medical Care in Diabetes—2021. *Diabetes Care*, 44(Supplement\_1), S73–S84. <https://doi.org/10.2337/dc21-S006>
- Annani-Akollor, M., Laing, E., Addai-Mensah, O., Fondjo, L., Adu, E., & Owiredo, E.-W. (2020). Population-derived cut-off for HbA1c could enhance the identification of metabolic syndrome among non-diabetic population. *Heliyon*, 6(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04583>
- Balcioğlu, A., Aksu, E., & Aykan, A. (2022). Triglyceride glucose index is related with cardiac autonomic dysfunction in patients with metabolic syndrome. *Kardiologija*, 62(6), 45–50. <https://doi.org/10.18087/cardio.2022.6.n2049>
- Baldeón, M., Felix, C., Fornasini, M., Zertuche, F., Largo, C., Paucar, M., Ponce, L., Rangarajan, S., Yusuf, S., & López-Jaramillo, P. (2021). Prevalence of metabolic syndrome and diabetes mellitus type-2 and their association with intake of dairy and legume in Andean communities of Ecuador. *PLOS ONE*, 16(7), e0254812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254812>
- Boye, K., Thieu, V., Lage, M., Miller, H., & Paczkowski, R. (2022). The Association Between Sustained HbA1c Control and Long-Term Complications Among Individuals with Type 2 Diabetes: A Retrospective Study. *Advances in Therapy*, 39(5), 2208–2221. <https://doi.org/10.1007/s12325-022-02106-4>
- Cancelliere, S., Heung, T., Blagojevic, C., Malecki, S., Dash, S., & Bassett, A. (2025). A non-fasting marker of metabolic syndrome in a high-risk population. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 29(7), 100573. <https://doi.org/10.1016/j.jnha.2025.100573>
- Chen, M., Guo, J., Shangguan, Y., Sun, Z., He, X., Tu, Q., & Yan, Q. (2025). Association of the triglyceride-glucose index combined with a body shape index with all-cause and cardiovascular mortality in individuals with cardiovascular-kidney-metabolic syndrome stage 0-3: Findings from two prospective cohorts. *Cardiovascular Diabetology*, 24(1), 366. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02921-3>
- Chen, X., Li, A., & Ma, Q. (2025). Association of estimated glucose disposal rate with metabolic syndrome prevalence and mortality risks: A population-based study. *Cardiovascular Diabetology*, 24(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02599-7>
- Chiquito-Guale, B., Plúas-Vargas, M., & Lucas-Parras, E. (2023). Síndrome metabólico y hemoglobina glicosilada en Latinoamérica. *MQRInvestigar*, 7(3), 3137–3153. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.3137-3153>

- Aslan Çin, N., Yardımcı, H., Koç, N., Uçaktürk, S., & Ok, M. (2020). Triglycerides/high-density lipoprotein cholesterol is a predictor similar to the triglyceride–glucose index for the diagnosis of metabolic syndrome using International Diabetes Federation criteria of insulin resistance in obese adolescents: A cross-sectional study. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 33(6), 777–784. <https://doi.org/10.1515/jpem-2019-0310>
- Couto, A., Pohl, H., Bauer, M., & Schwanke, C. (2023). Accuracy of the triglyceride–glucose index as a surrogate marker for identifying metabolic syndrome in non-diabetic individuals. *Nutrition*, 109, 111978. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2023.111978>
- Dimova, R., Tankova, T., Kirilov, G., Chakarova, N., Grozeva, G., & Dakovska, L. (2020). Endothelial and Autonomic Dysfunction at Early Stages of Glucose Intolerance and in Metabolic Syndrome. *Hormone and Metabolic Research*, 52(1), 39–48. <https://doi.org/10.1055/a-0972-1302>
- Elliott, T., Beca, S., Beharry, R., Tsoukas, M., Zarruk, A., & Abitbol, A. (2021). The impact of flash glucose monitoring on glycated hemoglobin in type 2 diabetes managed with basal insulin in Canada: A retrospective real-world chart review study. *Diabetes & Vascular Disease Research*, 18(4), 14791641211021374. <https://doi.org/10.1177/14791641211021374>
- Feng, J., Luo, R., Gao, J., Wang, Y., Cong, J., Ma, H., & Wu, X. (2025). Elevated Triglyceride-Glucose Index Is Associated With Insulin Resistance, Metabolic Syndrome Components, Nonalcoholic Fatty Liver Disease, and Adverse Pregnancy Outcomes in Chinese Women With Polycystic Ovary Syndrome. *Clinical Endocrinology*, 103(3), 317–326. <https://doi.org/10.1111/cen.15252>
- Haidar, S., Mahboub, N., Papandreou, D., Abboud, M., & Rizk, R. (2024). Triglyceride and Glucose Index as an Optimal Predictor of Metabolic Syndrome in Lebanese Adults. *Nutrients*, 16(21), 3718. <https://doi.org/10.3390/nu16213718>
- Hameed, E., Al-Ameri, L., Hasan, H., & Abdulqahar, Z. (2022). The Cut-off Values of Triglycerides—Glucose Index for Metabolic Syndrome Associated with Type 2 Diabetes Mellitus. *Baghdad Science Journal*, 19(2). <https://doi.org/10.21123/bsj.2022.19.2.0340>
- Han, Y., Hai, J., Yang, X., Lu, D., Li, J., Yan, X., Bu, P., Ti, Y., & Li, X. (2024). The synergistic effect of triglyceride–glucose index and HbA1c on blood pressure control in patients with hypertension: A retrospective cohort study. *Scientific Reports*, 14(1), 20038. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70213-z>
- He, Y., Cao, Y., Chen, Z., Qin, Y., & Wang, F. (2025). Association between the triglyceride–glucose–waist-to-height ratio and early arterial stiffness in cardiovascular–kidney–metabolic syndrome. *European Journal of Medical Research*, 30(1), 629. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-02881-0>
- Hong, J., Zhang, R., Tang, H., Wu, S., Chen, Y., & Tan, X. (2025). Comparison of triglyceride glucose index and modified triglyceride glucose indices in predicting cardiovascular diseases incidence among populations with cardiovascular–kidney–metabolic syndrome stages 0–3: A nationwide prospective cohort study. *Cardiovascular Diabetology*, 24(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02662-3>
- Huang, J.-H., Lin, Y.-K., Lee, T.-W., Liu, H.-W., Chien, Y.-M., Hsueh, Y.-C., Lee, T.-I., & Chen, Y.-J. (2021). Correlation between short- and mid-term hemoglobin A1c and glycemic control determined by continuous glucose monitoring. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 13(1), 94. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00714-8>

- Islam, M., Wei, P., Suzauddula, M., Nime, I., Feroz, F., Acharjee, M., & Pan, F. (2024). The interplay of factors in metabolic syndrome: Understanding its roots and complexity. *Molecular Medicine (Cambridge, Mass.)*, 30(1), 279. <https://doi.org/10.1186/s10020-024-01019-y>
- Kaneko, K., Yatsuya, H., Li, Y., Uemura, M., Chiang, C., Hirakawa, Y., Ota, A., Tamakoshi, K., & Aoyama, A. (2020). Risk and population attributable fraction of metabolic syndrome and impaired fasting glucose for the incidence of type 2 diabetes mellitus among middle-aged Japanese individuals: Aichi Worker's Cohort Study. *Journal of Diabetes Investigation*, 11(5), 1163–1169. <https://doi.org/10.1111/jdi.13230>
- Lee, J., Ah Lee, Y., Yong Lee, S., Ho Shin, C., & Hyun Kim, J. (2022). Comparison of Lipid-Derived Markers for Metabolic Syndrome in Youth: Triglyceride/HDL Cholesterol Ratio, Triglyceride-Glucose Index, and non-HDL Cholesterol. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 256(1), 53–62. <https://doi.org/10.1620/tjem.256.53>
- León-Samaniego, G., Romero Urréa, H., Espinoza-Carrasco, F., Llimaico, M., Encalada, G., Herrera, P., Chavez-Cembellin, A., & Faytong-Haro, M. (2025). Metabolic Syndrome Indicators and Cardiovascular/Endocrine Risks in Rural Ecuador: A Cross-Sectional Study. *Journal of Personalized Medicine*, 15(3), 78. <https://doi.org/10.3390/jpm15030078>
- Lin, H.-Y., Zhang, X.-J., Liu, Y.-M., Geng, L.-Y., Guan, L.-Y., & Li, X.-H. (2021). Comparison of the triglyceride glucose index and blood leukocyte indices as predictors of metabolic syndrome in healthy Chinese population. *Scientific Reports*, 11(1), 10036. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89494-9>
- Lu, L., Chen, Y., Liu, B., Li, X., Wang, J., Nie, Z., & Fu, X. (2025). Association between cumulative changes of the triglyceride glucose index and incidence of stroke in a population with cardiovascular-kidney-metabolic syndrome stage 0–3: A nationwide prospective cohort study. *Cardiovascular Diabetology*, 24(1), 202. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02754-0>
- Masrouri, S., Moazzeni, S., Cheraghloo, N., Azizi, F., & Hadaegh, F. (2022). The clinical value of metabolic syndrome and its components with respect to sudden cardiac death using different definitions: Two decades of follow-up from the Tehran Lipid and Glucose Study. *Cardiovascular Diabetology*, 21(1), 269. <https://doi.org/10.1186/s12933-022-01707-1>
- Mohamed, S., Shalaby, M., El-Shiekh, R., El-Banna, H., Emam, S., & Bakr, A. (2023). Metabolic syndrome: Risk factors, diagnosis, pathogenesis, and management with natural approaches. *Food Chemistry Advances*, 3, 100335. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100335>
- Neeland, I., Lim, S., Tchernof, A., Gastaldelli, A., Rangaswami, J., Ndumele, C., Powell-Wiley, T., & Després, J.-P. (2024). Metabolic syndrome. *Nature Reviews Disease Primers*, 10(1), 77. <https://doi.org/10.1038/s41572-024-00563-5>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews*. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Parra-Gómez, L., Puerta, J., Vásquez, A., Escalante, M., Lora, A., Villabona, S., & Camacho, P. (2025). Prevalence of metabolic syndrome in Latin America: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 19(7), 103282. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2025.103282>

- Rajendran, S., Kizhakkayil Padikkal, A., Mishra, S., & Madhavanpillai, M. (2022). Association of Lipid Accumulation Product and Triglyceride-Glucose Index with Metabolic Syndrome in Young Adults: A Cross-sectional Study. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 20(2), e115428. <https://doi.org/10.5812/ijem-115428>
- Selvin, E. (2021). Hemoglobin A1c—Using Epidemiology to Guide Medical Practice: Kelly West Award Lecture 2020. *Diabetes Care*, 44(10), 2197–2204. <https://doi.org/10.2337/dci21-0035>
- Tamini, S., Bondesan, A., Caroli, D., Marazzi, N., & Sartorio, A. (2025). The Ability of the Triglyceride-Glucose (TyG) Index and Modified TyG Indexes to Predict the Presence of Metabolic-Associated Fatty Liver Disease and Metabolic Syndrome in a Pediatric Population with Obesity. *Journal of Clinical Medicine*, 14(7), 2341. <https://doi.org/10.3390/jcm14072341>
- Tan, Z., Zhou, D., Tang, Y., & Huo, G. (2025). Association between estimated glucose disposal rate and incident cardiovascular disease in a population with Cardiovascular-Kidney-Metabolic syndrome stages 0–3: Insights from CHARLS. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 12, 1537774. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1537774>
- Wan, H., Cao, H., & Ning, P. (2024). Superiority of the triglyceride glucose index over the homeostasis model in predicting metabolic syndrome based on NHANES data analysis. *Scientific Reports*, 14(1), 15499. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66692-9>
- Warner, J., Blake, G., Garrett, J., Lee, M., Nelson, L., Summers, R., & Pickhardt, P. (2024). Correlation of HbA1c levels with CT-based body composition biomarkers in diabetes mellitus and metabolic syndrome. *Scientific Reports*, 14(1), 21875. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72702-7>
- Wisniewski, A., DeLouize, A., Walker, Chatterji, S., Naidoo, N., Kowal, P., & Snodgrass, J. (2024). Sustained metabolic dysregulation and the emergence of diabetes: Associations between HbA1c and metabolic syndrome components in Tunisian diabetic and nondiabetic groups. *Journal of Physiological Anthropology*, 43(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40101-024-00365-4>
- Xie, S., Luo, X., Dong, M., Wang, Q., Li, J., & Wu, Q. (2023). Association Between Hemoglobin Glycation Index and Metabolic Syndrome in Middle-Aged and Older People. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 16, 1471–1479. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S406660>
- Xing, D., Xu, J., Weng, X., & Weng, X. (2025). Correlation between estimated glucose disposal rate, insulin resistance, and cardiovascular mortality among individuals with metabolic syndrome: A population-based analysis, evidence from NHANES 1999–2018. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 17(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s13098-024-01574-8>
- Yan, Z., Xu, Y., & Du, X. (2025). The Correlation Between Triglyceride-Glucose Index and Its Associated Indices With All-Cause and Cardiovascular Mortality in Patients With Advanced-Stage Cardiovascular-Kidney-Metabolic Syndrome. *Heart, Lung and Circulation*, 34(10), 1119–1130. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2025.06.1036>
- Yang, M., Shangguan, Q., Xie, G., Sheng, G., & Yang, J. (2024). Oxidative stress mediates the association between triglyceride-glucose index and risk of cardiovascular and all-cause mortality in metabolic syndrome: Evidence from a prospective cohort study. *Frontiers in Endocrinology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1452896>
- Ying, Q., He, F., Wu, L., Wei, Q., & Xu, J. (2025). C-reactive protein-triglyceride glucose index predicts mortality in cardiovascular-kidney-metabolic syndrome stage 0-3: A prospective cohort study. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 17(1), 382. <https://doi.org/10.1186/s13098-025-01947-7>

- Yue, Y., Li, P., Sun, Z., Murayama, R., Li, Z., Hashimoto, K., & Zhang, Y. (2025). Association of novel triglyceride-glucose-related indices with incident stroke in early-stage cardiovascular-kidney-metabolic syndrome. *Cardiovascular Diabetology*, 24(1), 301. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02854-x>
- Zhang, P., Mo, D., Zeng, W., & Dai, H. (2025). Association between triglyceride-glucose related indices and all-cause and cardiovascular mortality among the population with cardiovascular-kidney-metabolic syndrome stage 0–3: A cohort study. *Cardiovascular Diabetology*, 24(1), 92. <https://doi.org/10.1186/s12933-025-02642-7>
- Zhou, X., Liu, Y., Peng, J., Zhou, X., & Wei, H. (2025). The role of triglyceride-glucose index in the progression of cardiovascular-kidney-metabolic syndrome: Findings from the China health and retirement longitudinal study. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 12. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1612121>

## Transparencia

### Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación

### Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

### Contribución de autoría

Galo Jazmany Asimbaya Jaramillo: Conceptualización, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Ximena del Rocío Robalino Flores: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.