PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE SALUD Y BIENESTAR

ESPECIALIZACIÓN EN CARDIOLOGÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN CARDIOLOGÍA

TEMA:

RIESGO DE EVENTOS CARDIOVASCULARES ANTE LA PRESENCIA DE CALCIO CORONARIO EN UNA COHORTE MULTICÉNTRICA DE 45 A 84 AÑOS DE LA CIUDAD DE QUITO, EN RELACIÓN CON LA POBLACIÓN DEL ESTUDIO MESA. DURANTE EL PERIODO 2018-2024

AUTORES:

DRA. KAROLINA ANABELLE BORJA MENÉNDEZ

DRA. MARÍA BELÉN DÍAZ ORTEGA

DIRECTOR:

DR. CARLOS ANDRÉS GUAMAN VALDIVIESO

QUITO - ECUADOR

2026

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las políticas y manuales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas políticas.

Asimismo, cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción dentro de las regulaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma de los estudiantes:





Borja Menéndez, Karolina Anabelle

1720201522

Díaz Ortega, María Belén

0604408039

DEDICATORIA

A Pablo,

Por ser el pilar silencioso en cada momento de este camino, por tu paciencia en los días largos y tu comprensión en las noches sin descanso. Gracias por amar con paciencia lo que el corazón exige. Este logro también es tuyo, porque en cada paso estuviste presente, recordándome por qué vale la pena seguir adelante.

A Anabell y Dubal,

Que sembraron en mí la vocación de sanar con su ejemplo silencioso y su amor sin condiciones. Cada logro que lleva mi nombre también lleva el suyo.

Karolina Anabelle Borja Menéndez

A Sebastián,

A ti, hijo mío, quien ha sido una de las mayores motivaciones de mi vida y la razón más noble para seguir adelante aun en los días difíciles. Por recordarme con tu existencia que todo esfuerzo tiene sentido, que los sueños se construyen con disciplina y que cada meta alcanzada vale más cuando se piensa en quienes amamos.

Con todo mi amor, esta meta también es tuya.

María Belén Díaz Ortega

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por ser mi base, mi refugio y mi mayor apoyo en cada momento de este camino. Gracias por acompañarme con amor, paciencia y comprensión durante las largas jornadas, las ausencias, el cansancio y los desafíos propios de esta formación. Su confianza en mí fue una fuerza constante que me impulsó a seguir adelante.

A mi pareja, por caminar a mi lado durante estos años, por su apoyo incondicional, por comprender los tiempos arduos y por estar presente con palabras de aliento, paciencia y cariño. Gracias por ser compañía, motivación y sostén en los momentos en que más lo necesité.

A mis maestros, por compartir generosamente sus conocimientos, experiencia y vocación médica. Gracias por guiar mi formación. Cada enseñanza recibida ha dejado una huella invaluable en mi desarrollo profesional.

Karolina Anabelle Borja Menéndez

Agradezco profundamente a mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser ejemplo de fortaleza y perseverancia. Sus enseñanzas han sido una guía esencial en mi vida y en cada paso de este camino académico.

A mis maestros, mi gratitud sincera por compartir sus conocimientos, por su paciencia, orientación y compromiso en mi formación. Cada enseñanza recibida ha contribuido no solo a mi crecimiento profesional, sino también a mi desarrollo como ser humano.

María Belén Díaz Ortega

ÍNDICE GENERAL

Derechos de autor 2
Dedicatoria 3
Agradecimientos 4
Índice general 5
Índice de tablas 8
Índice de figuras 8
Abreviaturas 9
Resumen 11
Abstract 11
CAPÍTULO I 14
INTRODUCCIÓN 14
CAPÍTULO II 17
MARCO TEÓRICO 17
1.1 ATEROSCLEROSIS CORONARIA 17
1.2. Enfermedad cardiovascular aterosclerótica: dimensión global y carga en el Ecuador 18
1.3. Fisiopatología 20
1.4. Mecanismos celulares y moleculares de la calcificación de la arteria coronaria 22
1.4.1. Transdiferenciación osteogénica de las células musculares lisas vasculares (CMLV) 22
1.4.2. Apoptosis de macrófagos y liberación de cuerpos apoptóticos 23
1.4.3. Vesículas de matriz extracelular 24
2. CALCIO CORONARIO 24
2.1 Concepto y significado biológico 24
2.2 Etiología y factores 26
2.3 Epidemiología 27
3. PUNTUACIÓN DE CALCIO CORONARIO 28
3.1 Fundamento clínico del score de calcio 28
3.2 Evaluación mediante tomografía computarizada 29
3.3 Preparación y adquisición del estudio 30
3.4 Método de Agatston y cuantificación del calcio coronario 31
3.5 Clasificación clínica del puntaje de calcio coronario 33
3.6 Score de calcio como herramienta de estratificación del riesgo cardiovascular 35
3.7 Score de calcio como predictor de eventos cardiovasculares en pacientes asintomáticos en relación al estudio MESA 37
4. HERRAMIENTAS DE PREDICCIÓN DE RIESGO CARDIOVASCULAR: ASCVD - PREVENT - MESA 39
4.1 ASCVD: 39
4.2 PREVENT (Predicting Risk of Cardiovascular Disease Events) 39

4.3 Calculadora MESA 40
4.4 Score de calcio coronario frente a otros biomarcadores de riesgo 41
4.5 Recomendaciones de guías internacionales para el uso del CAC en riesgo bajo e intermedio 41
5. RELEVANCIA DE CAC EN GRUPOS ESPECIALES DE PACIENTES 44
5.1 Hipertensión arterial 44
5.2 Enfermedad renal crónica 46
5.3 Diabetes mellitus 47
6. IMPLICACIONES TERAPÉUTICAS DEL SCORE DE CALCIO CORONARIO 48
6.1 Orientación de la terapia con estatinas 48
6.2 Uso selectivo del ácido acetilsalicílico en prevención primaria 50
7. LIMITACIONES DE LOS MODELOS INTERNACIONALES EN POBLACIONES LATINOAMERICANAS Y LA PERTINENCIA DE SU COMPARACIÓN EN LA POBLACIÓN ECUATORIANA 51
CAPÍTULO III **52**
METODOLOGÍA 52
Justificación 52
Problema de investigación 56
Objetivos 59
Objetivo general 59
Objetivo específico 59
Diseño de investigación 60
Población 61
Establecimientos donde se realizará la investigación 61
Criterios de inclusión 61
Criterios de exclusión 61
Variables del estudio 62
Procedimientos de recolección de información 63
Muestras biológicas humanas 65
Análisis estadístico 66
Aspectos éticos 66
Aprobación por el Comité de Ética en Investigación en Seres Humanos 67
Exención del consentimiento informado 67
Difusión de resultados 67
CAPÍTULO IV **68**
RESULTADOS 68
Características sociodemográficas 68
Tabla 1. Características demográficas y clínicas 68
Tabla. 2 Distribución según grupos de edad, sexo y etnia 69
Distribución según el índice de masa corporal 70
Figura 1. Distribución porcentual del índice de masa corporal 70
Tabla 3. Distribución del índice de masa corporal en relación con la etnia y el grupo

etario 70
Tabla 4. Distribución del IMC según sexo y puntuación de calcio coronario 70
Manejo terapéutico de los factores de riesgo cardiovascular 71
Tabla 5. Hipertensión arterial y tratamiento farmacológico 71
Tabla 6. Dislipidemia y tratamiento con estatinas 71
Prevalencia y distribución de la calcificación coronaria 72
Figura 2. Distribución de pacientes por rango de calcio coronario y tasa de eventos correspondiente. 72
Figura 3. Distribución del percentil de calcio coronario en la cohorte. 72
Tabla 7. Prevalencia de calcio coronario según factores de riesgo 73
Tabla 8. Puntuación de calcio coronario por grupos etarios 73
Tabla 9. Categoría de riesgo del score de calcio y eventos cardiovasculares 73
Eventos cardiovasculares 74
Tabla 10. Eventos cardiovasculares por grupo etario, etnia y CAC asociado 74
Figura 4. Tasa de eventos cardiovasculares según categoría de IMC 74
Tabla 11. Distribución de eventos cardiovasculares según el tipo y la etnia 75
Tabla 12. Reclasificación del riesgo según el modelo MESA sin y con score de calcio 75
Síntesis comparativa de la capacidad discriminativa 76
Tabla 13. Comparación de la capacidad discriminativa de los modelos de riesgo 76
CAPÍTULO V **76**
DISCUSIÓN 76
Resultados principales 76
Análisis 84
CAPÍTULO VI **90**
CONCLUSIONES 90
RECOMENDACIONES 91
Plan de publicación **93**
Referencias **94**
Anexos **102**
Anexo 1. Cuadro operacionalización de variables 102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características demográficas y clínicas

Tabla 2. Distribución según grupos de edad, sexo y etnia

Tabla 3. Distribución del índice de masa corporal en relación con la etnia y el grupo etario

Tabla 4. Distribución del IMC según sexo y puntuación de calcio coronario

Tabla 5. Hipertensión arterial y tratamiento farmacológico

Tabla 6. Dislipidemia y tratamiento con estatinas

Tabla 7. Prevalencia de calcio coronario según factores de riesgo

Tabla 8. Puntuación de calcio coronario por grupos etarios

Tabla 9. Categoría de riesgo del score de calcio y eventos cardiovasculares

Tabla 10. Eventos cardiovasculares por grupo etario, etnia y CAC asociado

Tabla 11. Distribución de eventos cardiovasculares según el tipo y la etnia

Tabla 12. Reclasificación del riesgo según el modelo MESA sin y con score de calcio

Tabla 13. Comparación de la capacidad discriminativa de los modelos de riesgo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual del índice de masa corporal

Figura 2. Distribución de pacientes por rango de calcio coronario y tasa de eventos correspondiente.

Figura 3. Distribución del percentil de calcio coronario en la cohorte.

Figura 4. Tasa de eventos cardiovasculares según categoría de IMC

ABREVIATURAS

AAS - Ácido acetilsalicílico

ACC - Colegio Americano de Cardiología

ACV - Accidente cerebrovascular

AHA - Asociación Americana del Corazón

AIT - Accidente isquémico transitorio

ANOVA - Análisis de Varianza

ARCSA - Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria

ASCVD - Enfermedad cardiovascular aterosclerótica

AVAD - Años de vida ajustados por discapacidad

BMP2 - Proteína Morfogenética Ósea 2

BNP - Péptido natriurético cerebral

CAC - Calcio arterial coronario

CEISH - Comité de Ética e Investigación en Seres Humanos

CHD - Enfermedad coronaria

CIOMS - Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas

CMLV - Transdiferenciación osteogénica de las células musculares lisas vasculares

CRIC - Estudio de cohorte de insuficiencia renal crónica

ECV - Enfermedad cardiovascular

EBCT - Tomografía computarizada cardíaca por haz de electrones.

ECG - Electrocardiograma

ERC - Enfermedad renal crónica

GPC - Guías de Práctica Clínica

HDL-C - Lipoproteínas de alta densidad

HECAM - Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín

HE1 - Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas N.º 1

HTA - Hipertensión arterial

IAM - Infarto Agudo de Miocardio

IMC - Índice de masa corporal

INEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos

JACC - Colegio Americano de Cardiología

LDL-C - Lipoproteínas de baja densidad

MACE - Eventos cardiovasculares mayores

MDCT - Tomografía computarizada por detector multicorte

MESA - Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis

MSX2 - Msh Homeobox 2

OMS - Organización Mundial de la Salud

OPS - Organización Panamericana de la Salud

PAS - Presión arterial sistólica

PREVENT - Predicción del riesgo de eventos cardiovasculares

RUNX2 - Factor de transcripción 2 relacionado con Runt.

SCACEST - Síndrome coronario agudo con elevación del ST

SCASEST - Síndrome coronario agudo sin elevación del ST

SCCT - Sociedad de Tomografía Computarizada Cardiovascular

SPSS - Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales

STR - Sociedad de Radiología Torácica

TC - Tomografía computarizada

TFGe - Tasa de filtrado glomerular

UH - Unidades Hounsfield

RESUMEN

INTRODUCCIÓN:

La enfermedad arterial coronaria es una de las principales causas de muerte a nivel mundial; representa uno de los principales retos en salud cardiovascular. Una proporción significativa de los eventos coronarios, incluyendo el infarto agudo de miocardio y la muerte súbita, ocurre en pacientes asintomáticos, lo que limita la posibilidad de una detección temprana mediante los métodos convencionales de evaluación clínica. En este contexto, la cuantificación del calcio coronario mediante tomografía computarizada de tórax se ha convertido en una herramienta diagnóstica no invasiva de gran utilidad para la estratificación del riesgo cardiovascular. Esto se debe a que permite identificar la presencia y extensión de aterosclerosis subclínica, aportando información pronóstica independiente de los factores de riesgo tradicionales.

OBJETIVO: Estratificar el riesgo de eventos cardiovasculares mediante la evaluación del grado de calcificación de las arterias coronarias mediante tomografía computarizada de tórax, en individuos sin enfermedad cardiovascular estudiada, en una población de la ciudad de Quito-Ecuador.

MÉTODOS: El estudio tiene un diseño observacional, retrospectivo, transversal comparativo multicéntrico, basado en la revisión de historias clínicas anonimizadas, informes de score de calcio coronario y bases de datos institucionales de las distintas unidades de diagnóstico cardiovascular de Quito, durante el periodo enero 2018 a diciembre 2024. Su objetivo es analizar la relación entre la presencia y extensión del calcio coronario con la ocurrencia de eventos cardiovasculares mayores. Para ello, se utilizarán métodos estadísticos comparativos y modelos de regresión multivariada. La población estará conformada por adultos de 45 a 84 años, asintomáticos, sin enfermedad cardiovascular establecida, con o sin factores de riesgo

cardiovascular, que se realizaron score de calcio coronario en instituciones participantes de Quito. El estudio tendrá un enfoque cuantitativo y analítico, utilizando datos clínicos, demográficos, laboratoriales e imagenológicos. La muestra será no probabilística, integrada por todos los pacientes que cumplan los criterios de inclusión. El enfoque multicéntrico ayudará a que los resultados sean más representativos y a compararlos con el estudio internacional MESA, brindando evidencia sobre el comportamiento del calcio coronario en la población ecuatoriana.

Todo el análisis fue realizado usando el programa de análisis estadístico RStudio 4.4.1.

RESULTADOS: Se estudiaron 845 pacientes de entre 45 y 84 años, atendidos en dos hospitales de Quito, en el periodo 2018–2024. La población mostró una alta carga de factores de riesgo cardiovascular, principalmente hipertensión arterial, dislipidemia, diabetes mellitus y tabaquismo. El 44,3% de los pacientes mostró calcificación coronaria, la cual fue más frecuente en hombres, en adultos mayores y en quienes presentaban diabetes, dislipidemia o antecedente de tabaquismo. Los eventos cardiovasculares mayores se presentaron en el 13,5% de la cohorte y fueron significativamente más frecuentes en los pacientes con un score de calcio coronario mayor a cero. También se encontró que a mayor CAC mayor la probabilidad de que ocurrieran eventos, con tasas más altas en los pacientes con mayor calcio. El modelo MESA con incorporación del calcio coronario mostró el mejor desempeño predictivo frente a ASCVD y PREVENT y reclasificó el riesgo cardiovascular en la mitad de los participantes del estudio.

CONCLUSIÓN: La puntuación de calcio coronario fue una herramienta útil, no invasiva y superior a las ecuaciones clínicas tradicionales para estratificar el riesgo cardiovascular en individuos asintomáticos de Quito. Su asociación importante con los sucesos cardiovasculares mayores confirma su valor como marcador de aterosclerosis subclínica y como apoyo para

individualizar las decisiones de prevención primaria. Los hallazgos proveen evidencia local pertinente para mejorar la evaluación del riesgo cardiovascular en la población ecuatoriana.

PALABRAS CLAVE: Score de calcio coronario; estratificación del riesgo cardiovascular; aterosclerosis subclínica; modelo MESA; eventos cardiovasculares mayores; tomografía computarizada de tórax; infarto agudo de miocardio.

ABSTRACT

INTRODUCTION: Coronary artery disease represents one of the major challenges in cardiovascular health worldwide. A significant proportion of coronary events, including acute myocardial infarction and sudden cardiac death, occur in asymptomatic patients, which limits the possibility of early detection through conventional clinical assessment methods.

In this context, the quantification of coronary artery calcium by chest computed tomography has become a highly useful non-invasive diagnostic tool for cardiovascular risk stratification, as it allows the identification of the presence and extent of subclinical atherosclerosis, providing prognostic information that is independent of traditional risk factors.

OBJECTIVE: To stratify the risk of cardiovascular events by assessing the degree of coronary artery calcification through chest computed tomography in individuals without previously documented cardiovascular disease in a population from the city of Quito, Ecuador.

METHODS: The study has an observational, retrospective, cross-sectional, comparative, multicenter design, based on the review of anonymized medical records, coronary artery calcium score reports, and institutional databases from different cardiovascular diagnostic units in Quito during the period from January 2018 to December 2024.

Its objective is to analyze the relationship between the presence and extent of coronary artery calcium and the occurrence of major cardiovascular events. For this purpose, comparative statistical methods and multivariate regression models will be used.

The study population will consist of adults aged 45 to 84 years, asymptomatic, without established cardiovascular disease, with or without cardiovascular risk factors, who underwent coronary artery calcium scoring at participating institutions in Quito.

The study will have a quantitative and analytical approach, using clinical, demographic, laboratory, and imaging data. The sample will be non-probabilistic and will include all patients who meet the inclusion criteria.

The multicenter nature of the study will improve the representativeness of the results and allow comparison with the international MESA study, providing evidence on the behavior of coronary artery calcium in the Ecuadorian population.

All analyses were performed using the statistical analysis software RStudio 4.4.1.

RESULTS: A total of 845 individuals aged between 45 and 84 years were evaluated for the period 2018–2024 in two hospitals in Quito. The study population was characterized by a high prevalence of cardiovascular risk factors, notably hypertension, dyslipidemia, diabetes mellitus and smoking. Coronary artery calcium was detected in 44.3% of patients and was more common in men, older patients, and patients with diabetes, dyslipidemia, or smoking history. Major cardiovascular events occurred in 13.5% of the group and were considerably more frequent in patients with a coronary artery calcium score greater than zero. There was also a progressive association between higher CAC classifications and greater event rates . Compared with ASCVD and PREVENT, the MESA model with CAC had the best predictive ability and reclassified cardiovascular risk in around half of the study group.

CONCLUSION: The coronary artery calcium score was a useful non-invasive method for cardiovascular risk classification in asymptomatic subjects from Quito. Its strong relationship with major cardiovascular events confirms its value as a measure of subclinical atherosclerosis and as a valuable adjunct in refining primary preventive options. These results give local evidence that may be useful to improve cardiovascular risk estimation in the Ecuadorian community.

KEY WORDS: Coronary artery calcium score; cardiovascular risk stratification; subclinical atherosclerosis; MESA risk score; major cardiovascular events; chest computed tomography; acute myocardial infarction.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte y discapacidad en el mundo. La mortalidad cardiovascular mundial disminuyó un 34,9% entre 1990 y 2022, según el estudio de Carga Global de Enfermedades (GBD) 2022. Sin embargo, la cardiopatía isquémica mantiene las tasas más altas de años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) de todas las enfermedades, con 2.275,9 por 100.000 habitantes (1). Este escenario es especialmente inquietante para la región de América Latina y el Caribe, ya que las condiciones sociodemográficas y el perfil de factores de riesgo confieren a la misma una vulnerabilidad singular (2). En esa zona, las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de mortalidad. Esto se debe al crecimiento de la población, la rápida urbanización, las desigualdades económicas y el incremento en los últimos 40 años de factores de riesgo para la salud del corazón como la diabetes mellitus, la hipertensión y la obesidad (1,2).

Si bien las tasas de incidencia de ECV ajustadas por edad han mostrado una tendencia descendente en las Américas desde 1990, el número absoluto de casos y muertes se ha incrementado por el crecimiento y envejecimiento poblacional. Además, hay una transición progresiva de la carga desde países de altos ingresos de Norteamérica hacia países de ingresos medios de América Latina y el Caribe (2). En este escenario, Ecuador no es la excepción. El perfil epidemiológico de Ecuador, país situado en el extremo noroccidental de América del Sur, señala que la primera causa de mortalidad es la cardiopatía isquémica. El país está viviendo una importante transición epidemiológica, que se caracteriza por un progresivo envejecimiento y el creciente predominio de hipertensión (23%), diabetes (6,4%) y obesidad (35%) (3).

Una de las limitaciones estructurales de esta tarea preventiva es la ausencia de modelos de estratificación de riesgo adaptados a la realidad latinoamericana. Existe una variación sustancial del riesgo cardiovascular entre regiones y la disponibilidad de modelos de predicción desarrollados y validados específicamente para América Latina y el Caribe continúa siendo insuficiente, lo que compromete la precisión del abordaje preventivo en estas poblaciones. Frente a esta brecha, la medición del calcio arterial coronario (CAC) con tomografía computarizada sin contraste se ha situado como un instrumento de estratificación especialmente valioso. No es simplemente un marcador más: el puntaje CAC ha demostrado superioridad pronóstica frente a estimadores clásicos como el puntaje de Framingham y las ecuaciones de cohortes agrupadas; un puntaje de cero predice de manera fiable tasas de eventos cardiovasculares muy bajas, mientras que puntajes iguales o superiores a 100 se asocian a un riesgo a 10 años de eventos cardiovasculares mayores que supera el 7,5 %. El puntaje de calcio se ha comportado como un excelente predictor de eventos cardiovasculares adversos, independientemente del resto de factores de riesgo. El cálculo del calcio coronario es importante tanto para el diagnóstico como para el tratamiento (4), 5).

En los últimos años ha habido un enriquecimiento importante de la evidencia en torno al CAC, que ha ido más allá de la simple cuantificación de placa calcificada. Los algoritmos PREVENT 2023, creados y probados en más de 6 millones de pacientes procedentes de 25 bases de datos, han demostrado ser acertados a la hora de predecir ECV en poblaciones heterogéneas. Además, se ha visto que su unión al puntaje CAC hace contribuciones independientes y complementarias para anticipar eventos cardiovasculares incidentes. A esto se agrega una mejor comprensión de la composición de la placa. El método de Agatston continúa siendo la referencia estándar, pero estudios en la cohorte MESA han demostrado que la densidad del calcio coronario se relaciona inversamente con la ocurrencia de eventos. De

forma que la evaluación conjunta del volumen y la densidad mejora la capacidad predictiva de este biomarcador de imagen (6, 7).

El estudio de referencia en este campo es el score MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). Sus contribuciones han sido fundamentales para definir el valor del CAC como predictor independiente de riesgo. El MESA se concibió para investigar la prevalencia, evolución, factores determinantes y la importancia pronóstica de la enfermedad cardiovascular subclínica en una cohorte comunitaria multiétnica con un equilibrio por sexos. Esto contribuyó de forma decisiva a consolidar la evaluación no invasiva de la aterosclerosis subclínica como instrumento de estratificación de riesgo más allá de los factores tradicionales. Su efectividad práctica ha sido confirmada en recientes estudios clínicos. Al añadir el puntaje CAC del score MESA a los modelos de riesgo convencionales, se logró una recategorización de un gran porcentaje de pacientes en categorías de riesgo más precisas. Esto influyó directamente en la decisión de iniciar o retrasar el tratamiento con estatinas (8,9).

No obstante, trasladar estos hallazgos sin adaptación a la población ecuatoriana sería metodológicamente inadecuado. Las encuestas nacionales de salud de Ecuador evidencian que el nivel educativo, la residencia, la etnia y el estrato económico determinan de forma directa el estado nutricional y de salud de la población, configurando perfiles diferenciales de riesgo cardiovascular que distan de los patrones observados en cohortes norteamericanas o europeas. A estas diferencias se suman las particularidades geográficas de Quito, situada a 2.850 metros sobre el nivel del mar, las cuales modulan variables fisiológicas como la presión parcial de oxígeno, la frecuencia cardíaca de reposo y la respuesta al esfuerzo, factores que inciden en la expresión clínica de la aterosclerosis y que no han sido contemplados en los modelos derivados del estudio MESA (10).

El objetivo del presente trabajo fue analizar el riesgo de eventos cardiovasculares asociado a la presencia de calcio coronario en una cohorte multicéntrica de personas entre 45 y 84 años de la ciudad de Quito durante el período 2018–2024, comparándolo con los resultados obtenidos en la población del estudio MESA, ya que no existen datos de población ecuatoriana. El objetivo central de nuestro estudio consiste en aportar al desarrollo de evidencia científica local, robusta y contextualizada. Esta información será la base para optimizar las estrategias de prevención cardiovascular primaria en el Ecuador, que podrán ayudar a optimizar los modelos de estratificación de riesgo ajustados a la realidad latinoamericana (11).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1.1 ATEROSCLEROSIS CORONARIA

Definición

La aterosclerosis coronaria es una enfermedad crónica, inflamatoria y progresiva de las paredes de las arterias. Se caracteriza por la acumulación anormal de grasas, células inflamatorias, tejido fibroso y, en etapas avanzadas, depósitos de calcio en la capa interna de las arterias coronarias del corazón. Su desarrollo lento a lo largo de años la convierte en la base que causa la mayoría de los problemas cardíacos graves, como el infarto agudo de miocardio, la angina inestable y la muerte súbita por razones del corazón (12). Desde el punto de vista histopatológico, la lesión elemental es la placa aterosclerótica o ateroma. Su desarrollo sigue una secuencia progresiva que va desde la estría grasa —primera manifestación visible de la enfermedad, identificable incluso en la segunda y tercera décadas de vida— hasta la placa fibrocalcificada avanzada y la placa vulnerable susceptible de rotura (12).

La aterosclerosis afecta a todo el organismo y se manifiesta en varios órganos o aparatos. Sin embargo, su expresión en el territorio coronario adquiere particular relevancia clínica, debido a las consecuencias hemodinámicas que conlleva la disminución del flujo sanguíneo miocárdico. También debe recordarse la tendencia a complicarse agudamente por rotura, erosión o formación de nódulos calcificados desencadenantes de trombosis intraluminal (13).

1.2. Enfermedad cardiovascular aterosclerótica: dimensión global y carga en el Ecuador

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte y discapacidad a nivel mundial y, aunque su impacto es especialmente grave en los países de ingresos bajos y medios, su patrón epidemiológico no es en absoluto estático. Según el estudio de Carga Global de Enfermedades 2022, la cardiopatía isquémica continúa con las tasas más altas de años de vida ajustados por discapacidad de todas las enfermedades, con 2.275,9 casos por cada 100.000 habitantes. Sigue siendo la mayor causa de muerte cardiovascular a nivel mundial, aunque se ha reducido un 34,9% entre 1990 y 2022. Esta reducción relativa se da junto con un aumento absoluto en el número de casos, por el envejecimiento de la población y la propagación de factores de riesgo cardiometabólicos (14).

En América Latina, a nivel regional, estamos viviendo una crisis de salud pública, por la transición epidemiológica hacia las enfermedades crónicas no transmisibles. En Ecuador, según los datos del INEC reportados para 2023-2024, las enfermedades isquémicas del corazón son la primera causa de muerte. La ciudad de Quito, capital de Ecuador, tiene características propias por su mezcla cultural y altitud (2850 m s. n. m.). Estas parecen asociarse con una

frecuencia de eventos coronarios que necesitan estimaciones de riesgo más finas que las que ofrecen los modelos creados para comunidades que viven a baja altitud (15).

Las ECV reúnen a entidades de gran importancia clínica: la cardiopatía isquémica, que es su manifestación más frecuente, la enfermedad cerebrovascular, la insuficiencia cardíaca y la enfermedad arterial periférica. En América Latina y el Caribe son la principal causa de muerte, impulsadas por el crecimiento poblacional, la vertiginosa urbanización, las desigualdades socioeconómicas y el sostenido incremento de factores de riesgo cardiometabólico como la obesidad y diabetes mellitus a lo largo de las últimas cuatro décadas. Ecuador se encuadra plenamente en esta tendencia regional. La enfermedad cardiovascular isquémica ocasionó el 15,2 por ciento de los fallecimientos registrados en el país durante el 2023. Se establece como la principal causa de muerte en un contexto de cambio en las enfermedades, donde hay un 23 % de personas con hipertensión, un 6,4 % con diabetes y un 35 % con obesidad (2,11).

Un problema fundamental de la prevención cardiovascular es que una fracción importante de los sucesos ateroscleróticos se produce en personas sin antecedentes cardiovasculares. Un análisis reciente del estudio MESA de la primera presentación de la enfermedad cardiovascular aterosclerótica mostró que los eventos iniciales pueden ser graves, incluyendo muerte, paro cardíaco, infarto de miocardio y accidente cerebrovascular. Este comportamiento subraya la importancia de reconocer a los individuos con aterosclerosis acumulada y un riesgo biológico más alto de lo que se calcula únicamente con factores clínicos tradicionales, antes de que aparezcan los síntomas (16).

Para el sistema de salud ecuatoriano, esta década ha sido devastadora por la carga económica de las ECV. De ahí que la necesidad de herramientas de diagnóstico precoz y no invasivo, como el CAC, se deba a que estas tecnologías pueden identificar la aterosclerosis en estadios subclínicos. Esto permite que se puedan realizar cambios en el estilo de vida e intervenciones farmacológicas antes de que ocurran eventos agudos catastróficos.

1.3. Fisiopatología

Conocer el proceso aterosclerótico es esencial para valorar el significado clínico del calcio coronario como biomarcador. La aterosclerosis es una enfermedad inflamatoria crónica de las paredes arteriales que se desarrolla de forma silenciosa durante décadas antes de manifestarse clínicamente. La presencia y la extensión de la calcificación coronaria dan información directa sobre la existencia y la magnitud de la enfermedad coronaria. Más aún, el CAC permite predecir eventos futuros independientemente de los factores de riesgo convencionales y en mayor medida que cualquier biomarcador no invasivo de esta enfermedad (13).

Desde el punto de vista clínico, el CAC es una señal de que el paciente tiene una enfermedad coronaria aterosclerótica. Pero esto no significa directamente que haya una obstrucción en el lumen, ni identifica por sí solo la vulnerabilidad de una lesión específica. El puntaje de calcio es un reflejo de la carga total de placa calcificada del árbol coronario, y por eso sirve como indicador de la exposición vascular a factores de riesgo a lo largo del tiempo. Es una distinción importante, ya que un paciente puede tener una gran carga aterosclerótica con lesiones no necesariamente críticas, pero con mayor probabilidad de desarrollar eventos en el futuro. La literatura más reciente afirma que el valor predictivo del calcio coronario se debe a

su capacidad para revelar la carga de enfermedad y no solo la obstrucción anatómica en un momento específico (14).

La interpretación actual del calcio coronario también admite que la morfología de la calcificación aporta información adicional. Los estudios derivados de MESA han demostrado que, para volúmenes comparables de calcio, la densidad del depósito puede estar asociada a diferencias en el riesgo cardiovascular. Bhatia y sus compañeros observaron que la densidad de calcio ajustada por volumen está inversamente relacionada con los eventos cardiovasculares. Este descubrimiento avala la hipótesis de que unas placas con una mayor densidad de calcio pueden ser más estables que aquellas con una mineralización menos compacta. Estos datos no reemplazan el puntaje de Agatston en la práctica habitual, pero ayudan a entender que la biología de la calcificación es heterogénea (7).

El desarrollo de la aterosclerosis coronaria es resultado de una compleja e interactiva combinación de factores del flujo sanguíneo, del metabolismo y del sistema inmunológico que se van acumulando en la pared de las arterias a lo largo de muchos años. Su visión de la cuestión ha evolucionado mucho en los últimos años, del viejo modelo lipídico a un enfoque inflamatorio más completo. Este enfoque nuevo incluye la disfunción del endotelio, las respuestas del sistema inmunológico innato y adaptativo y el cambio en las células musculares lisas de los vasos (17).

1.4. Mecanismos celulares y moleculares de la calcificación de la arteria coronaria

La calcificación intimal empieza por la formación de microcalcificaciones (< 15 µm), que son la fase más temprana y la más importante desde el punto de vista clínico. Su génesis incluye tres principales mecanismos celulares que operan en paralelo:

1.4.1. Transdiferenciación osteogénica de las células musculares lisas vasculares (CMLV)

Las células musculares lisas vasculares (CMLV) son uno de los tipos celulares más diversos de la pared arterial. En condiciones normales, su propósito es mantener el tono y la estructura del vaso. Pero cuando las señales de estrés sostenido del entorno inflamatorio del ateroma las asaltan, estas células sufren una profunda transformación. Pierden su identidad contráctil original y se hacen parecidas a las células que forman hueso. Este proceso es conocido como transdiferenciación osteogénica, y es el mecanismo principal por el cual la inflamación crónica de la placa da lugar a la calcificación de la pared de la arteria coronaria (15,18).

Esta transformación no ocurre de manera espontánea ni desordenada. Está regulada por una red de señales moleculares que, en conjunto, activan un programa genético similar al que controla la formación de hueso en el esqueleto. Tres factores de transcripción son los principales responsables de poner en marcha este proceso: RUNX2 es considerado el "interruptor maestro" de la diferenciación hacia células tipo osteoblasto. BMP2 y Msx2 son dos proteínas que trabajan juntas; BMP2 provoca que se exprese Msx2 y refuerza la señal que lleva a la formación de hueso, la cual es crucial para finalizar la diferenciación. Todo este proceso es impulsado por dos rutas de señalización dentro de la célula muy conocidas: la ruta BMP, que usa proteínas morfogenéticas del hueso como mensajeros, y la ruta Wnt/β-catenina, que controla la supervivencia y el desarrollo de las células transformadas (16).

El resultado final de esta cascada es que las CMLV transdiferenciadas producen pequeñas estructuras llamadas vesículas de matriz extracelular. Estas son partículas microscópicas que miden entre 50 y 500 nanómetros y que almacenan calcio y fosfato en su interior. Estas vesículas actúan como microrreactores biológicos en los que se forman los primeros cristales de hidroxiapatita —el mismo mineral que compone los huesos. Estos se acumulan gradualmente en la capa interna de las arterias coronarias, formando pequeñas calcificaciones que, con el tiempo, se agrupan y se pueden ver en la tomografía computarizada como el puntaje CAC (15,18).

1.4.2. Apoptosis de macrófagos y liberación de cuerpos apoptóticos

La muerte de los macrófagos espumosos en el ateroma produce cuerpos apoptóticos que tienen mucha fosfatidilserina. Estos cuerpos sirven como lugares donde se forman cristales de calcio. Este mecanismo, que depende de la inflamación en la zona, explica la estrecha relación entre el avance de la inflamación de la placa y la llegada de los primeros depósitos de calcio (13).

1.4.3. Vesículas de matriz extracelular

Las CMLV y los macrófagos producen vesículas de matriz, pequeñas partículas de entre 50 y 500 nanómetros que contienen calcio y fosfato. Estas vesículas funcionan como microrreactores para la formación temprana de cristales de fosfato cálcico. La acumulación de estas pequeñas burbujas, junto con la unión de los cristales de hidroxiapatita que se van acumulando en la capa interna de las arterias, convierte las microcalcificaciones en macrocalcificaciones que se pueden ver en una tomografía computarizada como el puntaje CAC (16,19).

2. CALCIO CORONARIO

2.1 CONCEPTO Y SIGNIFICADO BIOLÓGICO

El calcio es el mineral más abundante en el cuerpo humano. Si bien la mayor parte se encuentra en los dientes y los huesos, aproximadamente el 1% se disuelve en el torrente sanguíneo. Con la edad, el calcio se deposita en diversas partes del cuerpo. La calcificación de las arterias coronarias (CAC) se refiere a la acumulación de sales de calcio en las paredes de las arterias. Esto es una señal de aterosclerosis coronaria que no se ha manifestado de manera evidente. Actualmente, se sabe que este fenómeno no es un mero hallazgo ligado al envejecimiento. Es el resultado de un proceso biológico en el que intervienen la inflamación en los vasos sanguíneos, el estrés oxidativo, la muerte de las células musculares lisas, el cambio a tejido óseo en la pared de la arteria y la reorganización de la placa de aterosclerosis. Por tanto, la presencia de CAC proporciona información directa sobre la carga acumulada de enfermedad coronaria aterosclerótica (20).

El fenómeno de la calcificación vascular se conoce desde hace siglos. En 1858, el reconocido patólogo alemán Rudolf Virchow hipotetizó que los depósitos vasculares de calcio eran parte del proceso de osificación(19). Aunque no todas las placas ateroscleróticas contienen calcio, y aunque la ausencia de CAC no excluye por completo la presencia de placa no calcificada, el calcio coronario se correlaciona de manera consistente con la extensión global de aterosclerosis coronaria. Su utilidad clínica radica en que transforma una estimación probabilística basada en factores de riesgo en una medida anatómica objetiva de enfermedad subclínica, lo que mejora la interpretación del riesgo cardiovascular individual (13,16).

La calcificación vascular puede localizarse en la túnica íntima, como parte del proceso aterosclerótico, o en la túnica media, fenómeno más vinculado con alteraciones metabólicas y

con enfermedad renal crónica avanzada. En las arterias coronarias, la calcificación identificada por tomografía corresponde predominantemente a enfermedad aterosclerótica, aunque en pacientes con trastornos graves del metabolismo mineral pueden coexistir mecanismos de calcificación medial que complejizan la interpretación fisiopatológica (19).

Existe una estrecha relación entre la carga de calcio coronario y la aterosclerosis, a pesar de que no todas las placas están calcificadas. El score de calcio es una herramienta de predicción de riesgo cardiovascular refrendada por una sólida evidencia. Aunque solo tiene en cuenta la placa calcificada, guarda una sólida correlación con la carga total de placa aterosclerótica coronaria.

2.2 Etiología y factores

La etiología de la calcificación de las arterias coronarias (CAC) es multifactorial e involucra factores genéticos y ambientales. El CAC se presenta como parte de la progresión de la aterosclerosis o, con menor frecuencia, en afecciones que promueven la calcificación de la capa media arterial. La calcificación de la capa media causa enfermedad arterial periférica y se asocia con insuficiencia renal, hipercalcemia, hiperfosfatemia e hiperparatiroidismo. La calcificación de la capa íntima se asocia con enfermedad de las arterias coronarias y aterosclerosis. Las principales causas y factores de riesgo que contribuyen al CAC incluyen (17,21).

- Aterosclerosis
- Enfermedad renal crónica
- Diabetes

- Síndrome metabólico
- Inflamación crónica
- Envejecimiento
- Mujeres posmenopáusicas
- HTA
- Dislipidemia
- Obesidad
- Sexo masculino
- Tabaquismo

La enfermedad renal crónica es importante porque afecta el equilibrio entre el calcio y el fósforo, causa hiperparatiroidismo secundario y provoca inflamación urémica, lo que acelera la mineralización de los vasos. Igualmente, en la diabetes mellitus, la calcificación aparece más a menudo y con más impacto, debido al estrés oxidativo, la disfunción del endotelio y una aterosclerosis más extensa. Estos elementos explican por qué la CAC adquiere un valor pronóstico especialmente relevante en poblaciones con comorbilidades cardiometabólicas (22).

Desde el punto de vista clínico, el CAC no debe verse como un fenómeno aislado, sino como la expresión acumulada de años de exposición a factores de riesgo. Su presencia identifica un fenotipo vascular más vulnerable y permite reconocer a los individuos en quienes la prevención cardiovascular debe discutirse con mayor precisión.

2.3 Epidemiología

La presencia de calcificación de las arterias coronarias depende de la edad y el sexo. Esta clasificación está presente en el 90% de los hombres y el 67% de las mujeres mayores de 70 años. Estas diferencias se atenúan progresivamente con el envejecimiento y por el efecto protector del estrógeno en las mujeres premenopáusicas. En consecuencia, el hallazgo de CAC debe interpretarse siempre en relación con la edad y el sexo de la persona evaluada (21).

La evidencia que menciona diferencias étnicas en la calcificación de las arterias coronarias (CAC) y los resultados clínicos es cada vez mayor. En el Estudio Multiétnico de Aterosclerosis, tras ajustarlo por factores tradicionales de riesgo: Encontraron diferencias estadísticamente significativas en el CAC entre cuatro grupos étnicos (blancos, negros, hispanos y chinos). Los participantes blancos mostraron un CAC más alto, seguidos en orden descendente por los participantes chinos, hispanos y negros. Esto conlleva especial relevancia para estudios en poblaciones latinoamericanas, ya que la simple extrapolación de puntos de corte obtenidos a partir de cohortes extranjeras podría no reflejar con exactitud la distribución de riesgo local (13,21).

La epidemiología del CAC se vincula con la carga de factores de riesgo tradicionales. Los pacientes con diabetes tienden a tener niveles más altos de CAC, lo que predice resultados clínicos adversos. Los niveles más altos de HbA1c se asocian tanto con la aparición como con la progresión de la CAC. Factores que aumentan el riesgo de CAC incluyen el síndrome metabólico, la dislipidemia, fumar, la hipertensión, la enfermedad renal crónica (ERC) y niveles altos de proteína C reactiva en la sangre. Por esta razón, el score de calcio se ha vuelto una herramienta útil para identificar la aterosclerosis subclínica en personas asintomáticas que tienen un riesgo cardiovascular que no se muestra completamente en los modelos clínicos tradicionales (23,24).

3. PUNTUACIÓN DE CALCIO CORONARIO

3.1 FUNDAMENTO CLÍNICO DEL SCORE DE CALCIO

La puntuación del calcio coronario es un método tomográfico de cuantificación para la identificación y medición de la carga de placa aterosclerótica calcificada en las arterias coronarias. Su punto fuerte está en que permite detectar enfermedad antes de que se haga clínicamente evidente, proporcionando información pronóstica independiente de los factores de riesgo convencionales. Por ello, en las guías y revisiones recientes, el CAC se reconoce como un modificador de riesgo útil en prevención cardiovascular primaria, sobre todo cuando existe incertidumbre terapéutica (20,21,25).

A diferencia de las calculadoras clínicas de riesgo cardiovascular, que utilizan datos demográficos y factores de riesgo para calcular la probabilidad de eventos, el score de calcio nos informa si el cuerpo tiene coronariopatía de tipo aterosclerótica. Esa diferenciación conceptual considera: que el modelo clínico proyecta riesgo, el CAC muestra daño vascular ya acumulado. En la práctica, la combinación de ambos enfoques permite una mejor estratificación del paciente y facilita la adopción de decisiones preventivas más personalizadas.

Hoy en día se conocen tres maneras de puntuar el CAC: la puntuación de Agatston, la puntuación por volumen y la puntuación por masa. De los tres métodos, el de Agatston es el que mayor validación tiene y el que se utiliza en la práctica como estándar de referencia (26).

3.2 EVALUACIÓN MEDIANTE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

La calcificación de las arterias coronarias se evalúa principalmente mediante tomografía computarizada cardíaca por haz de electrones (EBCT). La misma inició en la década de 1980, seguida a finales de la década de 1990 por la tomografía computarizada por detector multicorte

(MDCT), sin contraste y sincronizada con el electrocardiograma (ECG). El estudio es rápido, no invasivo y de baja dosis de radiación en los protocolos actuales. Debido a que no requiere contraste intravenoso, no exige acceso venoso ni preparación compleja, lo que favorece su aplicabilidad en escenarios de prevención cardiovascular (21).

La detección de CAC mediante tomografía computarizada cardíaca por haz de electrones tiene una velocidad significativamente superior. Esto permite la detección de CAC a pesar del movimiento cardíaco, con una exposición efectiva a la radiación de aproximadamente 0,7 mSv a 1,0 mSv en hombres y de 0,9 mSv a 1,3 mSv en mujeres. La MDCT permite una adquisición de imágenes aún más veloz. La MDCT se utiliza con mayor frecuencia que la EBCT debido a su mayor precisión, resolución espacial y calidad de imagen. La MDCT tiene una dosis de radiación ligeramente superior, de 1,0 mSv a 1,5 mSv en hombres y de 1,1 mSv a 1,9 mSv en mujeres (23,24). Los avances más recientes en la angiografía cardíaca por TC (CTA) también pueden revelar características como el volumen y la densidad de la placa (21).

En las décadas siguientes, las tecnologías de TC evolucionaron muy rápidamente, mejorando las condiciones para la obtención de imágenes coronarias no invasivas (13). Si bien las técnicas de imagen en constante evolución han ofrecido mejoras continuas en la exploración de CAC, los métodos para la evaluación y cuantificación de CAC se estandarizaron en los inicios de la EBCT mediante el método de Agatston (13).

3.3 PREPARACIÓN Y ADQUISICIÓN DEL ESTUDIO

En los estudios en los que solo se va a hacer el estudio de calcificación coronaria (CAC), el paciente no requiere administración de contraste y, por tanto, no necesita tampoco acceso venoso ni ayuno.

En los protocolos más habituales, el estudio de score coronario requiere sincronización con ECG, por lo que es importante una correcta colocación de electrodos para obtener una buena señal. Se realiza una adquisición prospectiva en diástole. Aunque la frecuencia cardiaca (FC) es uno de los principales determinantes de la calidad de los estudios de TC coronario: Tiene una repercusión menor sobre la calidad de los estudios de score coronario que sobre la angiografía coronaria por TC (16,27).

Como en cualquier estudio cardiaco, se comienza con la toma del topograma, que, según el equipo, puede ser una única adquisición frontal o una frontal y lateral. Dicho topograma nos servirá para ajustar el rango de exploración y debe adquirirse en inspiración. Se realiza una adquisición prospectiva que requiere una apnea de escasos segundos.

En los estudios de score de calcio, el área de interés debe incluir todo el corazón, por lo que el rango debe cubrir 1-2 cm por debajo de la carina y extenderse hasta el reborde cardiaco inferior. Debajo del diafragma. Es fundamental ajustar el rango de exploración en cada caso para minimizar la exposición a la radiación. Aunque la dosis de radiación puede depender de las características del equipo y del paciente, el score de calcio requiere generalmente baja radiación (0,4 a 1 mSv, una dosis comparable a una mamografía) (27).

3.4 Método de Agatston y cuantificación del calcio coronario

En 1990, el cardiólogo Arthur Agatston y el radiólogo Warren Janowitz presentaron una forma de cuantificar el calcio coronario que se aprovechó de la introducción reciente de la tomografía de haz de electrones sincronizada con el ritmo cardíaco. En la actualidad, se disponen de diversas formas de cuantificar la puntuación CAC, cada una con sus ventajas y desventajas. El cálculo del CAC se hace por tomografía computarizada sin contraste, utilizando el método de Agatston, que fue descrito por Agatston y Janowitz en 1990 (28).

El score de Agatston, conseguido mediante tomografía computarizada sin contraste con sincronización electrocardiográfica, continúa siendo el patrón de referencia, el más avalado y el que se emplea con mayor frecuencia en la práctica. Se han empleado algoritmos de reconstrucción iterativa para mejorar el proceso técnico y algoritmos de inteligencia artificial para la segmentación automática de las arterias coronarias. Esto ha logrado que los resultados sean más consistentes y ha disminuido el tiempo de lectura (29).

Esta puntuación se calcula multiplicando el área de aterosclerosis calcificada, que se define como un área de al menos 1 mm^2 y con una densidad > 130 unidades de Hounsfield. La ponderación clásica se establece en cuatro rangos de densidad: 1: 130 - 199 UH, 2: 200 - 299 UH, 3: 300 - 399 UH y 4: 400 UH y más. A cada rango se le otorga un factor progresivo que se multiplica por el área de calcificación. El sistema combina la longitud y la densidad del calcio, lo que explica que pueda resumir la carga total de placa calcificada en un solo valor (30).

La CAC total se calcula sumando las puntuaciones de cada área de calcificación. La suma total de estas áreas para todo el árbol coronario nos da la puntuación total (score coronario, score de Agatston o CAC). Para este cálculo se utilizan cortes de 2,5 a 3 mm de grosor (21).

Aunque la información puede desglosarse por arterias, la mayoría de los estudios tienen en cuenta el valor absoluto del score de Agatston a la hora de estratificar el riesgo de eventos. No obstante, la distribución del calcio en el árbol coronario, y su desglose por arterias coronarias, puede ser una información de interés clínico en muchos pacientes (21).

Una forma común de informar los resultados del estudio de CAC es la de añadir la información sobre el percentil en el que se encuentra el paciente respecto a individuos de similar edad, sexo y etnia, información obtenida a través de cohortes prospectivas, siendo la más conocida la del estudio MESA (7,8). La información expresada en forma de percentil puede ser más accesible para el paciente a la hora de entender su riesgo comparativamente al de personas de similar edad y sexo, y mejorar así su percepción de riesgo y su adherencia a las medidas de prevención cardiovascular. Las guías de la Sociedad Europea de Cardiología sugieren que un score ≥100 o un percentil ≥75 para la edad y sexo deben considerarse como un criterio de alto riesgo que justifica terapias lipídicas intensivas (8).

Otro método para medir la CAC es la puntuación de volumen, densidad, masa de calcio y puntuación de afectación segmentaria. No obstante, la puntuación de Agatston continúa siendo la referencia para la valoración clínica y la comparación entre estudios (7,25). Es capaz de predecir, de forma independiente, con mucha precisión, la aparición de eventos cardiovasculares graves. Su medición permite estratificar el riesgo y elaborar estrategias para prevenir y tratar la enfermedad coronaria en la práctica clínica (28,31).

3.5 Clasificación clínica del puntaje de calcio coronario

La clasificación clínica del puntaje CAC según categorías de Agatston establece: 0 (ausencia de enfermedad aterosclerótica), 1–99 (enfermedad aterosclerótica leve), 100–399

(enfermedad aterosclerótica moderada) y ≥400 (enfermedad aterosclerótica severa) (21). Las tasas de eventos a 10 años en el estudio MESA variaron entre 1,3% y 5,6% para puntuaciones de 0 y entre 13,1% y 26,6% para puntajes superiores a 300, estimándose un incremento relativo del 14% en el riesgo de ASCVD por cada duplicación del puntaje CAC, manteniendo constantes los demás factores de riesgo (31).

Investigaciones derivadas de la cohorte MESA publicadas entre 2020 y 2024 han demostrado que la inclusión del CAC en las calculadoras de riesgo tradicionales mejora significativamente el índice de reclasificación neta, especialmente en individuos clasificados como de riesgo intermedio o limítrofe por las guías ASCVD. La calcificación de las arterias coronarias (CAC) puede ser útil para predecir si hay o no estenosis coronaria, pero por lo general es un mejor signo de cuán avanzada está la aterosclerosis coronaria que del nivel de estenosis (20).

Las recomendaciones actuales sugieren que se interprete al CAC como un continuo de riesgo y no como un fenómeno dicotómico. A medida que va subiendo la carga de calcio, va subiendo también la probabilidad de tener eventos cardiovasculares en el futuro. El gradiente apoya su utilidad para identificar a pacientes que podrían beneficiarse de intervenciones preventivas más intensas (32).

Las tablas de percentiles MESA permiten comparar a una persona con su grupo de referencia; esto es importante para nuestro estudio, donde la población mestiza ecuatoriana puede ser comparada con el subgrupo hispano de MESA para evaluar similitudes y diferencias en el avance de la aterosclerosis subclínica.

3.6 SCORE DE CALCIO COMO HERRAMIENTA DE ESTRATIFICACIÓN DEL RIESGO CARDIOVASCULAR

La estimación del riesgo de enfermedad cardiovascular (ECV) es un componente fundamental de la toma de decisiones compartida entre el médico y el paciente, que se utiliza para guiar el inicio y la intensificación de las terapias preventivas.

Los scores de riesgo clínico son herramientas con considerable utilidad práctica, pero tienen importantes limitaciones, pudiendo infraestimar el riesgo en pacientes que podrían beneficiarse de una intervención farmacológica, como sobreestimar en otros casos, con la consiguiente sobremedicación. Dada la relevancia que tiene la estimación de riesgo, son necesarias herramientas diagnósticas que permitan mejorar la estratificación del riesgo de eventos cardiovasculares. El score de calcio es un marcador directo de carga de placa ateroesclerótica calcificada (21).

El valor clínico del puntaje CAC radica en su capacidad para reclasificar el riesgo de individuos en los que los modelos tradicionales resultan insuficientes, con especial valor en pacientes de riesgo intermedio (16). Una revisión narrativa que sintetizó datos de 109 estudios publicados entre 2000 y 2025 demostró que el CAC ofrece un valor pronóstico superior al de estimadores tradicionales como el puntaje de Framingham y las ecuaciones de cohortes agrupadas, orientando eficazmente las decisiones sobre inicio de terapia con estatinas y ácido acetilsalicílico; un puntaje CAC de 0 confiere un riesgo muy bajo de mortalidad o eventos cardiovasculares, con potencial para desescalar la terapia preventiva (16).

Varios estudios han demostrado que las mediciones de CAC son predictivas de eventos cardiovasculares (2,33). Esto significa que la puntuación CAC no se combina con ningún otro

factor tradicional de riesgo a la hora de predecir el riesgo. De esta forma, la inclusión de la puntuación CAC en los algoritmos y guías convencionales permite una mejor evaluación del riesgo cardiovascular y ayuda a la toma de decisiones clínicas (28).

En el terreno de la prevención primaria, el CAC tiene especial valor en el área de la zona de incertidumbre clínica. Los estudios de cohorte han demostrado que la combinación del puntaje CAC con la evaluación del riesgo de ECV puede guiar la determinación individualizada de los objetivos de presión arterial sistólica. Esto identifica subgrupos en los que la intensificación del tratamiento antihipertensivo está justificada independientemente del nivel de riesgo calculado por las escalas tradicionales. Esta versatilidad hace que el CAC sea una herramienta transversal para múltiples decisiones terapéuticas en prevención primaria. (29).

Toda esta evidencia ha llevado a la idea del "poder del cero", que indica que no tener calcio coronario cambia el riesgo a uno bajo. Esto puede permitir posponer o ajustar las estrategias de prevención con medicamentos, siempre enfocándose en mejorar el estilo de vida. Estudios a largo plazo publicados en 2020 y 2022 muestran que no tener calcio coronario identifica a un grupo de pacientes con una tasa de eventos menor al 1% en 10 años, incluso si tienen diabetes mellitus o hipertensión (34).

Esta evidencia ha llevado a sugerir que se reduzcan los tratamientos para pacientes de riesgo intermedio. Esto permite posponer el uso de estatinas y evitar el uso regular de ácido acetilsalicílico en la prevención primaria, ya que el riesgo de sangrado es mayor que el beneficio para el corazón en este grupo. No obstante, se ha definido el 'periodo de garantía' de un CAC=0 en aproximadamente 5 años para pacientes de alto riesgo metabólico y hasta 10 años para el resto, tras lo cual se recomienda una reevaluación (35).

Sin embargo, el 'poder del cero' no impide que haya placa no calcificada (blanda), que puede ser detectada con angiotomografía coronaria (CCTA) en un escaso porcentaje de pacientes, sobre todo en jóvenes fumadores. Por ello, la interpretación del CAC=0 debe ser siempre integrada al juicio clínico individual (36).

El score de calcio también puede reclasificar el riesgo al alza. Un estudio en el que se realizó el CAC a 1611 pacientes asintomáticos (edad media 53 años) evidenció que 59% de los participantes con CAC ≥400 no se identificaban como de alto riesgo según el score de Framingham. Por ello, no hubieran sido candidatos a tratamiento hipolipemiante si solo se hubiera tenido en cuenta el score clínico. La prueba de CAC ayuda a evaluar el riesgo en pacientes sin síntomas y ofrece un esquema para comenzar o aumentar los tratamientos preventivos con estatinas, además de los factores de riesgo comunes (38,42).

Los datos de seguimiento de 15 a 20 años de la cohorte MESA resaltan que un CAC elevado es predictor no solo de eventos coronarios, sino también de insuficiencia cardíaca, fibrilación auricular e incluso mortalidad por todas las causas. Esto consolida al score de calcio como un marcador de salud cardiovascular global (37).

3.7 Score de calcio como predictor de eventos cardiovasculares en pacientes asintomáticos en relación al estudio MESA

El valor pronóstico del score de calcio ha sido demostrado en amplias cohortes prospectivas y retrospectivas, siendo la más conocida la cohorte MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). En ella se incluyeron 6.722 pacientes sin enfermedad cardiovascular conocida, de 45 a 84 años y de diferentes grupos raciales (raza blanca, negra, hispana y asiática), a los que se llevó a cabo un estudio del calcio coronario por TC (8). En la primera publicación, con un seguimiento medio de 3,8 años, se estableció que los pacientes con un score de calcio

entre 101-300 tenían un riesgo de eventos coronarios 7,7 veces mayor que los que tenían un score de 0, siendo el riesgo 9,7 veces más alto en aquellos con score >300 (8,38).

Tras un seguimiento medio de 11 años de la misma cohorte, se evidenció una tasa de eventos cardiovasculares mayores (muerte cardiovascular, ictus o infarto no fatal) de 1,3-5,6 % en pacientes con CAC = 0, y de 13,1-25,6 % en aquellos con CAC >300. Los pacientes con CAC >100 tenían un riesgo de eventos >7,5% independientemente del sustrato demográfico (36). El incremento de riesgo fue independiente de la edad, sexo y grupo étnico. Tanto en este estudio como en otros, se consolida la evidencia sobre la baja tasa de eventos a 10 años en pacientes con score =0, convirtiendo esta información en una potente herramienta de reestratificación del riesgo. Esto se enfoca hacia una posibilidad inferior, en aquellos pacientes en los que pudieran existir dudas sobre el inicio de medidas preventivas como las estatinas (8,39).

De forma similar al estudio MESA, el estudio Heinz Nixdorf Recall analizó el CAC de 4.487 pacientes sin enfermedad coronaria conocida. Con un seguimiento de 5 años, los pacientes que se encontraban por encima del percentil 75 tenían un riesgo significativamente mayor de eventos coronarios que aquellos que estaban por debajo del percentil 25. El CAC mejoró la capacidad predictiva del score de Framingham tanto en hombres como en mujeres, dato que se ha consolidado también en otros estudios utilizando diferentes scores de riesgo clínicos (36).

Teniendo en cuenta el grupo racial, el estudio MESA evidenció CAC más altos en varones de raza blanca o hispanos, y más bajos en afroamericanos de edades jóvenes y

orientales de edad avanzada. El CAC fue más elevado en mujeres de raza blanca y más bajo en mujeres hispanas y orientales (36).

4. HERRAMIENTAS DE PREDICCIÓN DE RIESGO CARDIOVASCULAR: ASCVD - PREVENT - MESA

La evaluación del riesgo cardiovascular ha cambiado mucho en los últimos diez años. Ahora se usan modelos que no solo se basan en factores clínicos tradicionales, sino que también incluyen biomarcadores de imagen y variables cardiometabólicas avanzadas.

4.1 ASCVD:

Es una herramienta desarrollada en el 2013 por el ACC/AHA; estima el riesgo a 10 años de eventos cardiovasculares ateroscleróticos mediante variables clínicas como edad, sexo, raza, colesterol, presión arterial, diabetes y tabaquismo. Aunque en su momento fueron un progreso, se reconocen sus limitaciones: se basaron en poblaciones con características sociodemográficas específicas y no reflejan bien los cambios actuales en los perfiles de riesgo, como la disminución del tabaquismo y el aumento de la obesidad y la enfermedad renal crónica (40) .

4.2 PREVENT (Predicting Risk of Cardiovascular Disease Events)

Es una herramienta desarrollada por la AHA en el 2023; representa el avance más reciente en predicción de riesgo de enfermedad cardiovascular incidente. Desarrollada y validada en 25 conjuntos de datos con más de 6 millones de pacientes, desarrolló ecuaciones específicas por sexo para reflejar la carga y los patrones contemporáneos del riesgo cardiovascular, incorporando la interacción entre obesidad, diabetes y enfermedad renal, enmarcada en el concepto de síndrome cardiovascular-renal-metabólico; a diferencia de las ecuaciones de cohortes agrupadas, las PREVENT estiman el riesgo de enfermedad

cardiovascular total, incluyendo insuficiencia cardíaca, y permiten calcular el riesgo a 10 como a 30 años a partir de los 30 años de edad (6,34).

4.3 Calculadora MESA

El estudio MESA generó una calculadora de riesgo que incorpora el puntaje CAC junto con los factores de riesgo tradicionales para estimar el riesgo a 10 años de enfermedad coronaria. Un análisis retrospectivo de 632 adultos asintomáticos libres de enfermedad coronaria o accidente cerebrovascular demostró que la incorporación del CAC a través de la calculadora MESA mejoró significativamente la asignación a terapia con estatinas en comparación con las ecuaciones de cohortes agrupadas. Hubo diferencias estadísticamente significativas en la supervivencia según la categoría de riesgo calculada. La calculadora MESA permite obtener el riesgo con y sin CAC, facilitando cuantificar el valor incremental de incluir la imagen coronaria en la decisión clínica(41).

Pavlović y cols. en 2025. Verificaron que la aplicación del CAC, al seguir las recomendaciones de prevención primaria, puede modificar significativamente la clasificación de riesgo y las decisiones clínicas derivadas de ella. El análisis de MESA en personas con bajo riesgo mostró que la incorporación de CAC aumenta la posibilidad de diferenciar el riesgo cuando se compara con otras calculadoras que estiman el riesgo teórico. (42).

4.4 Score de calcio coronario frente a otros biomarcadores de riesgo

En pacientes asintomáticos, la ausencia de calcificación coronaria (CAC = 0) tiene un valor predictivo superior al de otros biomarcadores de riesgo como el grosor íntima-media carotídeo, la historia familiar, el índice tobillo-brazo, el BNP, la albuminuria o la PCR

ultrasensible. Un CAC=0 es una herramienta muy potente de reclasificación de riesgo a un riesgo bajo, algo que puede tener gran repercusión en el manejo clínico del paciente (36).

Comparar los scores clínicos de riesgo cardiovascular es atractivo metodológicamente, ya que cada herramienta representa una lógica distinta de estimación. Las ecuaciones tradicionales describen probabilidad de eventos a partir de perfiles clínicos poblacionales; PREVENT amplía la perspectiva al incorporar salud cardiovascular, renal y metabólica; y MESA con CAC añade evidencia anatómica de aterosclerosis subclínica (43). En nuestro estudio, el contraste de estos instrumentos nos ayudará a permitir la identificación de concordancia, discordancia y potencial reclasificación del riesgo, especialmente en individuos cuyos factores clínicos no reflejan con precisión la carga aterosclerótica observada por tomografía. La inferencia se apoya en la evidencia de mejora de reclasificación que asocia al CAC y en la evolución reciente de las ecuaciones de riesgo.

4.5 Recomendaciones de guías internacionales para el uso del CAC en riesgo bajo e intermedio

Las Guías de Práctica Clínica (GPC) son fundamentales para establecer recomendaciones sistemáticas y de aplicación universal, que ayuden tanto a profesionales como a pacientes a tomar decisiones sobre la atención médica adecuada (44).

Las principales guías internacionales han establecido el papel del CAC en los algoritmos de prevención primaria. Se emplea como herramienta adicional y resulta indispensable reclasificar a las personas de riesgo intermedio (45).

Guías del Colegio Americano de Cardiología AHA/ACC 2022 para la prevención primaria de ECV:

Apoyan el uso del CAC como una herramienta práctica de toma de decisiones y de estratificación de riesgo en prevención primaria cardiovascular para pacientes con un riesgo estimado entre 5 y 20 %.

El consenso de la ACC del 2022 incorporó el CAC dentro de la discusión sobre prevención lipídica. En adultos sin condiciones de alto riesgo claramente establecidas, un CAC de 0 puede respaldar la postergación del inicio de estatinas y una reevaluación posterior, siempre que no existan elementos clínicos que modifiquen de forma importante esa interpretación. En sentido contrario, un CAC entre 1 y 99 unidades Agatston favorece considerar tratamiento, en especial a partir de los 55 años. Mientras que un puntaje igual o superior a 100, o ubicado por encima del percentil 75 para edad y sexo, fortalece con claridad la indicación de una estrategia hipolipemiante más activa. Más que imponer una conducta automática, estas recomendaciones sitúan al CAC como un instrumento útil para evaluar el riesgo real, beneficio esperado y oportunidad de intervenir en el paciente (46).

Sí, las decisiones basadas en el riesgo para intervenciones preventivas siguen siendo inciertas; considerar la medición de CAC en adultos seleccionados, como un factor determinante para evaluar el riesgo real, otorgando al puntaje CAC una recomendación Clase IIa para orientar la toma de decisiones compartida sobre inicio de terapia con estatinas en individuos de riesgo intermedio (16).

Guías de la Sociedad Cardiovascular Canadiense CCS 2021 para la prevención primaria de ECV:

Cuando el riesgo clínico no permite tomar una decisión concluyente, un CAC mayor de 100 unidades Agatston apoya el inicio de estatinas independientemente del puntaje de Framingham; si el valor se encuentra entre 1 y 99, la decisión debe individualizarse porque la

reclasificación no siempre resulta suficiente por sí sola. En personas de bajo riesgo, estas guías no respaldan el uso generalizado del CAC, aunque reconocen que puede ser razonable en subgrupos seleccionados, por ejemplo, adultos mayores de 40 años de edad con antecedentes familiares de ASCVD prematura (hombres <55 años, mujeres ≤65 años) e indicadores genéticos de ASCVD (16,47).

Guías de la Sociedad Europea de Cardiología ESC 2021 para la prevención primaria de ECV y manejo de dislipidemia:

La disponibilidad de la prueba, su costo-efectividad y la magnitud del hallazgo en relación con la edad y el sexo son aspectos que deben considerarse antes de incorporar el resultado a la toma de decisiones. Un puntaje bajo o incluso ausente no elimina por completo el riesgo cardiovascular, así como un valor elevado no sustituye la valoración global del paciente. La ESC recomienda una CAC >100 para la reclasificación ascendente considerando la terapia con estatinas. Por lo tanto, el CAC no sustituye la historia clínica ni los modelos de estimación, pero puede ofrecer una medida objetiva de la carga aterosclerótica que hace la estrategia preventiva más precisa (48).

Las guías de control lipídico de la Sociedad Europea de Cardiología recomiendan con nivel de recomendación IIa B el uso del score de calcio como modificador de riesgo en pacientes asintomáticos de bajo riesgo o intermedio. Además, reconocen su utilidad a la hora de establecer la idoneidad del tratamiento con estatinas a largo plazo (49).

La puntuación de calcio en las arterias coronarias es el marcador de riesgo cardiovascular no tradicional más predictivo, con un impacto comprobado en el inicio y la continuación del tratamiento con estatinas, y se considera rentable cuando se aplica en poblaciones seleccionadas (47).

5. RELEVANCIA DE CAC EN GRUPOS ESPECIALES DE PACIENTES

El calcio arterial coronario (CAC) no tiene el mismo valor pronóstico en todos los perfiles clínicos. Hay grupos de pacientes en quienes la carga de aterosclerosis subclínica puede ser mayor, la evolución de la calcificación más rápida o la conducta preventiva estar indicada incluso antes de efectuar una prueba adicional de estratificación. Entre ellas, son de destacar las personas con hipertensión arterial, enfermedad renal crónica y diabetes mellitus, comorbilidades de especial relevancia para la valoración del riesgo cardiovascular en prevención primaria.

5.1 HIPERTENSIÓN ARTERIAL

La hipertensión arterial es uno de los factores de riesgo cardiovascular de mayor impacto y que participa directamente en el desarrollo de daño vascular, disfunción endotelial, remodelado arterial y progresión de la aterosclerosis. En personas sin síntomas, la exposición prolongada a niveles elevados de presión arterial se ha relacionado con una mayor cantidad de calcio coronario y, por lo tanto, con una carga más importante de aterosclerosis subclínica. En el Jackson Heart Study, valores más altos de presión arterial sistólica durante el sueño y de presión arterial diastólica tanto durante la vigilia como durante el sueño se relacionaron con una mayor probabilidad de CAC. Esto avala la estrecha relación entre el perfil hemodinámico y la calcificación coronaria (40).

El CAC también puede aportar información complementaria cuando se busca refinar el riesgo cardiovascular en pacientes con presión arterial elevada o hipertensión de menor grado, especialmente si la indicación de intensificar el tratamiento preventivo no es evidente con la evaluación clínica inicial. Un análisis de cohortes publicado por Parcha y colaboradores mostró que el score de calcio coronario permitió diferenciar de forma más precisa el riesgo de eventos cardiovasculares y estimar mejor el posible beneficio absoluto de iniciar tratamiento

antihipertensivo en determinados subgrupos. En particular, la ausencia de CAC se asoció con un perfil de riesgo más favorable en personas con presión arterial elevada y en algunos pacientes con hipertensión estadio 1 de bajo riesgo global (50).

La literatura más reciente sugiere que, el CAC no debe entenderse como una prueba de rutina para toda persona hipertensa ni como un sustituto del tratamiento oportuno de la presión arterial. Su mayor utilidad se encuentra en situaciones de incertidumbre clínica, cuando se necesita una mejor estimación del riesgo o cuando la conversación sobre la intensidad de la prevención cardiovascular puede mejorar con una medida directa de aterosclerosis subclínica. Esta aproximación es coherente con las recomendaciones internacionales que reserva el CAC para la reclasificación individual del riesgo en pacientes seleccionados (50).

5.2 Enfermedad renal crónica

La enfermedad renal crónica (ERC) es una afección asociada a un aumento del riesgo cardiovascular. En estos pacientes, la calcificación vascular se suele presentar más extensa, en etapas más tempranas y con mayor rapidez de lo que ocurre en la población general. No solo depende de los factores de riesgo ateroscleróticos tradicionales, sino también de alteraciones propias de la ERC, como la inflamación crónica, el estrés oxidativo, la disfunción endotelial y los trastornos del metabolismo mineral y óseo, especialmente las alteraciones del calcio, fósforo y hormona paratiroidea. Por tal motivo, la calcificación de las arterias coronarias puede expresar una carga aterosclerótica y vascular particularmente agresiva en este grupo de pacientes (42,44).

En el Estudio CRIC (adultos con ERC), la progresión del calcio coronario se relacionó con mayor riesgo de eventos cardiovasculares ateroscleróticos. El CAC no solo refleja la enfermedad subclínica acumulada, sino también un fenotipo de riesgo cardiovascular dinámico

y clínicamente relevante, según este hallazgo. Por tanto, en los pacientes con ERC, la presencia y la evolución del CAC deben considerarse como indicadores de una mayor vulnerabilidad cardiovascular (51).

Desde el punto de vista clínico, las guías internacionales reconocen a la ERC como un factor potenciador del riesgo cardiovascular y, en sus formas más avanzadas, como una condición de riesgo alto o muy alto. Por ello, en pacientes con ERC y riesgo claramente elevado, la conducta preventiva no debería depender de la medición del CAC, dado que la necesidad de intervención intensiva sobre lípidos, presión arterial y otros factores de riesgo ya se encuentra establecida. En este escenario, el CAC no reemplaza el juicio clínico ni debe retrasar decisiones terapéuticas indicadas (52).

5.3 Diabetes mellitus

La diabetes mellitus (DM) representa otro grupo de especial interés en la valoración del calcio coronario. Aunque durante años se consideró de manera general que la diabetes confería un riesgo equivalente al de la enfermedad cardiovascular aterosclerótica establecida, las guías contemporáneas reconocen que este riesgo es heterogéneo. Factores como la duración de la diabetes, la presencia de daño de órgano diana, la coexistencia de enfermedad renal crónica, la edad y la carga de factores de riesgo modifican de manera importante el pronóstico cardiovascular. Por esta razón, las Guías ESC 2023 sobre enfermedad cardiovascular en diabetes proponen que los pacientes con DM y daño en órganos diana, DM >10 años o inicio temprano de DM tipo 1 de larga duración (>20 años) deben recibir atención inmediata que no estipula la puntuación de calcio preventiva, incluso mediante herramientas específicas como SCORE2-Diabetes en pacientes sin enfermedad cardiovascular aterosclerótica manifiesta ni daño orgánico grave (53).

El CAC puede ofrecer aquí un valor complementario importante. La existencia de calcio coronario en los diabéticos se relaciona con una mayor carga de aterosclerosis subclínica y con un aumento del riesgo de eventos cardiovasculares. Se ha demostrado que la incorporación del CAC mejora la predicción de eventos mayores por encima de los modelos clínicos tradicionales en pacientes con diabetes tipo 2 sin enfermedad coronaria conocida, según estudios recientes. En pacientes diabéticos asintomáticos, el análisis mostró que la CAC aportó capacidad pronóstica a las escalas convencionales para identificar individuos con mayor probabilidad de sufrir infarto, accidente cerebrovascular o muerte cardiovascular. (48).

Un estudio publicado en 2025 que siguió durante más de 17 años a pacientes con diabetes tipo 2 asintomáticos encontró que una mayor carga de calcio coronario se asoció con un aumento progresivo en el riesgo de MACE y de mortalidad. Estos datos hablan a favor del empleo del CAC como herramienta para reconocer subgrupos de riesgo particularmente elevado dentro de una población que por definición ya presenta vulnerabilidad cardiovascular aumentada (54).

6. IMPLICACIONES TERAPÉUTICAS DEL SCORE DE CALCIO CORONARIO

La puntuación de calcio arterial coronario (CAC) ha adquirido un papel importante en la prevención cardiovascular primaria, ya que permite la interpretación de la detección de aterosclerosis subclínica en decisiones terapéuticas más individualizadas. No es que su utilidad está en sustituir la valoración clínica tradicional, sino en complementar la estimación de riesgo cuando hay incertidumbre sobre si iniciar o intensificar tratamiento hipolipemiante. En este sentido, las principales guías y documentos de consenso coinciden en que el CAC resulta de especial utilidad en adultos asintomáticos con riesgo cardiovascular límite o intermedio, en quienes la decisión de iniciar estatinas no siempre resulta evidente a partir de las calculadoras convencionales (16).

6.1 Orientación de la terapia con estatinas

Desde el punto de vista práctico, el CAC actúa como un instrumento de reclasificación. Un puntaje bajo o ausente puede sustentar una estimación de riesgo menor a la inicialmente calculada, mientras que una carga de CAC elevada confirma una mayor carga aterosclerótica y favorece el inicio o la intensificación del tratamiento preventivo. Esta posibilidad de mover al paciente de una categoría de riesgo a otra mayor o menor, hace que el CAC sea especialmente útil para ayudar al médico y al paciente a tomar decisiones juntos, especialmente cuando se habla del beneficio esperado que a largo plazo puede tener en el paciente que sigue terapia con estatinas. (55,56).

En adultos de 40 a 75 años sin enfermedad cardiovascular aterosclerótica establecida y con un riesgo de ASCVD a 10 años límite o intermedio, la medición del CAC puede usarse para aclarar la indicación de estatinas. Un CAC de 0 suele apoyar la posibilidad de retrasar el inicio del tratamiento y reevaluar el riesgo en un intervalo de aproximadamente 5 a 10 años, siempre que no haya condiciones que por sí solas justifiquen una estrategia preventiva más intensiva, como diabetes mellitus, tabaquismo activo, antecedente familiar relevante de ECV prematura o hipercolesterolemia severa. Por tanto, un puntaje de 0 no debe interpretarse como una ausencia absoluta de riesgo, sino como un hallazgo que puede modular la decisión terapéutica dentro de un juicio clínico integral (46,55).

AHA/ACC recomienda:

- CAC = 0 deferir el tratamiento y reevaluar en 5-10 años (en individuos sin DM, historia familiar de enfermedad coronaria precoz).
- CAC = 1 a 99 o inferiores al percentil 75: iniciar una estatina de intensidad moderada.
- CAC = 100 o percentil superior a 75: iniciar estatinas.

ESC / EAS recomienda:

- En pacientes de riesgo moderado y CAC >100, es razonable iniciar tratamiento preventivo.

SCCT recomienda:

En individuos con riesgo ASCVD de 5-20%

- CAC = 0 estatinas no recomendadas.
- CAC 1-99: estatinas de moderada intensidad (si el percentil <75) y de moderada-alta intensidad si el percentil ≥75.
- CAC 100-299: estatina de moderada-alta intensidad + AAS 81 mg
- CAC ≥ 300: estatina de alta intensidad + AAS 100 mg.

6.2 Uso selectivo del ácido acetilsalicílico en prevención primaria

El CAC ha despertado interés para seleccionar de manera más cuidadosa a los pacientes que podrían obtener beneficio del ácido acetilsalicílico (AAS) en prevención primaria. A diferencia de la prevención secundaria, donde se sabe que el AAS es efectivo contra la formación de coágulos, en personas que no tienen enfermedades cardiovasculares claras, su uso debe considerarse con cuidado. La reducción del infarto de miocardio o del accidente cerebrovascular isquémico no fatal puede verse afectada por un mayor riesgo de sangrado en el estómago, hemorragias en el cerebro y accidente cerebrovascular hemorrágico. La decisión de iniciar AAS a dosis bajas en adultos de 40 a 59 años con riesgo cardiovascular a 10 años ≥10% debe ser individualizada, y se desaconseja iniciarlo en adultos ≥60 años. De forma concordante, las guías ESC 2021 no recomiendan terapia antiplaquetaria en personas con riesgo cardiovascular bajo o moderado, debido al incremento del riesgo de sangrado mayor (57).

En este escenario, el CAC puede aportar información adicional para estimar si el balance entre beneficio isquémico y riesgo hemorrágico podría ser favorable. En un análisis del estudio MESA, restringido a pacientes menores de 70 años, sin ECV establecida, sin uso de AAS y sin alto riesgo de sangrado, los umbrales de CAC ≥100 y CAC ≥400 identificaron

subgrupos en los cuales el número necesario a tratar para prevenir un evento cardiovascular a 5 años fue menor que el número necesario para causar un sangrado mayor. En contraste, un CAC de 0 se asoció con una relación beneficio-riesgo desfavorable. Estos hallazgos sugieren que el CAC puede contribuir a seleccionar de forma más precisa a los pacientes en quienes la indicación de AAS continúa siendo clínicamente discutible (58).

Un CAC elevado no debe traducirse automáticamente en indicación de AAS. La decisión debe integrar la edad, el riesgo cardiovascular global, el antecedente de sangrado digestivo o intracraneal, la presencia de úlcera péptica, el uso concomitante de anticoagulantes o antiinflamatorios no esteroideos, la trombocitopenia y otras condiciones que incrementen el riesgo hemorrágico. Cuando existe CAC alto, riesgo aterosclerótico no bajo y riesgo de sangrado bajo, el AAS podría considerarse como una decisión clínica individualizada. Por el contrario, ante CAC de 0, edad avanzada o riesgo hemorrágico significativo, su uso en prevención primaria tiende a carecer de una justificación favorable (59).

7. LIMITACIONES DE LOS MODELOS INTERNACIONALES EN POBLACIONES LATINOAMERICANAS Y LA PERTINENCIA DE SU COMPARACIÓN EN LA POBLACIÓN ECUATORIANA

Las desventajas socioeconómicas, incluido el menor acceso a la educación, son factores determinantes importantes de estas diferencias, tanto entre los países como dentro de ellos. Los más pobres y con menor nivel educativo tienen mayor riesgo, por una mayor prevalencia de sedentarismo, tabaquismo, obesidad, hipertensión y diabetes, además de menor conocimiento sobre la enfermedad y menor acceso a la atención médica, lo que implica un aumento de la incidencia y mortalidad por ECV. (57,60).

Quito, capital de Ecuador, está situada a una altitud de 2.850 metros sobre el nivel del mar y presenta condiciones fisiológicas propias, como la disminución de la presión parcial de

oxígeno, adaptaciones eritropoyéticas y cambios en la respuesta cardiovascular al ejercicio, que no han sido tomadas en cuenta en ninguno de los modelos predictivos desarrollados para el nivel del mar. A esto se unen los factores étnicos predominantes de la población local, de características mestizas e indígenas, los determinantes sociales de salud, los hábitos alimenticios específicos y las peculiaridades en el acceso a la asistencia médica, elementos que conforman un perfil de riesgo cardiovascular que requiere ser analizado y definido de forma independiente.

Desde el punto de vista clínico, este estudio puede contribuir a distinguir tres perfiles de interés: individuos con riesgo clínico bajo pero CAC detectable; pacientes con riesgo intermedio en quienes el CAC modifica de forma relevante la estimación; y sujetos con CAC alto o muy alto que concentran mayor probabilidad de eventos y podrían requerir intervenciones preventivas intensificadas. Desde el punto de vista académico, comparar con MESA ayudará a identificar similitudes y diferencias con un grupo de referencia bien estudiado. Además, usar MACE como resultado hace que el análisis se enfoque en preguntas de impacto clínico real (70).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

JUSTIFICACIÓN

La calcificación arterial coronaria no es un fenómeno incidental; constituye un proceso biológico complejo, altamente regulado, que se desarrolla de manera paralela a la progresión de la placa aterosclerótica. La calcificación intimal, que es la que cuantifica el puntaje CAC, resulta de una cascada inflamatoria, activada por macrófagos y citoquinas locales, con la

consiguiente apoptosis de las células del músculo liso vascular y de la liberación de vesículas matriciales que promueven la deposición de sales de calcio. En su fase inicial, este fenómeno se manifiesta como microcalcificaciones (entre 0,5 y 15 micrómetros), que pueden confluir progresivamente hasta formar depósitos de mayor tamaño, visibles como láminas de calcio mayores a 3 mm ; y la acumulación de colesterol en la íntima promueve la inflamación.Esta comprensión fisiopatológica contemporánea dista mucho de la visión clásica que asignaba a la calcificación un papel inerte y meramente degenerativo (13,29,61).

Desde el punto de vista clínico, la calcificación coronaria es especialmente relevante porque es un marcador de carga global de aterosclerosis. El CAC, por su presencia y extensión, aporta una prueba directa de la existencia y magnitud de la enfermedad coronaria, e incluso predice acontecimientos futuros de forma independiente de los factores de riesgo cardiovascular convencionales, y lo hace más que ningún otro biomarcador no invasivo disponible. Es esta capacidad predictiva independiente la que justifica su incorporación como herramienta de estratificación en la práctica clínica preventiva, especialmente en individuos asintomáticos donde los métodos tradicionales resultan insuficientes (13).

El CAC se mide de forma no invasiva con tomografía computarizada sin contraste, utilizando como referencia el método de Agatston. El CAC predice de forma independiente la ocurrencia de eventos cardiovasculares adversos mayores (MACE) con mayor precisión que otras modalidades no invasivas, y la puntuación obtenida orienta tanto la estratificación del riesgo como las estrategias de intervención o prevención de enfermedad coronaria. Su utilidad va más allá del diagnóstico puntual, ya que permite personalizar decisiones terapéuticas, en particular la indicación o postergación del tratamiento con estatinas, en función de la carga real de aterosclerosis subclínica del individuo (21).

En lo que respecta a la cuantificación del riesgo, la calculadora del estudio MESA ha demostrado ser una herramienta de referencia especialmente valiosa. En análisis con más de 6.700 participantes del estudio MESA con una mediana de seguimiento de 16,7 años, la tasa de eventos cardiovasculares fue marcadamente superior en individuos con CAC detectable frente a aquellos sin calcio; la asociación entre CAC y el riesgo de eventos fue más pronunciada precisamente en individuos de bajo y riesgo limítrofe, quienes, paradójicamente, representan el grupo de mayor incertidumbre terapéutica en la práctica clínica. Este hallazgo tiene implicaciones directas para el diseño del presente estudio, que contempla exactamente ese rango de riesgo como población objetiva (29,38).

Desde el punto de vista epidemiológico, el contexto ecuatoriano le da una importancia particular a esta investigación. En Ecuador, la cardiopatía isquémica alcanza el 15,2% del total de fallecimientos reportados en 2023, reafirmándose como la principal causa de muerte en una transición epidemiológica marcada por el envejecimiento progresivo con un 8% de la población por encima de los 65 años y una creciente urbanización (73%), a la vez que coexisten prevalencias importantes de hipertensión arterial (23%), diabetes mellitus (6,4%) y obesidad (35%). Estos factores establecen las condiciones para que la aterosclerosis subclínica se desarrolle en adultos que parecen estar sanos, por lo que la detección temprana con CAC es una intervención muy valiosa desde el punto de vista clínico y de salud pública (11).

Las particularidades de la población quiteña añaden capas adicionales de complejidad. La ciudad se encuentra a 2.850 m.s.n.m. con las consiguientes diferencias en la presión parcial de oxígeno, la eritropoyesis, la frecuencia cardíaca basal y la respuesta cardiovascular al esfuerzo. A esto se suman diferencias en la composición étnica —con una proporción significativa de población mestiza e indígena no presente en las cohortes norteamericanas—,

distintos patrones alimentarios y determinantes sociales de salud, y la influencia del nivel socioeconómico en el acceso a tamizaje y tratamiento preventivo. Las encuestas de salud en Ecuador revelan una clara relación entre el nivel educativo, el lugar de residencia, la etnia y el nivel económico con el bienestar nutricional y de salud de las personas. Esto afecta la frecuencia de enfermedades crónicas no transmisibles (44).

Bajo el punto de vista del sistema de salud, la justificación del presente estudio se sustenta, además, en criterios de costo-efectividad y eficiencia en la asignación de recursos. Un puntaje CAC de cero permite retrasar de forma segura el inicio de la terapia con estatinas, mientras que los puntajes de 100 o más indican que el riesgo de sufrir eventos cardiovasculares mayores a los 10 años supera el 7,5 %, lo que justifica iniciar un tratamiento intensivo. Si esta estratificación pudiera ser aplicada de manera confiable en la población ecuatoriana, sería una herramienta de gran valor para evitar tanto el sobretratamiento como el subtratamiento en el ámbito de la prevención primaria, con implicaciones directas sobre la morbilidad y mortalidad cardiovascular y el gasto sanitario (5,60).

Los resultados de esta investigación podrían servir para mejorar la prevención y el manejo de la enfermedad cardiovascular en Ecuador, permitiendo identificar de forma más temprana a los individuos en riesgo y permitir la aplicación de estrategias de prevención más personalizadas. Lo que motivará a los pacientes a realizar importantes cambios terapéuticos en el estilo de vida y la voluntad de tomar terapias preventivas, ya que la prevención primaria es más costo-efectiva que el tratamiento de enfermedades establecidas. Paralelamente, pretendemos sentar las bases de una línea de investigación que nos permita una mayor comprensión de las particularidades de nuestra población y la optimización de la toma de decisiones en la práctica clínica.

Las enfermedades cardiovasculares siguen siendo la mayor causa de muerte en el mundo y uno de los principales causantes de discapacidad y carga sanitaria. De ellas, la cardiopatía isquémica es la forma más frecuente de presentación, y explica alrededor de la mitad de las muertes cardiovasculares a nivel mundial. Ante tal magnitud, los esfuerzos de prevención adquieren una relevancia que rebasa lo clínico: se trata de una prioridad de política sanitaria con implicaciones directas sobre la sostenibilidad de los sistemas de salud.

En los últimos años, las enfermedades cardiovasculares siguen siendo la primera causa de muerte en el Ecuador. En 2023, de todos los fallecimientos registrados en el país, el 15,2% correspondió a la cardiopatía isquémica. De acuerdo con la encuesta STEPS realizada en el año 2018 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) junto a la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el 25,8% de la población entre 18 y 69 años presenta tres o más factores de riesgo para enfermedades crónicas no transmisibles, entre los más prevalentes se identificaron la hipertensión arterial (19,8%), diabetes mellitus (6,4%) y la hipercolesterolemia que contribuyen de forma significativa al desarrollo de patología coronaria. Esta concentración del riesgo en personas aparentemente sanas crea una situación de especial urgencia para la prevención primaria (11,62).

El problema central que enfrenta la cardiología preventiva en este contexto no es la falta de motivación para actuar, sino la dificultad para identificar correctamente a quiénes intervenir. Los modelos clásicos de estratificación de riesgo, basados en factores como la edad, el colesterol, la presión arterial y el tabaquismo, han mostrado limitaciones significativas en su capacidad de discriminación individual. Si bien los puntajes tradicionales de riesgo

cardiovascular ofrecen una estimación útil del riesgo a nivel poblacional, más del 50% de los infartos de miocardio continúan ocurriendo en individuos clasificados como de "bajo riesgo" según estas herramientas. Esto evidencia que una proporción significativa de la aterosclerosis subclínica relevante queda sin detectar con los métodos convencionales. Esta brecha diagnóstica tiene consecuencias directas: individuos con carga aterosclerótica significativa no reciben intervención preventiva oportuna, mientras que otros de bajo riesgo real pueden someterse innecesariamente a tratamientos farmacológicos crónicos (6).

Ante esta limitación, la cuantificación del calcio arterial coronario (CAC) mediante tomografía computarizada sin contraste ha emergido como una solución concreta y basada en evidencia. El puntaje CAC ha demostrado una superioridad pronóstica frente a los estimadores de riesgo tradicionales como el puntaje de Framingham y las ecuaciones de cohortes agrupadas, orientando eficazmente las decisiones sobre inicio o suspensión de terapia con estatinas y aspirina; específicamente, un puntaje CAC de cero predice tasas de eventos muy bajas —permitiendo diferir el tratamiento con seguridad—, mientras que puntajes iguales o superiores a 100 indican que el riesgo a 10 años de eventos cardiovasculares mayores supera el 7,5%, umbral que justifica intervención intensiva. Esta capacidad de reclasificación es precisamente lo que convierte al CAC en una herramienta de alto valor en la práctica clínica preventiva. No obstante, la implementación del CAC como herramienta de estratificación enfrenta un obstáculo metodológico de fondo: la ausencia de modelos de referencia validados en poblaciones latinoamericanas. El estudio MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) —referente internacional en la materia— fue desarrollado en seis comunidades de Estados Unidos con representación de cuatro grupos étnicos norteamericanos, sin incluir población hispanoamericana ni mestiza latinoamericana. El riesgo cardiovascular varía de forma sustancial entre regiones, y los modelos de predicción específicamente desarrollados y

validados para América Latina y el Caribe siguen siendo insuficientes, lo que compromete la precisión del abordaje preventivo en estas poblaciones (4).

El puntaje de calcio coronario es un importante método de estratificación del riesgo cardiovascular, sin embargo, todavía faltan en Ecuador estudios que analicen esta relación con detalle y considerando las características demográficas y epidemiológicas de nuestra población. Por tal razón, con esta investigación se pretende aportar evidencia local que contribuya al análisis de riesgos-beneficios de las estrategias de cribado y a valorar su aplicabilidad única (63).

Ante lo expuesto anteriormente, se plantea la siguiente cuestión de investigación: **¿Cuál es el riesgo de eventos cardiovasculares asociados a la presencia del calcio coronario en una cohorte multicéntrica de personas de 45 a 84 años de la ciudad de Quito durante el período 2018–2024?**

Responder esta pregunta permitirá no solo generar evidencia científica local de alta relevancia. Adicionalmente, se establecerán los cimientos para ajustar los modelos de estratificación de riesgo cardiovascular a las características de la población ecuatoriana. Este enfoque facilitará la toma de decisiones clínicas preventivas más acertadas y contribuirá al robustecimiento de las políticas del país.

Se propone investigar cómo se relaciona el puntaje de calcio coronario en personas sin síntomas con factores demográficos. El objetivo es ayudar en la toma de decisiones en situaciones clínicas específicas y mejorar las políticas de prevención de enfermedades cardiovasculares.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Estratificar el riesgo de eventos cardiovasculares mediante la evaluación del grado de calcificación de las arterias coronarias mediante tomografía computarizada de tórax, en individuos sin enfermedad cardiovascular estudiada, en una población de la ciudad de Quito-Ecuador.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Describir la prevalencia y distribución del calcio coronario en función de las características sociodemográficas y los factores de riesgo cardiovascular tradicionales en un grupo de individuos sin enfermedad cardiovascular establecida de la ciudad de Quito, durante el período 2018–2024.
- Correlacionar el riesgo de eventos cardiovasculares estimado mediante las calculadoras MESA, ASCVD y PREVENT, con el fin de evaluar la concordancia y la capacidad de reclasificación de estas herramientas en la población quiteña.
- Describir la frecuencia de los factores de riesgo cardiovascular tradicionales y analizar su relación con la progresión de la aterosclerosis subclínica en individuos asintomáticos, caracterizando el perfil epidemiológico del riesgo cardiovascular en la ciudad de Quito durante el período 2018–2024.
- Determinar la asociación entre la presencia y magnitud del calcio coronario y la ocurrencia de eventos cardiovasculares mayores.

Diseño de investigación

Diseño observacional, retrospectivo, transversal, comparativo, multicéntrico. Se hará y se fundamentará una revisión sistemática de historias clínicas, estudios de score de calcio coronario obtenidos mediante tomografía computarizada de tórax, bases de datos institucionales del departamento de imagenología, obtenidos durante el periodo enero del 2018 a diciembre del 2024, en distintas unidades de diagnóstico cardiovascular de la ciudad de Quito. El diseño permite establecer la asociación entre la presencia y extensión del calcio coronario y la ocurrencia de eventos cardiovasculares mayores, como infarto agudo de miocardio, accidente cerebrovascular, revascularización coronaria o muerte de causa cardiovascular. Los datos se analizarán mediante el uso de métodos estadísticos comparativos y de regresión multivariada.

El carácter multicéntrico del estudio ayudará a que los resultados sean más representativos y válidos, permitirá comparar los resultados con los del estudio MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis) y proveerá evidencia valiosa del comportamiento del calcio coronario en la población ecuatoriana.

Población

No probabilístico: La probabilidad de selección de cada unidad de la población no es conocida. La muestra es escogida por medio de un proceso arbitrario. Se utiliza con frecuencia cuando no se conoce el marco muestral. Es decir, se integraron a los pacientes de 45 a 84 años, sin factores de riesgo cardiovascular, atendidos en el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín (HECAM) y en el Hospital de las Fuerzas Armadas N.º 1 HE-1, que contaban

con la información clínica necesaria para el análisis y que cumplían con los criterios definidos por la investigación.

ESTABLECIMIENTOS DONDE SE REALIZARÁ LA INVESTIGACIÓN

- Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín HECAM, código postal 170808
- Hospital de las Fuerzas Armadas N.º 1 HE-1, código postal 170146

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

1. Historia clínica completa
2. Edad entre 45 a 84 años.
3. Pacientes asintomáticos cardiovasculares.
4. Índice de calcio arterial coronario por tomografía computarizada de tórax y cuantificación por el método de Agatston.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

1. Historia clínica incompleta
2. Edad < 45 o > 84 años
3. Embarazadas
4. Presentar síntomas cardiovasculares (angina de pecho, disnea).
5. Diagnóstico previo de aterosclerosis coronaria o la presentación clínica compatible. (Infarto agudo de miocardio, angina inestable).
6. Diagnóstico de arteriosclerosis en otros territorios (carotídeo, accidente cerebrovascular o arteriopatía periférica).
7. Presencia de alguna contraindicación descrita para la realización de cuantificación de calcio coronario.

VARIABLES DEL ESTUDIO

En el estudio se tuvieron en cuenta variables sociodemográficas, antropométricas, clínicas y cardiovasculares. Las variables independientes fueron etnia, sexo, edad, peso, talla, índice de masa corporal, tabaquismo, antecedentes familiares de enfermedad cardiaca, hipertensión arterial, diabetes mellitus, dislipidemia y enfermedad renal crónica. Estas variables permitieron caracterizar a la población estudiada y analizar los principales factores asociados al riesgo cardiovascular.

Como variables dependientes se incluyeron, el Score MESA sin calcio coronario, el Score MESA con calcio coronario, el percentil de score de calcio, riesgo ASCVD, riesgo estimado mediante PREVENT y presencia de eventos cardiovasculares mayores. Con estas variables se pudo evaluar el riesgo cardiovascular de los pacientes y su relación con la presencia de calcio coronario y eventos clínicos adversos.

PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El estudio se llevó a cabo en dos hospitales de tercer nivel de la ciudad de Quito: el Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas N.º 1 y el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín. Se recolectaron los datos necesarios para el estudio, tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión de los registros de historias clínicas emitidas de manera anonimizada. En estas instituciones, la cuantificación del calcio coronario se realiza por medio de tomografía computarizada de tórax sin contraste. Se utilizan equipos multidetector de 128 cortes de las marcas General Electric y Siemens, siguiendo los protocolos técnicos recomendados por la Society of Cardiovascular Computed Tomography y la Society of Thoracic Radiology. La interpretación de las imágenes y el cálculo del puntaje de Agatston están a cargo del médico cardiólogo imagenólogo de cada institución. Él emite el informe

radiológico con el valor absoluto y registra el percentil correspondiente, ajustado por edad, sexo y raza, a partir de las bases de referencia derivadas del estudio MESA. El resultado queda almacenado tanto en el sistema de información hospitalaria como en el archivo PACS de cada centro de donde se recolecta la información.

Una vez obtenida la autorización del Comité de Ética en Investigación en Seres Humanos (CEISH) y de las dos unidades hospitalarias participantes, se procederá a la conformación de una matriz de datos correspondiente al periodo comprendido entre enero del 2018 y diciembre del 2024. La información será extraída de los registros médicos electrónicos; se incluye el sistema AS400 y el sistema de Gestión Hospitalaria (SGH), bajo códigos previamente asignados que permitan la pseudoanonimización de los pacientes antes del análisis, conforme a lo establecido en la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales del Ecuador.

Las variables clínicas y sociodemográficas que se recolectarán de cada paciente son: edad, sexo, etnia autoidentificada, peso en kilogramos, talla en centímetros, índice de masa corporal, condición de tabaquismo, antecedentes familiares de enfermedad cardíaca, hipertensión arterial, diabetes mellitus y dislipidemia, se obtendrán los parámetros de laboratorio y los datos clínicos necesarios para el posterior cálculo de los scores de riesgo: colesterol total, colesterol HDL, presión arterial sistólica, uso de antihipertensivos, uso de estatinas y tasa de filtrado glomerular estimada mediante la fórmula CKD-EPI 2021.

A partir de las variables que se recolectaron, se procedió al cálculo individual de los cuatro scores de riesgo cardiovascular incluidos en el estudio para cada paciente: El cálculo se realizó de forma manual mediante el uso de las calculadoras oficiales en línea desarrolladas por las instituciones que diseñaron cada herramienta: MESA Risk Score Calculator (disponible en

la plataforma de la Universidad Johns Hopkins), tanto en su versión sin calcio coronario como en la que incorpora el valor de Agatston, la ASCVD Risk Estimator Plus del American College of Cardiology y la calculadora PREVENT de la American Heart Association. Para cada paciente se ingresaron las variables requeridas en cada calculadora y el resultado obtenido. Los datos fueron expresados como porcentaje de riesgo a 10 años. Fue transcrito a la matriz de datos por uno de los investigadores y verificado por un segundo investigador para minimizar errores de digitación.

Como variable dependiente se registrará la ocurrencia de eventos cardiovasculares mayores (MACE) durante el periodo de seguimiento, definidos como el desenlace compuesto de infarto agudo de miocardio (de acuerdo con la cuarta definición universal), accidente cerebrovascular confirmado por imagen, revascularización coronaria o muerte de causa cardiovascular. Esta información se obtendrá a partir de la historia clínica electrónica, los reportes de alta y los registros de defunción de las instituciones participantes.

Toda la información obtenida será consolidada en una matriz única en Microsoft Excel; la misma será sometida a un proceso de verificación y depuración, antes de ser exportada al paquete estadístico para el análisis.

La capacidad predictiva de los cuatro scores frente al desenlace MACE será evaluada posteriormente mediante curvas ROC, estadístico C y prueba de DeLong para la comparación de las áreas bajo la curva.

MUESTRAS BIOLÓGICAS HUMANAS

No se tomarán muestras biológicas humanas en ninguna fase de la presente investigación. El estudio se basa exclusivamente en la revisión de información secundaria procedente de registros clínicos e informes de estudios imagenológicos previamente realizados con fines asistenciales. En consecuencia, no se realizará extracción, procesamiento ni almacenamiento de tejidos, fluidos biológicos o material genético humano. Este aspecto afirma el carácter no intervencional y sin riesgo del estudio, en concordancia con las disposiciones del Reglamento de Proyectos de Investigación en Salud del Ecuador y las Guías Éticas Internacionales del CIOMS (2016).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó la captura de datos de 845 pacientes en una matriz estructurada de Excel de los pacientes que cumplan con los criterios de inclusión descritos previamente. Posteriormente, se hizo un análisis univariado aplicando las medidas de tendencia central (media y mediana) y medidas de dispersión (desviación estándar y rango intercuartílico) para variables numéricas, además de frecuencias y proporciones para las variables cuantitativas.

La estadística analítica para comparar las variables cuantitativas fue mediante la prueba t de Student. En el caso de las variables cualitativas, fueron comparadas mediante la prueba de Chi cuadrado de Pearson; para correlación de dos variables continuas, se estimó mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Todas las pruebas anteriormente mencionadas se realizaron con un nivel de significancia estadística de $p < 0,05$, que corresponde a un nivel de confianza al 95%. Todos los resultados se presentan en tablas y gráficos; el análisis estadístico será realizado con el programa RStudio 4.4.1.

Aspectos éticos

El presente estudio se ha realizado respetando fielmente los principios éticos universales que rigen la investigación en seres humanos: no maleficencia, justicia, beneficencia y respeto a las personas y su autonomía. Estos principios, que se enunciaron por primera vez en el Informe Belmont, son la base de los actuales marcos normativos que supervisan las investigaciones basadas en datos personales. Estos se han tenido en cuenta de manera integral al planificar este estudio.

Aprobación por el Comité de Ética en Investigación en Seres Humanos

El protocolo de investigación fue sometido a evaluación y aprobación por parte del Comité de Ética en Investigación en Seres Humanos (CEISH) acreditado por la Dirección Nacional de Inteligencia de la Salud del Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Asimismo, se obtuvo la autorización formal de las direcciones de docencia e investigación del Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas N.º 1 y del Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín. Bajo ninguna circunstancia se inició la recolección al haber contado con la totalidad de las autorizaciones institucionales correspondientes.

Exención del consentimiento informado

Al ser un estudio observacional retrospectivo basado exclusivamente en la revisión de registros clínicos e imágenes obtenidos como parte de la práctica médica habitual, sin intervención ni contacto directo con los pacientes y sin recolección de información nueva, no se requerirá la obtención de un consentimiento informado individual. La exención de este requisito está plenamente sustentada en la Declaración de Helsinki, párrafo 32, en la Directriz

10 de las pautas CIOMS de 2016 y en los artículos 22 y 23 de la normativa ARCSA-DE-067-2015-MAFG, que contemplan dicha exención cuando la investigación se basa en información previamente recolectada, no afecta los derechos ni el bienestar de las personas, manteniendo garantías de confidencialidad y anonimato.

DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Los hallazgos de la investigación se darán a conocer al presentar el trabajo de titulación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y, después, al escribir un manuscrito para enviarlo a una revista científica indexada en el campo de la cardiología. Se intentará compartir los descubrimientos principales con las entidades hospitalarias que participaron, para que la información producida pueda ayudar a tomar decisiones clínicas en el ámbito local.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Se incluyeron 845 pacientes de 45 a 84 años atendidos en el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín (HECAM) y el Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas N.º 1 (HE-1) durante 2018-2024, con estudio de score de calcio coronario y la información clínica necesaria.

CARACTERÍSTICAS SOCIODEMOGRÁFICAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y CLÍNICAS

Característica	Pacientes	%
Sexo		

Masculino	451	53,4
Femenino	394	46,6
Etnia		
Mestizo	775	91,7
Indígena	70	8,3
Factores de riesgo cardiovascular		
Hipertensión arterial	640	75,7
Diabetes mellitus	246	29,1
Dislipidemia	453	53,6
Tabaquismo	225	26,6
Antecedentes familiares de enf. cardíaca	63	7,5
Actividad física	335	39,6
Tratamiento farmacológico		
Tratamiento antihipertensivo	624	73,8
Tratamiento con estatinas	418	49,5
Hallazgos imagenológicos y clínicos		
Calcio coronario presente (CAC > 0)	374	44,3
Eventos cardiovasculares mayores	114	13,5

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

TABLA. 2 DISTRIBUCIÓN SEGÚN GRUPOS DE EDAD, SEXO Y ETNIA

Categoría	Pacientes	%
Grupo etario		
45-54 años	161	19,1 %
55-64 años	269	31,8 %
65-74 años	259	30,7 %

75-84 años	156	18,5 %
Sexo		
Masculino	451	53,4 %
Femenino	394	46,6 %
Etnia		
Mestizo	775	91,7 %
Indígena	70	8,3 %
Total	**845**	**100 %**

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

DISTRIBUCIÓN SEGÚN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÍNDICE DE MASA CORPORAL

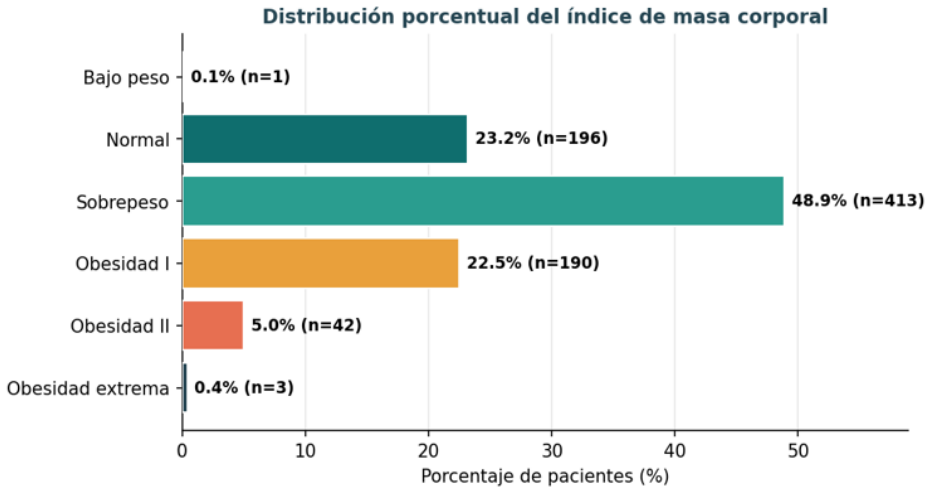


TABLA 3. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE DE MASA CORPORAL EN RELACIÓN CON LA ETNIA Y EL GRUPO ETARIO

Categoría de IMC	**Mestizo**	**Indígena**	**45-54**	**55-64**	**65-74**	**75-84**
Normal	180	16	37	61	63	35
Sobrepeso	378	35	74	131	123	85
Obesidad I	176	14	38	63	60	29

Obesidad II	37	5	11	14	10	7

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DEL IMC SEGÚN SEXO Y PUNTUACIÓN DE CALCIO CORONARIO

Sexo	Pacientes	CAC mediana	CAC > 0 (%)
Normal			
Masculino	96	1	50 %
Femenino	100	0	30 %
Sobrepeso			
Masculino	255	2	52,5 %
Femenino	158	0	39,2 %
Obesidad I			
Masculino	90	0	48,9 %
Femenino	100	0	36 %
Obesidad II			
Masculino	9	18	77,8 %
Femenino	33	0	36,4 %

CAC: calcio coronario. Elaborado por: Borja K, Díaz M.

MANEJO TERAPÉUTICO DE LOS FACTORES DE RIESGO CARDIOVASCULAR

TABLA 5. HIPERTENSIÓN ARTERIAL Y TRATAMIENTO FARMACOLÓGICO

Variable	Pacientes	%
Con hipertensión arterial	640	75,7
Sin hipertensión arterial	205	24,3
Hipertensos con tratamiento	624	97,5 %
Hipertensos sin tratamiento	16	2,5 %

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

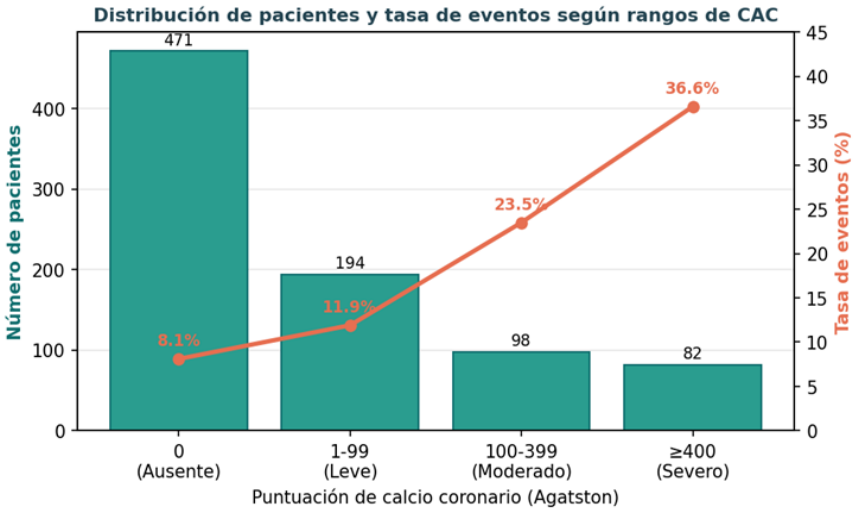
TABLA 6. DISLIPIDEMIA Y TRATAMIENTO CON ESTATINAS

Variable	Pacientes	%
Con dislipidemia	453	53,6
Sin dislipidemia	392	46,4
Dislipidémicos con estatina	418	92,3 %
Dislipidémicos sin estatina	35	7,7 %

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

PREVALENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA CALCIFICACIÓN CORONARIA

FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DE PACIENTES POR RANGO DE CALCIO CORONARIO Y TASA DE EVENTOS CORRESPONDIENTE.



Elaborado por: Borja K, Díaz M.

FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DEL PERCENTIL DE CALCIO CORONARIO EN LA COHORTE.

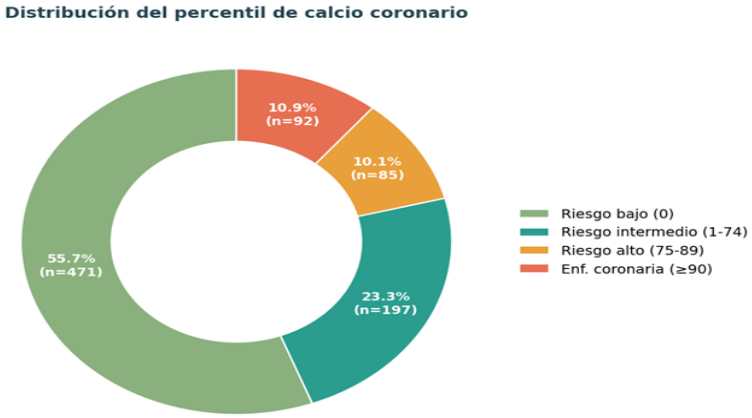


TABLA 7. PREVALENCIA DE CALCIO CORONARIO SEGÚN FACTORES DE RIESGO

Factor de riesgo	Con factor de riesgo	Sin factor de riesgo	Valor p
Tabaquismo	52,9 %	41,1 %	0,003
Diabetes	54,9 %	39,9 %	< 0,001
Dislipidemia	48,8 %	39 %	0,005
HTA	46,1 %	38,5 %	0,070
Actividad física	35,8 %	49,8 %	< 0,001

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

TABLA 8. PUNTUACIÓN DE CALCIO CORONARIO POR GRUPOS ETARIOS

Grupo etario	Pacientes	CAC mediana	CAC media	CAC > 0 n (%)
45-54	161	0	47,3	33 (20,5 %)
55-64	269	0	87,4	91 (33,8 %)
65-74	259	5,2	125,9	141 (54,4 %)
75-84	156	59	280,5	109 (69,9 %)

CAC: calcio coronario (unidades Agatston). Elaborado por: Borja K, Díaz M.

TABLA 9. CATEGORÍA DE RIESGO DEL SCORE DE CALCIO Y EVENTOS CARDIOVASCULARES

Categoría de riesgo	Sin evento	Con evento	Total	Tasa
Bajo	436	36	472	7,63 %
Límite	88	12	100	12 %
Intermedio	153	41	194	21,13 %
Alto	54	25	79	31,65 %
Total	**731**	**114**	**845**	**13,49 %**

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

EVENTOS CARDIOVASCULARES

TABLA 10. EVENTOS CARDIOVASCULARES POR GRUPO ETARIO, ETNIA Y CAC ASOCIADO

Etnia	n	Eventos n (%)	CAC mediana (evento)
45-54 años			
Mestizo	140	17 (12,1 %)	0
Indígena	21	2 (9,5 %)	1
55-64 años			
Mestizo	256	37 (14,5 %)	16,2
Indígena	13	2 (15,4 %)	163
65-74 años			
Mestizo	231	24 (10,4 %)	131,5
Indígena	28	3 (10,7 %)	0
75-84 años			
Mestizo	148	27 (18,2 %)	222
Indígena	8	2 (25 %)	130,9

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

FIGURA 4. TASA DE EVENTOS CARDIOVASCULARES SEGÚN CATEGORÍA DE IMC

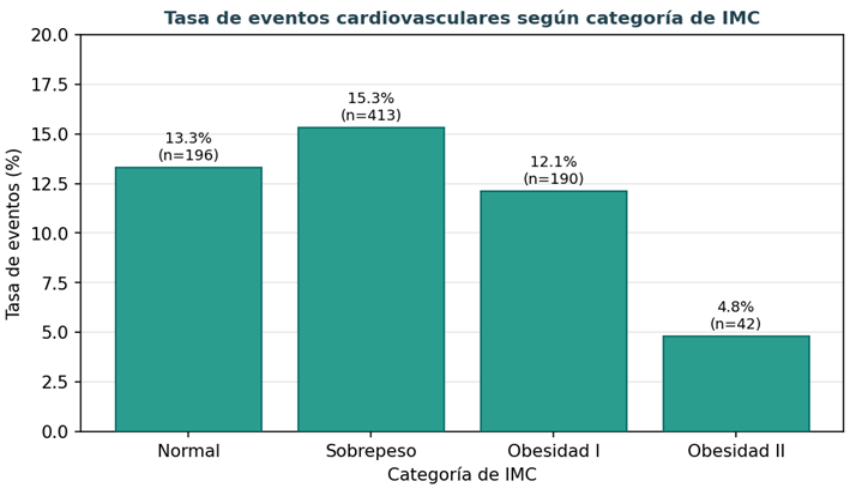


TABLA 11. DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS CARDIOVASCULARES SEGÚN EL TIPO Y LA ETNIA

Tipo de evento	Mestizo	Indígena	Total
IAM sin elevación del ST (SCASEST)	34	4	38 (33,3%)
Angina inestable	26	2	28 (24,6%)
IAM con elevación del ST (SCACEST)	19	0	19 (16,7%)
ECV isquémico	12	1	13 (11,4%)
Angina estable	8	2	10 (8,8%)
AIT	5	0	5 (4,4%)
ECV hemorrágico	1	0	1 (0,9%)
Total	**105**	**9**	**114 (100%)**

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

TABLA 12. RECLASIFICACIÓN DEL RIESGO SEGÚN EL MODELO MESA SIN Y CON SCORE DE CALCIO

Categoría de riesgo	MESA sin calcio	MESA con calcio
Bajo	292	472
Límite	157	100
Intermedio	317	194
Alto	79	79

MESA: Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. Elaborado por: Borja K, Díaz M.

SÍNTESIS COMPARATIVA DE LA CAPACIDAD DISCRIMINATIVA

TABLA 13. COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DISCRIMINATIVA DE LOS MODELOS DE RIESGO

Método	Chi χ^2	Valor p	Asociación
Score de calcio coronario	46,12	< 0,001	Fuerte
ASCVD	8,17	0,09	No significativa
PREVENT	9,7	0,05	No significativa

Elaborado por: Borja K, Díaz M.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

RESULTADOS PRINCIPALES

Se llevó a cabo el estudio de investigación en la ciudad de Quito. Se incluyeron un total de 845 pacientes de 45 a 84 años de edad, con estudio de score de calcio y la información clínica necesaria, atendidos en el Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín (HECAM) y el Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas n.º 1 (HE-1) durante el período 2018-2024. La finalidad del estudio fue estratificar el riesgo de eventos cardiovasculares mediante la evaluación del grado de calcificación de las arterias coronarias en individuos sin enfermedad cardiovascular.

El grupo etario más numeroso fue el de 55-64 años (31,8 %), edad media de la población en estudio fue de 64,3 ± 10 años ; predominó el sexo masculino en un 53,4 %; eran hombres, con un promedio de etnia mestiza del 91,7 % y un IMC medio de 27,9 ± 4,1 kg/m², ubicado en el rango de sobrepeso.

En relación con los factores de riesgo cardiovascular, la población en estudio presentó una elevada carga de estos: la hipertensión arterial fue el más prevalente (75,7 %), seguida de la dislipidemia (53,6 %), diabetes mellitus (29,1 %) y tabaquismo (26,6 %).

De los 640 pacientes hipertensos, el 97,5 % recibía tratamiento antihipertensivo, lo que refleja una cobertura terapéutica elevada, y de los 453 pacientes con dislipidemia, el 92,3 % recibía tratamiento con estatinas.

El resultado principal del estudio fue la asociación estadísticamente significativa entre la presencia y magnitud del calcio arterial coronario y la ocurrencia de eventos cardiovasculares. De los 845 pacientes, 374 pacientes, equivalentes al 44.3 %, tenían score de calcio coronario (CAC > 0) y 471 (55,7 %) una puntuación de cero. La mediana global fue de 0 unidades, con un máximo de 4130. El 55,7 % de los pacientes se ubicó en el percentil de riesgo bajo, mientras que el 21,0 % se ubicó en percentiles de riesgo alto o de enfermedad coronaria (≥ 75).

El calcio coronario fue más frecuente en pacientes con diabetes, tabaquismo y dislipidemia (todos $p < 0,01$), y menos frecuente en quienes realizaban actividad física.

La edad correlacionó positivamente con la puntuación de calcio (rho de Spearman = 0,377; $p < 0,001$).

La proporción con calcio coronario aumentó de 20,5 % (45-54 años) a 69,9 % (75-84 años), confirmando el aumento de la aterosclerosis subclínica con la edad.

Los eventos cardiovasculares mayores se presentaron en 114 pacientes, lo que representa una tasa global de 13,5 %. Este hallazgo afirma la importancia de estudiar la

aterosclerosis subclínica en pacientes asintomáticos, ya que una parte significativa de los pacientes tuvo eventos cardiovasculares durante el tiempo evaluado.

Los pacientes con CAC > 0 presentaron una tasa de 20,3 % frente al 8,1 % de aquellos con CAC = 0, con un odds ratio de 2,91 ($\chi^2 = 25,78$; $p < 0,001$). La mediana de calcio fue mayor en pacientes con eventos (50; media 341,3) que sin eventos (0; media 93,8); $p < 0,001$.

La tasa de eventos mostró un incremento progresivo conforme aumentó el rango de CAC: 8,1% en pacientes con CAC de 0, 11,9% en aquellos con CAC de 1-99, 23,5% en el grupo con CAC de 100-399 y 36,6% en quienes presentaron CAC ≥400. Esta relación fue estadísticamente significativa medida mediante prueba de chi-cuadrado de Pearson (χ^2=60,59; p<0,001).

Existe una asociación significativa entre la categoría de riesgo del score de calcio y los eventos ($\chi^2 = 46,12$; $p < 0,001$), con un incremento de la tasa desde 7,63 % (bajo) hasta 31,65 % (alto).

Además, la comparación de variables numéricas evidenció que los pacientes con eventos cardiovasculares presentaron una carga de calcio coronario sustancialmente mayor. El score de calcio promedio fue de 344,44 ± 598,63 en el grupo con eventos, frente a 93,31 ± 298,18 en el grupo sin eventos. Esta diferencia refuerza la interpretación de que el CAC funciona como un marcador anatómico acumulativo de carga aterosclerótica y no únicamente como un hallazgo incidental de imagen.

En relación con las características sociodemográficas, los hombres presentaron una mayor tasa de eventos cardiovasculares que las mujeres (16,41% frente a 10,15%, esta relación fue estadísticamente significativa, $p = 0,011$).

Por grupos etarios, la mayor tasa de eventos se observó en pacientes de 75 a 84 años (17,95%), seguido del grupo de 55 a 64 años (14,50%). La distribución del CAC por edad mostró una concentración progresiva de puntajes altos en los grupos de mayor edad, especialmente en el rango de 75 a 84 años, donde se observó la mayor cantidad de eventos en pacientes con CAC ≥400, lo que indica que los pacientes jóvenes presentan eventos con cargas de calcio menores.

Respecto al IMC, la mayor cantidad de eventos se registró en pacientes con sobrepeso, con 63 eventos y una tasa de 15,25%. Sin embargo, la asociación entre categoría de IMC y eventos cardiovasculares no fue estadísticamente significativa (χ^2=4,79; p=0,442). Por tanto, aunque el exceso de peso fue frecuente en la cohorte, el IMC por sí solo no mostró una capacidad discriminativa suficiente para explicar la ocurrencia de eventos en esta muestra.

La incidencia de eventos fue similar entre las categorías de peso normal (13,3 %), sobrepeso (15,3 %) y obesidad I (12,1 %), sin una relación lineal entre el IMC y los eventos. El chi-cuadrado no fue significativo (p = 0,25).

En todas las categorías de IMC, los hombres presentaron mayor proporción de calcio coronario y mayor mediana de la puntuación que las mujeres, lo que sugiere que el sexo influye más que el IMC en la carga de calcio coronario.

Se exploraron las diferencias por etnia. La población indígena fue reducida (70 pacientes; 8,3 %), por lo que estos resultados son descriptivos. La tasa de eventos por grupo etario siguió un patrón comparable en ambas etnias. El escaso número de eventos en la población indígena impide establecer un patrón concluyente. No hubo diferencias en la frecuencia de eventos entre mestizos (13,5 %) e indígenas (12,9 %); p = 1.

En ambas etnias predominaron los eventos coronarios (82,9 % en mestizos, 88,9 % en indígenas), sin asociación significativa entre tipo de evento y etnia (Fisher; p = 1). Ningún tipo de evento se asoció preferentemente a una etnia.

En cuanto al tipo de evento, predominó el síndrome coronario agudo sin elevación del ST (SCASEST), con 38 casos, equivalente al 33,3 % de todos los eventos registrados. Le siguieron la angina inestable con 28 casos (24,68%), el síndrome coronario agudo con elevación del ST con 15 casos (13,16%) y el evento cerebrovascular isquémico con 19 casos (16,7%). Esta distribución muestra un predominio de manifestaciones coronarias agudas, coherente con la naturaleza aterosclerótica del marcador evaluado. Se registraron 4 fallecimientos cardiovasculares.

Al comparar las herramientas de estratificación de riesgo cardiovascular, el Score MESA con CAC fue el modelo con el gradiente clínico más consistente. La tasa de eventos aumentó desde 7,63% en riesgo bajo hasta 32,91% en riesgo alto, con asociación estadísticamente significativa (χ^2=46,12; p<0,001). El Score MESA sin CAC también mostró asociación significativa (χ^2=19,20; p<0,001), aunque con un gradiente menos ordenado. En cambio, ASCVD no presentó asociación estadísticamente significativa, (χ^2=8,17;p=0,09), mientras que PREVENT mostró una significancia limítrofe (χ^2=9,7; p=0,05), pero sin una progresión claramente monotónica de eventos entre categorías.

La incorporación del calcio coronario al modelo MESA modificó la categoría de riesgo en 426 pacientes (50,4 %). El riesgo bajo aumentó de 292 a 472 y el intermedio se redujo de 317 a 194 pacientes.

Los resultados de esta investigación muestran que el score de calcio coronario fue el marcador con mayor coherencia clínica para diferenciar a los pacientes con y sin eventos

cardiovasculares. La tasa de eventos aumentó de manera progresiva conforme se elevó el rango de CAC, especialmente a partir de CAC ≥100 y con mayor intensidad en CAC ≥400. Este hallazgo respalda el estudio y coincide con la evidencia internacional que considera al CAC como un predictor independiente de eventos cardiovasculares y una herramienta útil para reclasificar el riesgo en prevención primaria.

La presencia de eventos en pacientes con CAC de 0 debe interpretarse con cautela. En esta cohorte, el CAC de 0 se asoció con la menor tasa de eventos, pero no con riesgo nulo. Esto puede explicarse porque el desenlace compuesto incluyó eventos coronarios y cerebrovasculares, ya que algunas placas no calcificadas pueden generar eventos, y porque el estudio fue retrospectivo y hospitalario. Por tanto, el "poder del cero" debe entenderse como un indicador de bajo riesgo relativo, siempre integrado con la edad, los factores de riesgo, los antecedentes familiares y el contexto clínico del paciente.

En contraste, los pacientes con CAC ≥400 constituyeron el grupo de mayor riesgo, con una tasa de eventos de 37,80%. Este resultado tiene una implicación clínica directa: una carga elevada de calcio coronario debe motivar una valoración preventiva más intensiva, incluyendo optimización de estatinas, control estricto de presión arterial, manejo metabólico y cambios sostenidos en el estilo de vida. En este contexto, el CAC ayuda a transformar una estimación de probabilidad en una prueba clara y objetiva de aterosclerosis subclínica.

El análisis por edad y sexo fue concordante con la epidemiología de la enfermedad cardiovascular. Los hombres tuvieron mayor frecuencia de eventos que las mujeres, y los grupos de mayor edad tuvieron mayor carga de CAC elevado. Sin embargo, también se observaron eventos relevantes en pacientes de 55 a 64 años, lo que sugiere que el CAC puede ser útil para identificar riesgo elevado incluso antes de edades muy avanzadas. Respecto a la

etnia, las tasas fueron similares entre mestizos e indígenas, pero el bajo número de pacientes indígenas limita conclusiones comparativas firmes.

El IMC no mostró asociación estadísticamente significativa con los eventos cardiovasculares. Aunque la mayor cantidad absoluta de eventos ocurrió en pacientes con sobrepeso, este resultado probablemente se relaciona con que dicha categoría fue la más frecuente en la muestra. Además, el IMC no distingue grasa visceral, masa muscular ni perfil metabólico, por lo que su utilidad aislada para discriminar riesgo fue menor que la observada con el CAC.

La distribución de los eventos mostró predominio de manifestaciones coronarias agudas, principalmente SCASEST y angina inestable. Este patrón es fisiopatológicamente coherente, debido a que el CAC expresa carga aterosclerótica coronaria acumulada. Sin embargo, la aparición de eventos cerebrovasculares en el resultado combinado muestra que la aterosclerosis es una enfermedad que afecta todo el cuerpo y que la prevención debe tener en cuenta el riesgo cardiovascular en general.

La comparación entre herramientas de riesgo clínico favoreció al Score MESA con CAC. Este modelo presentó el gradiente más ordenado y estadísticamente significativo, mientras que MESA sin CAC fue significativo, pero menos consistente. ASCVD no mostró asociación significativa y PREVENT tuvo un comportamiento limítrofe. Estos resultados sugieren que, en esta cohorte de Quito, las calculadoras clínicas pueden ser insuficientes cuando se usan sin una medida anatómica directa de aterosclerosis. La incorporación del CAC mejora la capacidad de estratificación y puede ser especialmente útil en pacientes con riesgo clínico bajo, limítrofe o intermedio.

En esta cohorte de 845 pacientes de 45 a 84 años de Quito: predominó el sexo masculino, la etnia mestiza y el sobrepeso, con elevada carga de factores de riesgo; el 44,3 % presentó calcificación coronaria, que aumentó con la edad y fue mayor en hombres y en pacientes con diabetes, tabaquismo y dislipidemia; la presencia y magnitud del calcio coronario se asociaron de forma robusta con los eventos (OR = 2,91; $\chi^2 = 46,12$; $p < 0,001$), con relación dosis-respuesta; la frecuencia y el tipo de eventos fueron similares entre etnias; el score de calcio superó a ASCVD y PREVENT (AUC 0,672 vs 0,448; DeLong $p < 0,001$); y la incorporación del calcio al modelo MESA reclasificó el riesgo en la mitad de la cohorte.

Como fortaleza, el estudio incluyó una muestra amplia de 845 pacientes y comparó varias herramientas de riesgo con información clínica e imagenológica. Sin embargo, sus resultados deben interpretarse considerando sus limitaciones: diseño retrospectivo, muestra hospitalaria no probabilística, posible subregistro de eventos fuera de las instituciones participantes y bajo número de pacientes en algunas categorías de IMC y etnia. Por ello, los hallazgos no establecen causalidad, pero sí aportan evidencia local relevante sobre la utilidad del CAC en la población estudiada.

En resumen, el score de calcio coronario mostró una relación clara, progresiva y importante con la aparición de eventos cardiovasculares.

ANÁLISIS

Cuatro de cada diez participantes (44,3 %) presentaron calcio coronario detectable, una cifra que encaja con lo descrito en poblaciones asintomáticas de rango etario similar, donde la prevalencia suele moverse entre el 40 % y el 60 % (64). La distribución marcadamente asimétrica observada, con más de la mitad de los pacientes en una puntuación de cero, refleja

el comportamiento típico de las cohortes de prevención primaria y justifica el uso de la mediana antes que la media para describir esta variable (65).

El incremento sostenido del calcio coronario con la edad, del 20,5 % de prevalencia en el grupo de 45-54 años al 69,9 % en el de 75-84 años, con un coeficiente de Spearman de 0,377 no resulta inesperado: la calcificación coronaria es, en buena medida, la huella acumulada del tiempo y de la exposición sostenida a los factores de riesgo cardiovascular (66). La mayor carga observada en los varones (51,9 % frente a 35,5 % en mujeres) es un hallazgo bien establecido en la literatura, atribuido al efecto protector de los estrógenos en la mujer premenopáusica y a la aparición más precoz de la enfermedad aterosclerótica en el hombre (67).

El componente étnico merece una lectura prudente. La prevalencia de calcio fue comparable entre mestizos (44,5 %) e indígenas (41,4 %), un resultado que contrasta con los hallazgos del estudio MESA, donde sí se documentaron diferencias entre grupos étnicos (68). No obstante, el reducido tamaño del subgrupo indígena (70 pacientes, 8,3 % de la cohorte) limita la potencia estadística para detectar diferencias, por lo que esta aparente igualdad podría deberse a falta de potencia más que a una equivalencia biológica real.

La cohorte presentó un perfil de riesgo cardiovascular elevado, con predominio de hipertensión arterial (75,7 %), dislipidemia (53,6 %) y diabetes mellitus (29,1 %). Un dato favorable es la alta cobertura terapéutica observada: el 97,5 % de los hipertensos recibía tratamiento antihipertensivo y el 92,3 % de los pacientes con dislipidemia tomaba estatinas. Esto sugiere un seguimiento clínico consolidado en estos centros de tercer nivel, aunque también implica que muchos pacientes ya estaban bajo intervención farmacológica al momento del estudio, lo cual pudo haber atenuado en parte la incidencia de eventos.

El cruce de los factores de riesgo con la presencia de calcio fue coherente con lo descrito en la literatura: la diabetes (54,9 % frente a 39,9 %; $p < 0,001$), el tabaquismo (52,9 % frente a 41,1 %; $p = 0,003$) y la dislipidemia (48,8 % frente a 39 %; $p = 0,005$) se asociaron a una mayor frecuencia de calcificación coronaria, mientras que la actividad física apuntó en sentido protector, con menor calcio entre quienes se mantenían activos (35,8 % frente a 49,8 %; $p < 0,001$) (69). Conviene, sin embargo, un matiz importante: el score de Agatston solo detecta la placa que se ha calcificado. El tabaquismo, por ejemplo, favorece también placas blandas no calcificadas que esta técnica no captura, de modo que su efecto real sobre el riesgo podría estar subestimado por este marcador (70).

Respecto al índice de masa corporal, casi la mitad de la cohorte (48,9 %) tenía sobrepeso, y la asociación entre el IMC y los eventos cardiovasculares no fue estadísticamente significativa ($p = 0,442$). La ausencia de una relación lineal entre el IMC y la carga de calcio o los eventos es compatible con la denominada "paradoja de la obesidad" y con la conocida limitación del IMC como marcador de adiposidad visceral, que es la metabólicamente relevante (70). Es interesante observar que, en todas las categorías de IMC, los hombres presentaron mayor proporción de calcio coronario que las mujeres, lo que sugiere que el sexo influye más que el peso corporal en la carga aterosclerótica.

El hallazgo central del estudio es la asociación robusta entre el calcio coronario y los eventos cardiovasculares, con una relación dosis-respuesta clara: la tasa de eventos se incrementó progresivamente desde el 8,1 % en pacientes sin calcio hasta el 36,6 % en aquellos con puntuaciones severas (≥ 400). El odds ratio de 2,91 para los pacientes con $CAC > 0$ y la diferencia marcada en la mediana de calcio entre quienes sufrieron eventos (50 unidades) y quienes no (0 unidades) refuerzan que el calcio coronario funciona como un marcador anatómico acumulativo de carga aterosclerótica, y no como un hallazgo incidental de imagen.

Este patrón es plenamente concordante con la evidencia del estudio MESA y de otras cohortes prospectivas, que sitúan al calcio coronario entre los predictores más potentes de eventos cardiovasculares en prevención primaria, con un valor pronóstico independiente y aditivo respecto a los factores de riesgo tradicionales (68). El aporte de los presentes datos radica en que esta señal se reproduce de manera consistente en una población ecuatoriana, hasta ahora escasamente representada en la literatura internacional sobre el tema.

El análisis por grupos etarios añade un matiz de relevancia clínica. Aunque los eventos ocurrieron en todas las edades, la mediana de calcio entre quienes los sufrieron creció marcadamente con la edad. Esto sugiere que los pacientes jóvenes pueden presentar eventos con cargas de calcio relativamente bajas, probablemente por placas no calcificadas o vulnerables que el método de Agatston no detecta, mientras que en los pacientes mayores el evento se asocia a una aterosclerosis calcificada ya extensa. La implicación práctica es directa: un valor de calcio bajo en una persona joven no debe interpretarse como ausencia de riesgo (70) .

Por otra parte, la mayor tasa de eventos observada en los varones (16,4 % frente a 10,2 % en mujeres; $p = 0,011$) es coherente con la mayor prevalencia de calcio coronario en este grupo, lo que refuerza la importancia del sexo como factor de riesgo no modificable en la evaluación cardiovascular. El predominio de los síndromes coronarios agudos, especialmente el SCASEST, con un 33,3 % de los eventos sobre las manifestaciones cerebrovasculares es coherente con la naturaleza del marcador estudiado, que cuantifica específicamente la carga aterosclerótica del territorio coronario.

En lo referente al componente étnico, no se encontraron diferencias significativas en la frecuencia ni en el tipo de eventos entre mestizos e indígenas. En ambos grupos predominaron

los eventos coronarios sobre los cerebrovasculares. Sin embargo, dada la limitada representación de la población indígena, este resultado debe considerarse exploratorio y no puede extrapolarse al conjunto de la población indígena ecuatoriana.

Uno de los hallazgos más elocuentes del estudio fue el bajo desempeño del modelo ASCVD, cuya área bajo la curva ROC cercana a 0,5 indica una capacidad discriminativa prácticamente equivalente al azar. La explicación más plausible es que las ecuaciones ASCVD se derivaron y calibraron en población estadounidense, mayoritariamente de ascendencia europea y afroamericana, por lo que su traslado a una población latinoamericana, mestiza e indígena, no resulta directamente extrapolable (71). Diversos estudios de validación externa han documentado que estas calculadoras pierden precisión fuera de las poblaciones donde fueron desarrolladas (72). El modelo PREVENT, más reciente y derivado de una base de datos más amplia, mostró un desempeño algo mejor, pero tampoco alcanzó la capacidad discriminativa del score de calcio coronario (73).

En conjunto, estos resultados refuerzan una idea central: cuando las herramientas clínicas basadas exclusivamente en factores de riesgo fallan en una población determinada, un marcador objetivo de la enfermedad —el calcio efectivamente presente en las arterias— aporta información que las ecuaciones no logran capturar. El AUC de 0,672 obtenido por el score de calcio, aunque modesto en términos absolutos, supera de manera estadísticamente significativa al modelo ASCVD y resulta clínicamente útil cuando se considera la simplicidad y bajo costo de la prueba.

La capacidad de reclasificación constituye, posiblemente, el argumento clínico más sólido a favor del score de calcio. Que la incorporación del calcio al modelo MESA haya modificado la categoría de riesgo en el 50,4 % de la cohorte, y que el cambio se concentrara

especialmente en los pacientes inicialmente catalogados como de riesgo intermedio —precisamente el grupo en el que las decisiones terapéuticas, como el inicio de estatinas, resultan más controvertidas—, es coherente con lo recomendado por las guías de prevención cardiovascular contemporáneas (71). El score de calcio permite individualizar las decisiones preventivas: ni sobretratar a quien tiene bajo riesgo real, ni dejar sin tratamiento a quien lo necesita y las herramientas tradicionales no identifican.

Entre las fortalezas del estudio destacan su carácter multicéntrico, que incrementa la representatividad de los resultados; un tamaño muestral amplio (845 pacientes), superior al calculado inicialmente; la evaluación simultánea de cuatro herramientas de estimación del riesgo (MESA con y sin calcio, ASCVD y PREVENT); el empleo de métodos estadísticos robustos, incluyendo curvas ROC y la prueba de DeLong para la comparación de áreas bajo la curva; y la aportación de datos originales sobre la población ecuatoriana, escasamente representada en la literatura internacional sobre calcio coronario.

Las limitaciones deben declararse con transparencia. En primer lugar, el diseño retrospectivo conlleva sesgos de información y de selección propios de la revisión de registros clínicos, así como el riesgo de subregistro de eventos. En segundo lugar, la representación de la población indígena fue reducida, lo que limita la potencia de los análisis por etnia y obliga a interpretarlos con carácter exploratorio. En tercer lugar, el método de Agatston no detecta la placa no calcificada, que puede ser responsable de eventos en pacientes jóvenes con poco calcio. En cuarto lugar, al tratarse de datos asistenciales, no fue posible controlar plenamente la variabilidad entre los dos centros en los protocolos de adquisición e interpretación de las imágenes, aunque ambos siguen las recomendaciones de las sociedades científicas internacionales. Finalmente, el seguimiento de los eventos no fue del todo homogéneo, una debilidad inherente a los estudios observacionales basados en registros.

Los hallazgos del presente estudio respaldan la incorporación del score de calcio coronario en la evaluación del riesgo cardiovascular de individuos asintomáticos atendidos en hospitales de tercer nivel de la ciudad de Quito, especialmente en aquellos clasificados como de riesgo intermedio por las calculadoras clínicas. Su capacidad de reclasificación permite individualizar las decisiones terapéuticas y aporta valor donde más se necesita: en la zona gris donde las ecuaciones tradicionales son insuficientes para decidir.

De cara al futuro, sería deseable avanzar hacia estudios prospectivos con seguimiento sistemático y estandarizado de los eventos, que incorporen una representación más amplia de la población indígena y de otros grupos étnicos del Ecuador, y que contribuyan al desarrollo y validación de ecuaciones de riesgo calibradas específicamente para la realidad latinoamericana. La combinación del calcio coronario con técnicas capaces de caracterizar la placa no calcificada podría, además, mejorar la identificación del riesgo en los pacientes más jóvenes, en quienes los eventos pueden presentarse con cargas de calcio relativamente bajas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- El score de calcio coronario demostró ser una herramienta válida, no invasiva y eficaz para la estratificación del riesgo de eventos cardiovasculares mayores en individuos asintomáticos de la ciudad de Quito.
- La presencia y la magnitud del calcio coronario se asociaron de manera estadísticamente significativa con la ocurrencia de eventos.

- La población presentó una elevada carga de factores de riesgo, con predominio de la hipertensión arterial, dislipidemia y la diabetes mellitus, y se asociaron a una mayor prevalencia de calcio coronario.
- No se halló una relación lineal entre el índice de masa corporal y la carga de calcio.
- El score de calcio coronario y el modelo MESA con calcio mostraron una capacidad discriminativa superior a los modelos PREVENT y ASCVD, siendo estas diferencias estadísticamente significativas. El modelo ASCVD mostró una capacidad discriminativa prácticamente nula en esta población.
- La incorporación de la puntuación de calcio coronario al modelo MESA reclasificó la categoría de riesgo en el 50,4 % de la cohorte, con el mayor impacto en los pacientes de riesgo intermedio, lo que evidencia su utilidad para individualizar las decisiones preventivas.
- No se hallaron diferencias significativas en la frecuencia ni en el tipo de eventos cardiovasculares entre la población mestiza y la indígena; ningún tipo de evento se asoció preferentemente a una etnia. No obstante, el reducido número de pacientes indígenas limita el alcance de esta conclusión, que debe considerarse exploratoria.
- En general, los resultados confirman que el score de calcio coronario constituye una herramienta de estratificación del riesgo cardiovascular superior a las ecuaciones clínicas tradicionales en la población estudiada, y aportan evidencia local relevante para orientar la prevención cardiovascular primaria en el contexto ecuatoriano.
- La calcificación coronaria en pacientes que no presentan síntomas es un indicador fuerte de enfermedad aterosclerótica que no se ha manifestado y debe ser el motivo para comenzar y mantener estrategias de prevención.

RECOMENDACIONES

- Incorporar la determinación del score de calcio coronario en la evaluación del riesgo cardiovascular de individuos asintomáticos de riesgo intermedio, como complemento de las calculadoras clínicas, para afinar la indicación de terapias preventivas.
- Utilizar con cautela las ecuaciones ASCVD en población ecuatoriana, dado su bajo desempeño en esta cohorte, y considerar preferentemente modelos que integren el calcio coronario o que estén calibrados para poblaciones latinoamericanas.
- No interpretar un valor bajo de calcio coronario como ausencia de riesgo en pacientes jóvenes, en quienes los eventos pueden asociarse a placa no calcificada que el método de Agatston no detecta.
- Promover el desarrollo y la validación de ecuaciones de estimación del riesgo cardiovascular calibradas específicamente para la población ecuatoriana y latinoamericana.
- Fortalecer las estrategias de prevención primaria orientadas a los factores de riesgo modificables, especialmente control de la diabetes, abandono del tabaquismo y el fomento de la actividad física, dada su asociación con la aterosclerosis subclínica.

PLAN DE PUBLICACIÓN

El presente trabajo de investigación reposará en el repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, mediante la documentación respectiva, y los derechos de autor, la versión digital del presente trabajo constará en dicha base de datos.

REFERENCIAS

1. Mensah GA, Fuster V, Murray CJL, Roth GA. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks, 1990-2022. J Am Coll Cardiol. el 19 de diciembre de 2023;82(25):2350–473. doi:10.1016/j.jacc.2023.11.007 PubMed PMID: 38092509; PubMed Central PMCID: PMC7615984.

2. Brant LCC, Miranda JJ, Carrillo-Larco RM, Flood D, Irazola V, Ribeiro ALP. Epidemiology of cardiometabolic health in Latin America and strategies to address disparities. Nat Rev Cardiol. diciembre de 2024;21(12):849–64. doi:10.1038/s41569-024-01058-2

3. Joseph P, Lanas F, Roth G, Lopez-Jaramillo P, Lonn E, Miller V, et al. Cardiovascular disease in the Americas: the epidemiology of cardiovascular disease and its risk factors. Lancet Reg Health – Am. el 1 de febrero de 2025;42. doi:10.1016/j.lana.2024.100960

4. Improving cardiovascular risk prediction in Latin America and the Caribbean: SCORE2-LAC [Internet]. [citado el 27 de abril de 2026]. Disponible en: https://www.escardio.org/news/press/press-releases/improving-cardiovascular-risk-prediction-in-latin-america-and-the-caribbean-score2-lac/

5. Chaparala SP, Sampathkumar N, Jonnadula S, Chand A, Chowdhury D. Beyond Traditional Risk Calculators: The Expanding Role of Coronary Artery Calcium Scoring in Preventive Cardiology. Cureus. 17(9):e93500. doi:10.7759/cureus.93500 PubMed PMID: 41170258; PubMed Central PMCID: PMC12571204.

6. Rhee AJ, Pandit K, Berger JS, Iturrate E, Coresh J, Khan SS, et al. Real-World Evidence Linking the Predicting Risk of Cardiovascular Disease Events Risk Score and Coronary Artery Calcium. J Am Heart Assoc. el 3 de junio de 2025;14(11):e038991. doi:10.1161/JAHA.124.038991

7. Bhatia HS, McClelland L, Denenberg J, Budoff MJ, Allison A, Criqui MH. Coronary Artery Calcium Density and Cardiovascular Events by Volume Level: The MESA. Circ Cardiovasc Imaging. febrero de 2023;16(2):e014788. doi:10.1161/CIRCIMAGING.122.014788

8. Blaha MJ, DeFilippis AP. Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA): JACC Focus Seminar 5/8. J Am Coll Cardiol. el 29 de junio de 2021;77(25):3195–216. doi:10.1016/j.jacc.2021.05.006

9. Cleveland Clinic [Internet]. [citado el 27 de abril de 2026]. Coronary Artery Calcium Scoring Improves Accuracy of Cardiovascular Risk Screening. Disponible en: https://consultqd.clevelandclinic.org/coronary-artery-calcium-scoring-improves-accuracy-of-cardiovascular-risk-screening

10. Lanas F, Serón P, Muttel C. Cardiovascular Disease Prevention in Latin America: Comparative Outcomes According to Socioeconomic Status. En: Romero T, Nazal CN, Lanas F, editores. Global Challenges in Cardiovascular Prevention in Populations with Low

Socioeconomic Status [Internet]. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025 [citado el 27 de abril de 2026]. p. 159–77. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-031-79051-5_8 doi:10.1007/978-3-031-79051-5_8

11. Pinto-Villalba RS, Martínez M, Guerrero-Calderón C, Reinoso J, Abarca-Tenemasa RM. Out-of-hospital cardiac arrest incidence and temporal trends in Ecuador: a national cross-sectional study [Internet]. medRxiv; 2025 [citado el 27 de abril de 2026]. p. 2025.08.06.25333177. Disponible en: https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2025.08.06.25333177v1 doi:10.1101/2025.08.06.25333177

12. Cimmino G, Muscoli S, De Rosa S, Cesaro A, Perrone MA, Selvaggio S, et al. Evolving concepts in the pathophysiology of atherosclerosis: from endothelial dysfunction to thrombus formation through multiple shades of inflammation. J Cardiovasc Med. el 1 de mayo de 2023;24(Suppl 2):e156–67. doi:10.2459/JCM.0000000000001450 PubMed PMID: 37186566.

13. Onnis C, Virmani R, Kawai K, Nardi V, Lerman A, Cademartiri F, et al. Coronary Artery Calcification: Current concepts and clinical implications. Circulation. el 16 de enero de 2024;149(3):251–66. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.123.065657 PubMed PMID: 38227718; PubMed Central PMCID: PMC10794033.

14. Garg PK, Bhatia HS, Allen TS, Grainger T, Pouncey AL, Dichek D, et al. Assessment of Subclinical Atherosclerosis in Asymptomatic People In Vivo: Measurements Suitable for Biomarker and Mendelian Randomization Studies. Arterioscler Thromb Vasc Biol. enero de 2024;44(1):24–47. doi:10.1161/ATVBAHA.123.320138

15. Mitsis A, Khattab E, Christodoulou E, Myrianthopoulos K, Myrianthefs M, Tzikas S, et al. From Cells to Plaques: The Molecular Pathways of Coronary Artery Calcification and Disease. J Clin Med. enero de 2024;13(21):6352. doi:10.3390/jcm13216352

16. Golub IS, Termeie OG, Kristo S, Schroeder LP, Lakshmanan S, Shafter AM, et al. Major Global Coronary Artery Calcium Guidelines. JACC Cardiovasc Imaging. enero de 2023;16(1):98–117. doi:10.1016/j.jcmg.2022.06.018

17. Raggi P, Callister TQ, Shaw LJ. Progression of coronary artery calcium and risk of first myocardial infarction in patients receiving cholesterol-lowering therapy. Arterioscler Thromb Vasc Biol. julio de 2004;24(7):1272–7. doi:10.1161/01.ATV.0000127024.40516.ef PubMed PMID: 15059806.

18. Woo SH, Kim DY, Choi JH. Roles of Vascular Smooth Muscle Cells in Atherosclerotic Calcification. J Lipid Atheroscler. mayo de 2023;12(2):106–18. doi:10.12997/jla.2023.12.2.106 PubMed PMID: 37265849; PubMed Central PMCID: PMC10232217.

19. Shaw LJ, Blankstein R, Bax JJ, Ferencik M, Bittencourt MS, Min JK, et al. Society of Cardiovascular Computed Tomography / North American Society of Cardiovascular Imaging - Expert Consensus Document on Coronary CT Imaging of Atherosclerotic Plaque. J Cardiovasc Comput Tomogr. 2021;15(2):93–109. doi:10.1016/j.jcct.2020.11.002 PubMed PMID: 33303383.

20. Sharma SK, Bolduan RW, Patel MR, Martinsen BJ, Azemi T, Giugliano G, et al. Impact of calcification on percutaneous coronary intervention: MACE-Trial 1-year results. Catheter Cardiovasc Interv Off J Soc Card Angiogr Interv. el 1 de agosto de 2019;94(2):187–94. doi:10.1002/ccd.28099 PubMed PMID: 30681262.

21. Mohan J, Shams P, Bhatti K, Zeltser R. Coronary Artery Calcification. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 [citado el 27 de abril de 2026]. Disponible en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519037/ PubMed PMID: 30085579.

22. Saba L, Costa F, Cau R. Pathophysiology and clinical implications of coronary artery calcifications. Curr Opin Cardiol. noviembre de 2024;39(6):529. doi:10.1097/HCO.0000000000001180

23. Lembcke A, Hein PA, Dohmen PM, Klessen C, Wiese TH, Hoffmann U, et al. Pictorial review: electron beam computed tomography and multislice spiral computed tomography for cardiac imaging. Eur J Radiol. marzo de 2006;57(3):356–67. doi:10.1016/j.ejrad.2005.12.021 PubMed PMID: 16427236.

24. Disthabanchong S, Boongird S. Role of different imaging modalities of vascular calcification in predicting outcomes in chronic kidney disease. World J Nephrol. el 6 de mayo de 2017;6(3):100–10. doi:10.5527/wjn.v6.i3.100 PubMed PMID: 28540199; PubMed Central PMCID: PMC5424431.

25. Chen Y, Hu Z, Li M, Jia Y, He T, Liu Z, et al. Comparison of Nongated Chest CT and Dedicated Calcium Scoring CT for Coronary Calcium Quantification Using a 256-Dector Row CT Scanner. Acad Radiol. octubre de 2019;26(10):e267–74. doi:10.1016/j.acra.2018.12.005 PubMed PMID: 30685312.

26. Coronary Artery Calcium Scoring: Current Status and Future Directions. RadioGraphics [Internet]. [citado el 28 de abril de 2026]. Disponible en: https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.210122

27. Pugliese L, Ricci F, Sica G, Scaglione M, Masala S. Non-Contrast and Contrast-Enhanced Cardiac Computed Tomography Imaging in the Diagnostic and Prognostic Evaluation of Coronary Artery Disease. Diagnostics. enero de 2023;13(12):2074. doi:10.3390/diagnostics13122074

28. Gupta A, Bera K, Kikano E, Pierce JD, Gan J, Rajdev M, et al. Coronary Artery Calcium Scoring: Current Status and Future Directions. RadioGraphics. el 1 de julio de 2022;42(4):947–67. doi:10.1148/rg.210122

29. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA Guideline for the Management of Patients With Chronic Coronary Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines | Circulation [Internet]. [citado el 28 de abril de 2026]. Disponible en: https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000001168

30. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. J Am Coll

Cardiol. el 15 de marzo de 1990;15(4):827–32. doi:10.1016/0735-1097(90)90282-t PubMed PMID: 2407762.

31. Taron J, Lyass A, Mahoney TF, Ehrbar RQ, Vasan RS, D'Agostino, RB, et al. Coronary Artery Calcium Score–Directed Primary Prevention With Statins on the Basis of the 2018 American College of Cardiology/American Heart Association/Multisociety Cholesterol Guidelines. J Am Heart Assoc. el 5 de enero de 2021;10(1):e018342. doi:10.1161/JAHA.120.018342

32. American College of Cardiology [Internet]. [citado el 27 de abril de 2026]. Coronary Artery Calcium and Polygenic Risk Scores For Cardiovascular Risk Prediction: Results From Two Population-Based Studies. Disponible en: https://www.acc.org/latest-in-cardiology/articles/2024/04/30/13/40/http%3a%2f%2fwww.acc.org%2flatest-in-cardiology%2farticles%2f2024%2f04%2f30%2f13%2f40%2fcac-and-polygenic-risk-scores-for-cv-risk-prediction

33. Polonsky TS, McClelland RL, Jorgensen NW, Bild DE, Burke GL, Guerci AD, et al. Coronary artery calcium score and risk classification for coronary heart disease prediction. JAMA. el 28 de abril de 2010;303(16):1610–6. doi:10.1001/jama.2010.461 PubMed PMID: 20424251; PubMed Central PMCID: PMC3033741.

34. Gershon GS, Barr JR, Razavi AC, Yang Y, Momin E, Dzaye O, et al. Coronary artery calcium burden across the pooled cohort equation versus the American Heart Association PREVENT risk calculator. Am J Prev Cardiol. el 17 de septiembre de 2025;24:101301. doi:10.1016/j.ajpc.2025.101301 PubMed PMID: 41078705; PubMed Central PMCID: PMC12508863.

35. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC, Rossello X, Adamo M, Ainslie J, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. Eur Heart J. el 29 de septiembre de 2024;45(36):3415–537. doi:10.1093/eurheartj/ehae177 PubMed PMID: 39210710.

36. Dzaye O, Dardari ZA, Cainzos-Achirica M, Blankstein R, Agatston AS, Duebgen M, et al. Warranty Period of a Calcium Score of Zero: Comprehensive Analysis from Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. JACC Cardiovasc Imaging. mayo de 2021;14(5):990–1002. doi:10.1016/j.jcmg.2020.06.048 PubMed PMID: 33129734; PubMed Central PMCID: PMC8076346.

37. Blaha MJ, Cainzos-Achirica M, Greenland P, McEvoy JW, Blankstein R, Budoff MJ, et al. Role of Coronary Artery Calcium Score of Zero and Other Negative Risk Markers for Cardiovascular Disease. Circulation. marzo de 2016;133(9):849–58. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018524

38. Davis JR, Razavi AC, Ellberg CC, Blaha MJ, Criqui MH, Bhatia HS. Utility of coronary artery calcium scoring in low-risk patients: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). Am J Prev Cardiol. el 1 de diciembre de 2025;24:101329. doi:10.1016/j.ajpc.2025.101329

39. Dzaye O, Dardari ZA, Cainzos-Achirica M, Blankstein R, Agatston AS, Duebgen M, et al. Warranty Period of a Calcium Score of Zero. JACC Cardiovasc Imaging. mayo de 2021;14(5):990–1002. doi:10.1016/j.jcmg.2020.06.048

40. Zhang Y, Schwartz JE, Jaeger BC, An J, Bellows BK, Clark D, et al. Association Between Ambulatory Blood Pressure and Coronary Artery Calcification: The JHS. Hypertension. junio de 2021;77(6):1886–94. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.121.17064

41. Budoff MJ, Young R, Lopez VA, Kronmal RA, Nasir K, Blumenthal RS, et al. Progression of Coronary Calcium and Incident Coronary Heart Disease Events. JACC. el 26 de marzo de 2013;61(12):1231–9. doi:10.1016/j.jacc.2012.12.035

42. Stompór T. Coronary artery calcification in chronic kidney disease: An update. World J Cardiol. el 26 de abril de 2014;6(4):115–29. doi:10.4330/wjc.v6.i4.115 PubMed PMID: 24772252; PubMed Central PMCID: PMC3999332.

43. Khan SS, Matsushita K, Sang Y, Ballew SH, Grams ME, Surapaneni A, et al. Development and Validation of the American Heart Association's PREVENT Equations. Circulation. el 6 de febrero de 2024;149(6):430–49. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.123.067626

44. Major Global Coronary Artery Calcium Guidelines [Internet]. [citado el 29 de abril de 2026]. Disponible en: https://www.jacc.org/doi/epdf/10.1016/j.jcmg.2022.06.018 doi:10.1016/j.jcmg.2022.06.018

45. Pavlović J, Bos D, Ikram MK, Ikram MA, Kavousi M, Leening MJG. Guideline-Directed Application of Coronary Artery Calcium Scores for Primary Prevention of Atherosclerotic Cardiovascular Disease. JACC Cardiovasc Imaging. el 1 de abril de 2025;18(4):465–75. doi:10.1016/j.jcmg.2024.12.008

46. Writing Committee, Lloyd-Jones DM, Morris PB, Ballantyne CM, Birtcher KK, Covington AM, et al. 2022 ACC Expert Consensus Decision Pathway on the Role of Nonstatin Therapies for LDL-Cholesterol Lowering in the Management of Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk. JACC. el 4 de octubre de 2022;80(14):1366–418. doi:10.1016/j.jacc.2022.07.006

47. Pearson GJ, Thanassoulis G, Anderson TJ, Barry AR, Couture P, Dayan N, et al. 2021 Canadian Cardiovascular Society Guidelines for the Management of Dyslipidemia for the Prevention of Cardiovascular Disease in Adults. Can J Cardiol. agosto de 2021;37(8):1129–50. doi:10.1016/j.cjca.2021.03.016

48. Zafrir B, Saliba W, Widder RSL, Khoury R, Shemesh E, Halon DA. Value of addition of coronary artery calcium to risk scores in the prediction of major cardiovascular events in patients with type 2 diabetes. BMC Cardiovasc Disord. el 13 de noviembre de 2021;21(1):541. doi:10.1186/s12872-021-02352-4

49. L.J. Visseren F, Mach F, M. Smulders Y, Carballo D, C. Koskinas K, Bäck M, et al. Guía ESC 2021 sobre la prevención de la enfermedad cardiovascular en la práctica clínica. Rev Esp Cardiol. mayo de 2022;75(5):429.e1-429.e104. doi:10.1016/j.recesp.2021.10.016

50. Parcha V, Malla G, Kalra R, Li P, Pandey A, Nasir K, et al. Coronary Artery Calcium Score for Personalization of Antihypertensive Therapy. Hypertension. abril de 2021;77(4):1106–18. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.120.16689

51. Tian L, Jaeger BC, Scialla JJ, Budoff MJ, Mehta RC, Jaar BG, et al. Progression of Coronary Artery Calcification and Risk of Clinical Events in CKD: The Chronic Renal Insufficiency Cohort Study. Am J Kidney Dis. el 1 de enero de 2025;85(1):67-77.e1. doi:10.1053/j.ajkd.2024.06.018 PubMed PMID: 39154888.

52. KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease - Kidney International [Internet]. [citado el 15 de mayo de 2026]. Disponible en: https://www.kidney-international.org/article/S0085-2538(23)00766-4/fulltext

53. Tota-Maharaj R, Blaha MJ, McEvoy JW, Blumenthal RS, Muse ED, Budoff MJ, et al. Coronary artery calcium for the prediction of mortality in young adults <45 years old and elderly adults >75 years old. Eur Heart J. diciembre de 2012;33(23):2955–62. doi:10.1093/eurheartj/ehs230 PubMed PMID: 22843447.

54. Aker A, Halon D, Avidan Y, Yahav A, Makhoul S, Zafrir B. The long-term prognostic value of CT coronary artery calcium score in asymptomatic patients with type 2 diabetes. IJC Heart Vasc. el 1 de diciembre de 2025;61:101799. doi:10.1016/j.ijcha.2025.101799

55. Orringer CE, Blaha MJ, Blankstein R, Budoff MJ, Goldberg RB, Gill EA, et al. The National Lipid Association scientific statement on coronary artery calcium scoring to guide preventive strategies for ASCVD risk reduction. J Clin Lipidol. el 1 de enero de 2021;15(1):33–60. doi:10.1016/j.jacl.2020.12.005 PubMed PMID: 33419719.

56. Soroosh GP, Tasdighi E, Adhikari R, Blaha MJ. Coronary artery calcium in 2023: Guidelines for LDL-C goals, non-statin therapies, and aspirin use. Prog Cardiovasc Dis. el 1 de mayo de 2024;Preventive Medicine and Cardiac CT84:2–6. doi:10.1016/j.pcad.2024.05.004

57. Michos ED, Blaha MJ, Blumenthal RS. Use of the Coronary Artery Calcium Score in Discussion of Initiation of Statin Therapy in Primary Prevention. Mayo Clin Proc. el 1 de diciembre de 2017;92(12):1831–41. doi:10.1016/j.mayocp.2017.10.001 PubMed PMID: 29108840.

58. Cainzos-Achirica M, Miedema MD, McEvoy JW, Al Rifai M, Greenland P, Dardari Z, et al. Coronary Artery Calcium for Personalized Allocation of Aspirin in Primary Prevention of Cardiovascular Disease in 2019. Circulation. el 12 de mayo de 2020;141(19):1541–53. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.119.045010

59. Ajufo E, Ayers CR, Vigen R, Joshi PH, Rohatgi A, de Lemos JA, et al. Value of Coronary Artery Calcium Scanning in Association With the Net Benefit of Aspirin in Primary Prevention of Atherosclerotic Cardiovascular Disease. JAMA Cardiol. el 1 de febrero de 2021;6(2):179–87. doi:10.1001/jamacardio.2020.4939

60. Lanas F, Serón P, Muttel C. Cardiovascular Disease Prevention in Latin America: Comparative Outcomes According to Socioeconomic Status. En: Romero T, Nazal CN,

Lanas F, editores. Global Challenges in Cardiovascular Prevention in Populations with Low Socioeconomic Status [Internet]. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025 [citado el 29 de abril de 2026]. p. 159–77. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-031-79051-5_8 doi:10.1007/978-3-031-79051-5_8

61. Mori H, Torii S, Kutyna M, Sakamoto A, Finn AV, Virmani R. Coronary Artery Calcification and its Progression: What Does it Really Mean? JACC Cardiovasc Imaging. enero de 2018;11(1):127–42. doi:10.1016/j.jcmg.2017.10.012 PubMed PMID: 29301708.

62. Estrategias de Prevención de Enfermedades Cardiometabólicas y Salud Oral. – Ministerio de Salud Pública [Internet]. [citado el 27 de abril de 2026]. Disponible en: https://www.salud.gob.ec/estrategias-de-prevencion-de-enfermedades-cardiometabolicas-y-salud-oral/

63. Mortensen MB, Gaur S, Frimmer A, Bøtker HE, Sørensen HT, Kragholm KH, et al. Association of Age With the Diagnostic Value of Coronary Artery Calcium Score for Ruling Out Coronary Stenosis in Symptomatic Patients. JAMA Cardiol. el 1 de enero de 2022;7(1):36–44. doi:10.1001/jamacardio.2021.4406 PubMed PMID: 34705022; PubMed Central PMCID: PMC8552116.

64. Shea S, Navas-Acien A, Shimbo D, Brown ER, Budoff M, Bancks MP, et al. Spatially Weighted Coronary Artery Calcium Score and Coronary Heart Disease Events in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. Circ Cardiovasc Imaging. enero de 2021;14(1):e011981. doi:10.1161/CIRCIMAGING.120.011981 PubMed PMID: 33461306; PubMed Central PMCID: PMC7987729.

65. Gómez-Díaz D, Díez-Villanueva P, López-Melgar B, Flores L, De Toffol G, Ramos A, et al. Role of Coronary Artery Calcium Score CT in Risk Stratification of Asymptomatic Individuals. J Cardiovasc Dev Dis. el 9 de noviembre de 2025;12(11):442. doi:10.3390/jcdd12110442 PubMed PMID: 41295368; PubMed Central PMCID: PMC12653156.

66. Budoff MJ, Young R, Lopez VA, Kronmal RA, Nasir K, Blumenthal RS, et al. Progression of coronary calcium and incident coronary heart disease events: MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). J Am Coll Cardiol. el 26 de marzo de 2013;61(12):1231–9. doi:10.1016/j.jacc.2012.12.035 PubMed PMID: 23500326.

67. Lakoski SG, Greenland P, Wong ND, Schreiner PJ, Herrington DM, Kronmal RA, et al. Coronary artery calcium scores and risk for cardiovascular events in women classified as "low risk" based on Framingham risk score: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). Arch Intern Med. el 10 de diciembre de 2007;167(22):2437–42. doi:10.1001/archinte.167.22.2437 PubMed PMID: 18071165.

68. Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, Bild DE, Burke G, Folsom AR, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. N Engl J Med. el 27 de marzo de 2008;358(13):1336–45. doi:10.1056/NEJMoa072100 PubMed PMID: 18367736.

69. McClelland RL, Jorgensen NW, Budoff M, Blaha MJ, Post WS, Kronmal RA, et al. 10-Year Coronary Heart Disease Risk Prediction Using Coronary Artery Calcium and Traditional Risk Factors: Derivation in the MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis)

With Validation in the HNR (Heinz Nixdorf Recall) Study and the DHS (Dallas Heart Study). J Am Coll Cardiol. el 13 de octubre de 2015;66(15):1643–53. doi:10.1016/j.jacc.2015.08.035 PubMed PMID: 26449133; PubMed Central PMCID: PMC4603537.

70. Greenland P, Blaha MJ, Budoff MJ, Erbel R, Watson KE. Coronary Calcium Score and Cardiovascular Risk. J Am Coll Cardiol. el 24 de julio de 2018;72(4):434–47. doi:10.1016/j.jacc.2018.05.027 PubMed PMID: 30025580; PubMed Central PMCID: PMC6056023.

71. Goff DC, Lloyd-Jones DM, Bennett G, Coady S, D'Agostino RB, Gibbons R, et al. 2013 ACC/AHA Guideline on the Assessment of Cardiovascular Risk. Circulation. el 24 de junio de 2014;129(25_suppl_2):S49–73. doi:10.1161/01.cir.0000437741.48606.98

72. Rodriguez F, Chung S, Blum MR, Coulet A, Basu S, Palaniappan LP. Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk Prediction in Disaggregated Asian and Hispanic Subgroups Using Electronic Health Records. J Am Heart Assoc. el 16 de julio de 2019;8(14):e011874. doi:10.1161/JAHA.118.011874 PubMed PMID: 31291803; PubMed Central PMCID: PMC6662141.

73. Development and Validation of the American Heart Association's PREVENT Equations | Circulation [Internet]. [citado el 29 de mayo de 2026]. Disponible en: https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCULATIONAHA.123.067626

ANEXOS

ANEXO 1. CUADRO OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Tipo
Etnia	Etnia auto identificada por los participantes en los que se realiza la medición del score de calcio.	Cualitativa	Mestizo Blanco/caucásico Indígena Afroecuatoriano Montubio Otras	Nominal	Independiente
Sexo	Condición orgánica que divide a los seres humanos en hombre y mujer.	Discreta	Masculino Femenino	Nominal dicotómica	Independiente
Edad	Edad en años de los individuos a los que se les va a realizar mediciones del score de calcio.	Continua	Edad en años comprendida entre los 45 a 84 años.	Intervalar	Independiente
Peso	Es una medida antropométrica que se define como la suma de todos los tejidos del cuerpo.	Continua	Cantidad de masa medida en kg	Continua	Independiente
Talla	Estatura de una persona, medida desde la planta de los pies hasta el vértice de la cabeza.	Continua	Altura de las personas medida en cm	Continua	Independiente

Índice de Masa Corporal (IMC)	Índice resultante del peso de una persona en kilogramos dividido por el cuadrado de la estatura en metros.	Continua	Normal (18.5 - 24.9) - (1) Sobrepeso (25.0-29.9) - (2) Obesidad I (30.0 - 34.9) - (3) Obesidad II (35.0 - 39.9) - (4) Obesidad extrema III (≥ 40) - (5)	Intervalar	Independiente
Tabaquismo	Acción de fumar de manera activa o activa reciente, se considera a aquellos sujetos que han fumado durante los últimos 30 días (1). Exfumador, nunca ha fumado (2).	Discreta	Sí (1) No (0)	Nominal Dicotómica	Independiente
Antecedentes familiares de enfermedad cardiaca	Presencia de antecedentes de enfermedad cardiaca diagnosticada y/o tratada o casos de muerte cuya causa corresponda a una enfermedad cardiaca identificada.	Discreta	Sí (1) No (0)	Nominal Dicotómica	Independiente

Hipertensión Arterial	Enfermedad crónica, de etiología multifactorial, caracterizada por un aumento sostenido en las cifras de la presión arterial sistólica arriba de 140 mmHg , y diastólica mayor a 90 mmHg.	Discreta	Sí (1) No (0)	Nominal Dicotómica	Independiente
Diabetes mellitus	Enfermedad crónica causada por la incapacidad del organismo de utilizar eficazmente la insulina que produce, causando elevación de la glicemia arriba de 126 mg/dl.	Discreta	Sí (1) No (0)	Nominal Dicotómica	Independiente
Dislipidemia	Elevada concentración de lípidos en la sangre.	Discreta	Sí (1) No (0)	Nominal Dicotómica	Independiente

Enfermedad renal crónica	síndrome clínico secundario al cambio definitivo en la función y/o estructura del riñón y se caracteriza por su irreversibilidad y evolución lenta y progresiva	Discreta	Sí (1) No (0)	Nominal Dicotómica	Independiente
Score MESA sin calcio coronario	Estimación del riesgo de enfermedad coronaria a 10 años mediante el modelo MESA, calculado con factores clínicos tradicionales, sin incluir el score de calcio coronario.	Continua/cuantitativa	Riesgo bajo <4,99% Riesgo limítrofe 5% -7,49% Riesgo Intermedio 7,5% - 19,99% Riesgo Alto ≥20%	Intervalar	Dependiente
Score MESA con calcio coronario	Estimación del riesgo de enfermedad coronaria a 10 años mediante el modelo MESA, incorporando el score de calcio coronario en unidades Agatston.	Continua/ cuantitativa	Riesgo bajo <4,99% Riesgo limítrofe 5% -7,49% Riesgo Intermedio 7,5% - 19,99% Riesgo Alto ≥20%	Intervalar	Dependiente

Percentil	Se obtiene al comparar el SCC de un individuo con otros de la misma raza, rango etario y sexo, a partir de bases de datos de individuos asintomáticos cardiacos.	Continua/ cuantitativa	Riesgo Bajo 0 Riesgo intermedio 1% - 74,99% Riesgo alto 75% - 89,99% Enfermedad coronaria ≥90%	Intervalar	Dependiente
Riesgo ASCVD	Estimación del riesgo de enfermedad cardiovascular aterosclerótica, generalmente a 10 años, calculada mediante ecuaciones clínicas de riesgo cardiovascular.	Continua/ cuantitativa	Riesgo bajo: < 4,99% Riesgo límite: 5% - 7.4% Riesgo intermedio: 7.5% - 19.9% Riesgo alto: ≥20%	Intervalar	Dependiente
PREVENT	Estimación del riesgo cardiovascular mediante las ecuaciones PREVENT de la American Heart Association, basadas en factores cardiovasculares, renales y metabólicos. Estima riesgo a 10 años.	Continua / cuantitativa	Riesgo bajo: <2,99% Riesgo límite: 3% - 4,99% Riesgo intermedio: 5% - 9,99% Riesgo alto: ≥ 10%	Intervalar	Dependiente
MACE (Eventos Cardiovasculares Mayores)	Ocurrencia de eventos clínicos adversos: Infarto Agudo de Miocardio (IAM), Accidente Cerebrovascular (ACV), revascularización coronaria y muerte de causa cardiovascular.	Cualitativa	Presencia de al menos uno de los eventos mencionados	Nominal Dicotómica (Sí/No)	Dependiente