



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

MÉTODOS FENOTÍPICOS Y MOLECULARES PARA DIAGNÓSTICO DE MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS

**PHENOTYPIC AND MOLECULAR METHODS FOR THE
DIAGNOSIS OF MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS**

Verónica de Lourdes Molina Molina
Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Jonnathan Gerardo Ortiz T
Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17207

Métodos Fenotípicos y Moleculares para Diagnóstico de *Mycobacterium* Tuberculosis

Verónica de Lourdes Molina Molina¹veronica.molina.58@est.ucacue.edu.ec<https://orcid.org/0009-0009-7741-2605>

Universidad Católica de Cuenca

Cuenca - Ecuador

Jonnathan Gerardo Ortiz Tjonnathan.ortiz@ucacue.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-6770-2144>

Universidad Católica de Cuenca

Cuenca - Ecuador

RESUMEN

La tuberculosis (TB) es una enfermedad contagiosa que ha causado un considerable número de muertes en todo el mundo. En este artículo, se analizan los diferentes métodos fenotípicos y moleculares en el diagnóstico de la *Mycobacterium tuberculosis*. Para ello, se llevó a cabo una revisión sistemática en la Literatura en las principales bases de datos: PubMed, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Medline, Science Direct, Web of Science, bioRxiv, medRxiv. Los métodos tradicionales fenotípicos, como la baciloscopia y el cultivo bacteriano, han sido ampliamente utilizados por su accesibilidad y costo reducido, presentan ciertas limitaciones. La baciloscopia, tiene una sensibilidad relativamente baja, mientras que el cultivo, aunque más preciso, demanda un mayor tiempo y recursos. Los métodos moleculares, como las pruebas de amplificación de ácidos nucleicos (NAAT) y las tecnologías Xpert, ofrecen ventajas significativas en términos de rapidez, precisión y capacidad para detectar resistencias a fármacos. A pesar de ser más costosas y requerir infraestructura especializada, estas pruebas son consideradas la mejor opción para el diagnóstico de TB. Sin embargo, en entornos con recursos limitados, puede ser necesario la implementación de diferentes enfoques diagnósticos para proporcionar una estrategia más completa y efectiva en el diagnóstico de la enfermedad, particularmente, en entornos con recursos limitados.

Palabras clave: mycobacterium tuberculosis, métodos fenotípicos, métodos moleculares, enfermedades transmisibles

¹ Autor principal

Correspondencia: veronica.molina.58@est.ucacue.edu.ec

Phenotypic and Molecular Methods for the Diagnosis of Mycobacterium Tuberculosis

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) is a contagious disease that has caused a considerable number of deaths worldwide. In this article, the different phenotypic and molecular methods in the diagnosis of Mycobacterium tuberculosis are analyzed. For this purpose, a systematic review was carried out in the Literature in the main databases: PubMed, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Medline, Science Direct, Web of Science, bioRxiv, medRxiv. Traditional phenotypic methods, such as smear microscopy and bacterial culture, have been widely used because of their accessibility and reduced cost, but they have certain limitations. Bacilloscopy has a relatively low sensitivity, while culture, although more accurate, is more time-consuming and resource-intensive. Molecular methods, such as nucleic acid amplification tests (NAAT) and Xpert technologies, offer significant advantages in terms of speed, accuracy and ability to detect drug resistance. Despite being more expensive and requiring specialized infrastructure, these tests are considered the best option for TB diagnosis. However, in resource-limited settings, it may be necessary to implement different diagnostic approaches to provide a more comprehensive and effective strategy for diagnosing the disease, particularly in resource-limited settings.

Keywords: mycobacterium tuberculosis, phenotypic methods, molecular methods, communicable diseases

*Artículo recibido 08 febrero 2025
Aceptado para publicación: 20 marzo 2025*



INTRODUCCIÓN

El presente artículo aborda el diagnóstico de *Mycobacterium tuberculosis*, el agente causante de la tuberculosis (TB), a través de una revisión de métodos fenotípicos y moleculares. Esta enfermedad infecciosa es causada por la bacteria *Mycobacterium tuberculosis*, afectando especialmente a los pulmones, aunque también, puede involucrar otros órganos. Antes de la llegada de la pandemia de COVID-19, la tuberculosis se posicionaba como la principal causa de muerte, incluso, por encima del VIH/SIDA (OMS, 2022). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2021, aproximadamente 10.6 millones de personas fueron diagnosticadas con tuberculosis a nivel global, se registró un incremento estimado del 9.4% (OMS, 2025).

La principal limitación de los programas de control de la tuberculosis está asociada con el diagnóstico temprano de la enfermedad. Los enfoques tradicionales, como la baciloscopia y el cultivo, son esenciales, pero, tienen varias limitaciones. En respuesta a estas restricciones, los métodos moleculares ofrecen soluciones modernas enfocadas en el análisis del material genético, con resultados en un lapso de horas, en lugar de semanas (MINSA, 2022). En este contexto, se analizarán métodos fenotípicos y moleculares para mejorar el diagnóstico y tratamiento, con énfasis en las pruebas en el punto de atención (POCT) por su rapidez en la toma de decisiones, clasificación de pacientes y mejor adherencia al tratamiento (Tayal et al., 2024).

La revisión sistemática analizará los métodos fenotípicos y moleculares para diagnosticar *Mycobacterium Tuberculosis*, evaluando su precisión, sensibilidad y especificidad. Identificará fortalezas y limitaciones, lo que facilitará la formulación de políticas de salud pública y estrategias diagnósticas más eficientes. Teóricamente, esta investigación, tienen sus bases en la microbiología, la genética y la epidemiología de las enfermedades infecciosas. Desde la microbiología, están los postulados de Koch, considerado pionero en la identificación de los agentes causantes del antrax, la tuberculosis y el cólera (Sravanthi et al., 2024). En cuanto a la teoría de la resistencia antimicrobiana, se relaciona con la importancia de identificar cepas resistentes para ajustar el tratamiento y mejorar la efectividad del diagnóstico (Rhastin et al., (2021); Singh et al., (2022); Kumar et al., (2023); Xiong et al., (2024); Yadav et al., (2025)).



Desde la genética, se ha incorporado información sobre las características genéticas de *Mycobacterium tuberculosis* en el desarrollo de regímenes farmacológicos (Tomasi & Rubin, (2022); Mariner-Llicer et al., (2024)).

En los últimos años, se ha investigado la efectividad de diversas técnicas de diagnóstico (Peña, 2022; Macero et al., 2022; Palmero, 2024; Rodríguez-Duque, 2024, Yayan et al., 2024). Uno de los métodos más recientes y prometedores para el diagnóstico de la TB son las pruebas moleculares, pruebas basadas en PCR (reacción en cadena de la polimerasa), como la prueba GeneXpert MTB/RIF, las cuales, ofrecen resultados más rápidos en comparación con los métodos tradicionales (Acosta et al., 2022, Carmenates & Pérez, 2024). Además, se han estado investigando tecnologías emergentes, como la secuenciación de próxima generación (NGS) y métodos de diagnóstico basados en inteligencia artificial (Beviere et al., 2023; Schwab et al., 2024; Van & Warren, 2024; Zhang et al., 2024).

La investigación se sitúa en un contexto histórico y social marcado por la resurgencia de la tuberculosis en el siglo XXI. Las hipótesis planteadas sugieren que la combinación de métodos fenotípicos y moleculares puede mejorar significativamente la precisión diagnóstica de *Mycobacterium tuberculosis* (Mtb). El objetivo que se persigue es analizar los diferentes métodos fenotípicos y moleculares en el diagnóstico de la *Mycobacterium tuberculosis*, con el fin de valorar su precisión, sensibilidad y especificidad diagnóstica.

METODOLOGÍA

Se utilizó un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo, con un diseño no experimental, de revisión bibliográfica. Asimismo, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de la literatura para identificar estudios relevantes sobre los métodos fenotípicos y moleculares existente para el diagnóstico de *Mycobacterium Tuberculosis*, en distintas bases de datos electrónicas, como PubMed, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Medline, Science Direct, Web of Science, bioRxiv, medRxiv, utilizando conjuntamente palabras claves “Mycobacterium Tuberculosis”, “tuberculosis” y descriptores (DeCS): “técnicas y procedimientos diagnósticos”, “sensibilidad y especificidad”, “exactitud de los datos”, “métodos”, “métodos novedosos de detección”, “métodos fenotípicos”, “métodos moleculares”, “diagnóstico”, “diagnóstico bacteriológico”, “diagnóstico rápido”, “Pruebas moleculares”, “técnicas moleculares”, “PCR”, “Point of care diagnosis”, “resistencia”, “genoma”, “tratamiento”, “control”, “epidemiología”,

“detección”, “enfermedad infecciosa”, “eficacia terapéutica”, “secuencia de próxima generación (NGS)”, “cadena de polimerasa (PCR)”, “NAATS” y, con el apoyo de operadores booleanos: AND, OR y NOT. Para la búsqueda se usó PRISMA.

Los criterios de inclusión considerados fueron: artículos originales en español, inglés o portugués; con información sobre la sensibilidad, especificidad y/o precisión diagnóstica de los métodos fenotípicos y moleculares evaluados, de los últimos cinco años. La recolección de información y el análisis bibliométrico de los documentos completos se resume en una matriz con los siguientes campos: autor, fabricante, país, año de publicación del estudio, tipo de método de diagnóstico, con su respectiva sensibilidad y especificidad, así como, resultados, ventajas y limitaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se resumen los métodos fenotípicos implementados en el diagnóstico de *Mycobacterium Tuberculosis*.



Tabla 1. Métodos fenotípicos para el diagnóstico de *Mycobacterium Tuberculosis*

Método (fabricante, país)/año	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Resultados (días)	Tipo de muestra	Ventajas	Limitaciones	Referencias
Löwenstein-Jensen (LJ)/1932	80-86	98	30 – 45	Espuito	Permite determinar la CMI. Eficiente para la detección de la TC. Mayor sensibilidad que la baciloscopia. Más económico y con menor riesgo de contaminación.	Demora en resultados. Contaminación del cultivo, dificultad de diagnóstico y costo adicional. Baja sensibilidad en muestras con pocos organismos.	Yusoof et al., (2022) Campelo et al., (2021) Aggarwal et al., (2020)
Middlebrook 7H10/7H11	80-86	~ 99	21 – 28	Espuito	Sirve para determinar la CMI. Menos contaminante y más económico que el cultivo en medio líquido. Mayor sensibilidad que la baciloscopia.	Demora en resultados. Requiere un cultivo aislado de medios sólidos.	Rupasinghe et al., (2022) Huang et al., (2022)
MGIT 460/960 (Becton Dickinson)/ 2007	MTBC: 95.2	MTBC: 99.2	4 - 24	Espuito	Alta sensibilidad. Rapidez. MGIT 960: Automatizado. Alta capacidad, No radiométrico.	Costo relativo. Estrictas medidas de seguridad. Riesgo de contaminación elevado.	Naidoo et al., (2024) Símboli et al., (2022)
BACTEC460/960 (Becton Dickinson, USA)	90 – 97	~ 99.6	10 - 42	Espuito	Alta sensibilidad y especificidad. Rapidez. BACTEC 960: confiable, automatizado	BACTEC 460: Utiliza carbono radiactivo, requiere una eliminación complicada y costosa.	Tawfick et al., (2023) Yusoof et al., (2022)
MODS	DB-R: 94.4	DB-R: 91.8	6	Espuito	Bajo costo. Rapidez para detectar TB-MDR.	Requiere microscopio invertido y entrenamiento para identificar cordones.	Naidoo et al., (2024) Tawfick et al., (2023)
Baciloscopia por Tinción de Ziehl-Neelsen (ZN)/1882	50-80	Limitada al nivel de género.	2 - 3	Espuito	Rápida, fácil de realizar, económica. Efectiva, alta especificidad, accesible. Disponible en laboratorios con menos recursos.	Manual. Personal especializado. Baja sensibilidad. Alto número de bacilos para un resultado positivo.	Matteo et al., (2025) Costa (2025) Tawfick et al., (2023)
Microscopía de Fluorescencia (FM)/1930			1-2	Espuito	Más rápida que la ZN. Semiautomatizado. Mejor sensibilidad. Aumenta sensibilidad de los frotis de espuito en un 10% en comparación con el método convencional.	Equipo costoso. Falsos positivos. Mantenimiento regular. Corta vida útil de la luz de vapor de mercurio.	Tawfick et al., (2023) Campelo et al., (2021) Abebe et al., (2020)

Nota. Abreviaciones. DLM: delamanida, LZD: linezolida, BDQ: bedaquilina. CMI: Concentración mínima inhibitoria. TC: tasa de crecimiento.

La tabla 2 ofrece un resumen exhaustivo de los diferentes enfoques moleculares utilizados en el diagnóstico de *Mycobacterium tuberculosis*. En esta tabla, se incluyen el nombre del método y del fabricante, junto con el país de origen y el año de desarrollo. Asimismo, se proporciona información detallada sobre cada técnica, abarcando aspectos como el gen analizado, la sensibilidad y especificidad del método, el tiempo requerido para la obtención de resultados, el tipo de muestra necesaria, la capacidad para detectar resistencia a RIF/INH, así como, tips, beneficios y limitaciones, acompañados de las referencias pertinentes.



Tabla 2. Métodos moleculares para el diagnóstico de Mycobacterium Tuberculosis

Método (Fabricante, País)/Año	Genes Objetivo	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Resultados (horas)	Tipo de muestra	Ventajas	Limitaciones	Referencias
Truenat MTB (Molbio Diagnostics en Bangalore, India) /2020	nrdB	~ 73.3	~ 97.9	< 1	Esputo. Fluidos corporales extrapulmonares.	Resultados rápidos. Altamente sensibles y específicas. Portabilidad y facilidad de uso.	Los falsos negativos se incrementa cuando la carga bacteriana es baja.	Sánchez et al., (2024). Inbaraj et al., (2023)
Truenat MTB Plus (Molbio Diagnostics en Bangalore, India) /2020	nrdB nrdz IS6110	~ 91.7	~ 97.2	< 1	Esputo. Fluidos corporales extrapulmonares.	Resultados rápidos. Altamente sensibles y específicas. Portabilidad y facilidad de uso.	Probabilidad de falsos negativos, en aquellos casos de baja carga bacteriana.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Meaza et al., (2021)
Truenat MTB-RIF Dx (Molbio Diagnostics en Bangalore, India) /2020	rpoB	Mtb: ninguna. RIF: 84%	Mtb: ninguna. RIF: 97%	< 1	Esputo. Fluidos corporales extrapulmonares.	Múltiples reacciones de forma simultánea. Mayor rapidez. Dispositivos portátiles. Pruebas efectivas y veloces.	Limitada en algunas regiones. Personal especializado.	Sánchez et al., (2024). Nandlal et al., (2022). Beviere et al., (2023).
RealTime MTB (Abbott Park, Estados Unidos)/ 2019	IS6110 pab	93% en cultivo positivo. 81% en frotis negativo.	97%	~ 6	Esputo crudo. ABL	Procesa varias muestras: esputo, lavado broncoalveolar y extraídas de ADN. Precisión, con la presencia o ausencia de infección en las muestras procesadas.	Las variantes menos frecuentes de MTB pueden generar resultados negativos.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Araya et al., (2021).
RealTime MTB RIF (Abbott Park, Illinois, Estados Unidos)/ 2019	rpoB, inhA, katG	Mtb: ninguna. RIF: 94.8 INH: 88.3	Mtb: ninguna. RIF: 100 INH: 94.3	10.5	Esputo crudo. ABL Sedimento de esputo.	Alto rendimiento. Beneficios específicos para el VIH-1, VHB, VHC, VPH y SARS-CoV2. Precisión.	Necesita electricidad. Equipos costosos. Personal capacitado.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Nandlal et al., (2022). Díaz y Nieto, (2021).
FluoroType MTB VER 1.0 (Hain, Alemania)/ 2021	IS6110	~88.1	~98.9	3	Esputo Cultivo	Rápida. Fácil de usar.	Identificación de cepas. Dependencia del material biológico.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Sánchez et al., (2024).
FluoroType MTB VER 2.0 (Hain, Alemania)/ 2021	IS6110	~91.6	~93.8	3	Esputo Cultivo	Automatizada. Alta precisión diagnóstica	Capacitación del personal.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Dippenaar et al., (2021).
FluoroType MTBDR VER 1.0 (Hain, Alemania)/ 2021	rpoB, katG, inhA	Mtb: ninguna. RIF: 98.9 INH: 91.7	Mtb: ninguna. RIF: 100 INH: 100	3	Esputo Cultivo	Análisis rápido y preciso para la detección de resistencia a medicamentos en MTB.	Precisión limitada en diagnóstico de TB en muestras de baja carga bacteriana. Baja sensibilidad.	Sánchez et al., (2024). Nandlal et al., (2022). Díaz y Nieto, (2021)



FluoroType MTBDR VER 2.0 (Hain,Alemania) / 2021	rpoB, inhA, katG	89.8	97.5	3	Espuito Cultivo	Automatizada. Alta precisión diagnóstica. Detección de resistencia en MTB.	Sujeto a la electricidad. Equipos de alto costo. Personal capacitado.	Sánchez et al., (2024). Nandlal et al., (2022).
Xpert MTB/RIF (Cepheid, Estados Unidos)/ 2010	rpoB	FP: 100 FN: 67 Mtb: 85 RIF: 96	FP: 99 FN: 99 Mtb: 98 RIF: 98	2	Espuito sin procesar (crudo) Sedimento de espuito.	Rapidez. Alta sensibilidad para detectar CMTB. Alta sensibilidad para detectar TBRR.	Difícil acceso. Requiere electricidad. Sensibilidad disminuida en frotis negativo.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Nguyen et al., (2019)
Xpert MTB/RIF Ultra (Cepheid, Estados Unidos)/ 2017	IS6110 IS1081 rpoB	Mtb: 90 RIF: 94	Mtb: 96 RIF: 98	2	Espuito sin procesar (crudo) Sedimentode espuito.	Mayor sensibilidad. Más preciso para la detección de resistencia a la rifampicina que Xpert MTB/RIF.	Costo relativo. Requiere electricidad. Sensibilidad disminuida en el espuito con frotis negativo.	Mousavi-Sagharch et al., (2024) Mugenyi et al., (2024) Beviere et al., (2023).
Xpert MTB/XDR (Cepheid, Estados Unidos)/ 2021	inhA katG fabG1 ahpC gyrA gyrB rrs eis	Mtb: ninguna INH: 94.2 FQ: 93.1 AMK: 86.1 ETH:98 KAN: 98.1 CAP: 70	Mtb: ninguna INH:98 FQ: 98.3 AMK: 98.9 ETH: 99.7 KAN: 97 CAP: 99.7	1.5	Espuito sin procesar (crudo). Sedimentode espuito.	Aporta perfil de resistencia a H, FQ aminoglucósidos y etionamida. Útil para el diagnóstico de VIH, hepatitis C y monitoreo de carga viral.	Costo relativo. Requiere electricidad.	Nandlal et al., (2022). Símboli et al., (2022) Nguyen et al., (2019)
Anyplex™ MTB/MDR (Seegene, Seúl Corea)/	II rpoB inhA katG	INH: 85,71 MDR: 82.35 Mtb: 79,7 Mtb pediátricos: 84.8	INH: 99,75 MDR:99.76 Mtb: 94.5 Mtb pediátricos: 95.8	3	Espuito, células de cultivo, tejido fresco o ABL	Eficaz. Alta sensibilidad y especificidad para detectar la tuberculosis resistente a la INH y la tuberculosis resistente a la MDR.	No aprobado por la OMS. No identifica todos los genes resistentes a los fármacos.	Mousavi-Sagharch et al., (2024) Sawatpanich et al., (2022)
Anyplex™ MTB/XDR (Seegene, Corea)/2016	II gyrA rrs eis	50 -100	94-100	3	Espuito Lavado bronquial.	Detección rápida. Alta sensibilidad y especificidad.	Costos altos.	Beviere et al., (2023). Abhishek et al., (2020)
Anyplex™ MTB/MDR/XDR (Seegene, Corea)/2016	II rpoB inhA katG gyrA rrs eis	50-100	94 - 100	3	Espuito lavado bronquial.	Proceso automatizado que reduce el tiempo de análisis.	No detecta todas las variantes de resistencia. Dependen de la calidad de la muestra.	Beviere et al., (2023). Abhishek et al., (2020)
GenoType MTBDRplus (Hain, Alemania)/ 2008	rpoB inhA katG	Mtb: ninguna RIF: 98.2 INH: 95.4	Mtb: ninguna RIF: 97.8 INH: 98.8	5	Espuito descontaminado Material cultivado	Resultados en 5 horas. Detección rápida de la resistencia a INH y RIF.	No reemplaza a los cultivos Menor rapidez. quipo costoso. Personal capacitado.	Achraf et al., (2024), Zaporojan et al., (2024) Nandlal et al., (2022).



GenoType MTBDRsl VER 1.0 (Bruker, Alemania)/ 2008	gyrA rrs embB	Mtb: ninguna XDR: 75.0 FQ: 84.0 KAN: 64.0 AMK: 87.0 CM:73.0	Mtb: ninguna XDR: 99.0 FQ: 98.0 KAN: 99.0 AMK: 99.0 CM: 97.0	5	Muestras con baciloscopia positiva y aislamiento	Prueba de sonda lineal (LPA) diseñada para identificar genéticamente el complejo MTB.	Requiere frotis positiva para descartar MDR.	Pinhata et al., (2023) Saderi et al., (2022)
GenoType MTBDRsl VER 2.0 (BrukerAlemania)/2 016	gyrA gyrB rrs eis	Mtb: ninguna XDR: 85.0 FQ: 95.0 KAN: 89.0 AMK: 90.0	Mtb: ninguna XDR: 98.0 FQ: 98.0 KAN: 98.0 AMK: 100.0	5	Muestras con baciloscopia positiva y negativa.	Detección rápida de la resistencia a INH y RIF.	Equipo costoso. Personal capacitado. Sensibilidad reducida en muestras con frotis negativo.	Saderi et al., (2022) Bouzouita et al., (2021)
LAMP (Eiken Chemical, Japón)/	IS6110 gyrB	y ~ 80.9	~ 96.5	<1	Espuito	Más rápida. Menos costosa que la PCR. Alta sensibilidad y especificidad. Menos infraestructura.	Precisión limitada en la detección de TB. No detecta cepas resistentes a los medicamentos.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). Gard et al., (2022) López et al, (2021)
Cobas MTB (Roche Diagnostics International AG, Suiza)/2021	16S rRNA, y 5 esx	~ 93.5	~ 98	4	Espuito crudo y procesado Lavado broncoalveolar (ABL)	Amplia contribución en detección de MTB.	Más costoso que los métodos tradicionales.	De Vos et al., (2024) Nadarajan et al., (2021) Scott et al., (2020)
Cobas MTB-RIF/ INH (Roche Diagnostics International AG, Suiza)/ 2021	rpoB, katG, inhA	Mtb: ninguna RIF: 97.2 INH: 96.9	Mtb: ninguna RIF: 98.6 INH: 99.4	4.5	Espuito crudo y procesado ABL	Amplia contribución en detección de MTB.	Más costoso que los métodos tradicionales.	Bartolomeu-Gonçalves et al., (2024). De Vos et al., (2024) Nadarajan et al., (2021)
BD MAX MDR-TB (Becton Dickinson, North Charleston, Nueva Jersey)/ 2021	rpoB inhA, katG (codon 315)	MTBC: 90.6 RIF: 90 INH:82	MTBC: 98.5 RIF: 95 INH: 100		Espuito sin procesar (crudo). líquido de lavado broncoalveolar.	Alto rendimiento de muestras Cada ensayo tiene beneficios específicos de múltiples plataformas para VIH-1, VHB, VHC, VPH, SARS-CoV2.	Suministro de energía confiable y estable. Equipo costoso. Se requiere capacitación especializada. Limitado a la detección de mutaciones de resistencia a RIF	Naidoo et al., (2024) Tawfick et al., (2023)

Nota. Abreviaciones. FP: frotis positivo, FN: frotis negativo, RIF:rifampicina; INH: isoniazida; FQ: fluoroquinolona; AMK: amikacina; KAN: kanamicina; ETH: etionamida; CAP: capreomicina; ABL: Lavado bronquioalveolar.



DISCUSIÓN

La tuberculosis (TB), causada por el agente infeccioso *Mycobacterium Tuberculosis* constituye una de las principales enfermedades infecciosas a nivel mundial (Costa et al., 2021; Falcón et al., 2023). A pesar de los constantes avances en métodos diagnósticos para la detección y tratamiento, la enfermedad continua siendo un desafío significativo para la salud pública. Por lo tanto, es crucial entender que el diagnóstico temprano y preciso de *Mycobacterium tuberculosis*, así como, el uso de métodos adecuados, son fundamentales para controlar su propagación y para una intervención efectiva y eficaz. En ese sentido, a lo largo de los años se han desarrollado y probado diversos métodos diagnósticos, tanto fenotípicos como moleculares, con el fin de coadyuvar en una detección oportuna de la enfermedad (Matteo et al., 2025; Costa, 2025; Xiong et al., 2024; Pagaduan & Altawallbeh, 2024; Yadav et al., 2020).

Los métodos fenotípicos han sido tradicionalmente la base para el diagnóstico de la tuberculosis. Los más usados son la baciloscopia y el cultivo. La baciloscopia, que implica el examen de muestras de esputo teñidas mediante la técnica de Ziehl-Neelsen, se destaca por ser un método rápido y económico que facilita la identificación de bacilos ácido-alcohol resistentes, específicamente, el *Mycobacterium tuberculosis*. Sin embargo, la sensibilidad de la baciloscopia es restringida, especialmente, en individuos con tuberculosis extrapulmonar o aquellos que presentan una baja carga bacilar, lo que puede resultar en falsos negativos. Además, este método no permite identificar cepas que sean resistentes a los fármacos (Costa 2025; Ruperti-Macias & Cañarte-Vélez, 2024; Baquero-Artigao et al., 2023; Meaza et al., 2021).

El cultivo bacteriano continua siendo el estándar de referencia para el diagnóstico de la TB, pues permite la confirmación de la presencia de *Mycobacterium tuberculosis* y facilita la evaluación de la resistencia a los medicamentos, aunque es más sensible que la baciloscopia. Asimismo, requiere condiciones de laboratorio especializadas y personal capacitado, lo que limita su accesibilidad en regiones con recursos limitados. Aun así, este método es muy útil para la confirmación diagnóstica, en especial, en situaciones de TB resistente a los medicamentos (Poma et al., 2021; Tassinari et al., 2022; Martínez-Salto et al., 2025).



Los métodos moleculares, han emergido como una herramienta fundamental para superar las limitaciones de los métodos fenotípicos. Las pruebas de amplificación de ácidos nucleicos (NAAT, por sus siglas en inglés), han revolucionado el diagnóstico de la TB al permitir una detección más rápida y específica. Entre las pruebas más utilizadas se encuentran la PCR, la LAMP, y los sistemas como Xpert MTB/RIF, que detecta *Mycobacterium tuberculosis* y la resistencia a rifampicina en una sola prueba. Estas pruebas son más precisas, sensibles y específicas, destacan por su detección temprana y precisión, incluso, en baja carga bacteriana, y permiten identificar resistencia a fármacos, facilitando el tratamiento. Sin embargo, su efectividad depende de la calidad de la muestra, requieren tecnología avanzada y personal capacitado. La baciloscopia es rápida y económica, pero, tiene baja sensibilidad y no detecta resistencia. El cultivo es sensible y permite pruebas de resistencia, no obstante, requiere mucho tiempo y un laboratorio especializado. No obstante, la baciloscopia y el cultivo, aunque más lentos, siguen siendo útiles en zonas con acceso limitado a tecnología (Chanataxi-Lugmania & Asimbaya-Alvarado, (2024); Cadavi et al., (2021); Amaya et al., (2020); Nguyen et al., (2019); McLean et al., (2020).

CONCLUSIONES

En el diagnóstico de la tuberculosis (TB), tanto los métodos fenotípicos como moleculares desempeñan un papel fundamental. La selección del método diagnóstico adecuado está influenciada por diversos factores, incluyendo la disponibilidad, el costo, la capacidad técnica y la velocidad de obtención de resultados. Las pruebas moleculares destacan por su alta sensibilidad y especificidad, así como, por su capacidad para detectar la enfermedad en etapas tempranas; sin embargo, su uso puede verse limitado por el costo y la necesidad de infraestructura adecuada. Por otro lado, los métodos fenotípicos, como la baciloscopia y el cultivo, siguen siendo esenciales en muchas áreas debido a su bajo costo y facilidad de acceso, aunque presentan desventajas en cuanto a sensibilidad y tiempo de respuesta. A pesar de estas limitaciones, el cultivo sigue siendo el estándar de referencia para la confirmación de la TB y para la realización de pruebas de sensibilidad a los antibióticos, lo que permite una mejor selección del tratamiento.

La combinación de ambos enfoques permite mejorar la eficiencia del diagnóstico y garantizar un tratamiento oportuno. En particular, en zonas de alta carga de TB y con recursos limitados, la



implementación de estrategias mixtas puede optimizar la detección de casos y reducir la propagación de la enfermedad. Además, el desarrollo continuo de nuevas tecnologías, como la secuenciación de próxima generación, ofrece oportunidades para mejorar la detección de resistencia a los medicamentos y la vigilancia epidemiológica. Integrar distintos métodos moleculares-fenotípicos fortalece la respuesta global contra la tuberculosis, coadyuvando a un mejor control de la enfermedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abebe, G., Aragaw, D., & Tadesse, M. (2020). Fluorescence microscopy for the diagnosis of smear-negative pulmonary tuberculosis in Ethiopia, *IX*(1), 810. <https://doi.org/https://doi.org/10.4102/ajlm.v9i1.810>
- Abhishek, P., Dutta, N., Moschou, D., & Dutta, G. (2020). Advanced integrative sensing technologies for detection of drug-resistant tuberculosis in point-of-care settings. *Sensors International*, *I*(100036). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sintl.2020.100036>
- Achraf, A., Ghizlane, M., Imane, C., Abdelmajid, L., Fouad, C., Malika, M., Jamal, M., Meriem, K., & My Driss, E. M. (2024). Genotype MTBDRplus Assay Detection of Rifampicin and Isoniazid Resistant Mycobacterium tuberculosis in Morocco. *Acta Scientific Microbiology*, *VII*(11), ISSN: 2581-3226. <https://doi.org/https://actascientific.com/ASMI/pdf/ASMI-07-1447.pdf>
- Acosta, D., Domínguez, L., López, J., & Duarte, S. (2022). GeneXpert como método de diagnóstico de la tuberculosis en Santiago de Cuba. *MEDISAN*, *XXVI*(2), 255-265. <https://www.redalyc.org/journal/3684/368470822006/html/>
- Aggarwal, A., Singhal, R., Bhalla, M., & Myneedu, V. (2020). Study of Contaminants Growing on Lowenstein Jensen Media during Mycobacterium tuberculosis Culture from a Respiratory Speciality Hospital in Northern India. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, *XIV*(3), DC15-DC19. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2020/43525.13586>
- Araya, B., Ali, K., Geleta, D., Tekele, S., & Tulu, K. (2021). Performance of the Abbott RealTime MTBband RIF/INH resistance assays for the detection of Mycobacterium Tuberculosis and resistance markers in sputum specimens. *PLoS ONE*, *XVI*(5), e0251602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251602>



- Bartolomeu-Gonçalves, G., Marinho de Souza, J., Terci, B., Almeida, L., Ferreira, G., Madeira de Castro, I., Guilherme, P., Silva-Rodrigues, G., Reis, E., Megumi, L., Pelisson, M., & al., e. (2024). Tuberculosis Diagnosis: Current, Ongoing, and Future Approaches. *Diseases*, *XII*(202), 1-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/diseases12090202>
- Beviere, M., Reissier, S., Penven, M., Dejoies, L., Guérin, F., Cattoir, V., & Piau, C. (2023). El papel de la secuenciación de nueva generación (NGS) en el tratamiento de la tuberculosis: revisión práctica para su implementación en la práctica clínica habitual. *Patógenos*, *XII*(8), 978. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pathogens12080978>
- Bouzouita, I., Draoui, H., Cabibbe, A., Essalah, L., Bejaoui, S., Trovato, A., Messadi, F., Cirillo, D., & Slim-Saidi, L. (2021). Performance of the Genotype MTBDRsl V 2.0 for detecting second-line drugs resistance of Mycobacterium tuberculosis isolates in Tunisia. *Research Microbiology*, *CLXXII*(3), 103816. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resmic.2021.103816>
- Cadavi, C., Realpe, T., Mejía, G., Zapata, E., Hernández, M., & Robledo, J. (2022). Contribución del uso de XPERT MTB/RIF y su costo-efectividad en el diagnóstico de tuberculosis pulmonar y la resistencia a rifampicina: una comparación con métodos diagnósticos no moleculares. *Revista Infectio*, *XXVI*(2), 121-127. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-93922022000200121#:~:text=Determinar%20la%20contribuci%C3%B3n%20del%20Xpert%20MTB%2FRIF%20y%20su,al%20compararlo%20con%20m%C3%A9todos%20de%20diagn%C3%B3stico%20no%20moleculares
- Campelo, T., Cardoso de Sousa, P., Nogueira, L., Frota, C., & Antas, P. (2021). Revisiting the methods for detecting Mycobacterium tuberculosis: what has the new millennium brought thus far? *Access Microbiology*, *III*(8), 1-15. <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000245>
- Carmenates, R., & Pérez, M. (2024). Diagnóstico de tuberculose com ensaio Xpert® MTB/RIF na região leste de Cuba. *Revista Investigación Científica*, *CIII*, ISSN 1028-9933. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10615703>



- Chanataxi-Lugmania, J., & Asimbaya-Alvarado, D. (2024). Utilidad de GeneXpert MTB/RIF en el diagnóstico de tuberculosis frente a la baciloscopia. *Rev Fac Cien Med*, *XLIX*(2), 19-26. <https://doi.org/10.29166/rfcmq.v49i2.6638>
- Costa, K., Tobbin, I., Goncalves, G., Kucmanski, D., Costa, J., Nunes, P., & Biscaro, F. (2021). Tuberculosis: A Literature Review. *Brazilian Journal of Health Review*, *IV*(4), 16451-16466. <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n4-161>
- Costa, L. (2025). Métodos diagnósticos convencionales y avances tecnológicos en tuberculosis en el siglo XXI. *Revista Científica Conectividad*, *VI*(1), 56 - 67. <https://doi.org/https://doi.org/10.37431/conectividad.v6i1.228>
- De Vos, M., David, A., Duraisamy, K., Nadarajan, D., Noroc, E., Penn-Nicholson, A., Crudu, V., Giri, S., Maurer, F., Pati, S., Stevens, W., Scott, L., Turuk, J., & al., e. (2024). Accuracy of cobas MTB and MTB-RIF/INH for Detection of Mycobacterium tuberculosis and Drug Resistance. *The Journal of Molecular Diagnostics*, *XXVI*(0), 708-718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2024.05.004>
- Díaz, G., & Nieto, R. (2021). Diagnóstico de tuberculosis: desde Robert Koch hasta la actualidad. In R. Nieto, *Estudios de la tuberculosis desde la Sucursal del Cielo* (pp. 15-46). Cali, Colombia: Editorial Universidad Icesi. <https://doi.org/https://doi.org/10.35985/9789585147256>
- Dippenaar, A., Derendinger, B., Dolby, T., Beylis, N., Van Helden, P., Theron, G., Warren, R., & De Vos, M. (2021). Diagnostic accuracy of the FluoroType MTB and MTBDR VER 2.0 assays for the centralized high-throughput detection of Mycobacterium tuberculosis complex DNA and isoniazid and rifampicin resistance. *Clinical Microbiology and Infection*, *XXVII*(9), 1351.e1 - 1351.e4. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.04.022>
- Domínguez, J., Latorre, I., Molina-Moya, B., Lacoma, A., & Prat-Aymerich, C. (2017). Nuevos métodos diagnóstico rápido de la tuberculosis. *Medicina Respiratoria*, *X*(1), 37-45. <https://doi.org/https://www.neumologiaysalud.es/descargas/R10/R10-5.pdf>
- Falcón, D., Carrasquel, J., Viteri, K., Velasco, H., & Sánchez, L. (2023). Tuberculosis en el mundo y en el Ecuador, en la actualidad (2021). *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, *IV*(6), 658 – 673. <https://doi.org/https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1476>



- Gard, N., Ahmad, F., & Kar, S. (2022). Recent advances in loop-mediated isothermal amplification (LAMP) for rapid and efficient detection of pathogens . *Current Research in Microbial Sciences* , III. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100120>
- Huang, Y., Ai, L., Wang, X., Sun, Z., & Wang, F. (2022). Review and Updates on the Diagnosis of Tuberculosis. *Journal of Clinical Medicine* , XI(5826), 1-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jcm11195826>
- Hui-Jin, Y., Tae, Y., Gangmin, K., Hyang, J., On, K., Seungmo, K., Chang-Ki, K., Byung, J., Nam, Y., Hee, J., & Hee, J. (2023). Performance Evaluation of the BACTEC MGIT 960 System for Rifampim Drug-Susceptibility Testing of Mycobacterium tuberculosis Using the Current WHO Critical Concentration. *Journal of Clinical Microbiology*, LXI(1), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1128/jcm.01086-22>
- Husain, A., Kupz, A., & Kashyap, R. (2021). Control de la epidemia de tuberculosis resistente a los medicamentos en la India: desafíos e implicaciones. *Epidemiol Health*, XXXXIII(e2021022), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.4178/epih.e2021022>
- Kumar, R., Mistry, V., Dholaria, M., Rana, A., Devgon, I., Ali, I., Iqbal, J., Eldin, S., Mohammad, A., Bawazeer, S., Dutta, J., & Karnwal, A. (2023). Overcoming Mycobacterium tuberculosis Drug Resistance: Novel Medications and Repositioning Strategies. *ACS Omega*, VIII(36), 32244-32257. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02563>
- Kumari, P., Kumar, P., Kumar, R., & Parekh, D. (2020). Comparison of LJ Medium and BACTEC MGIT 960 Culture System for the Diagnosis of Tuberculosis. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, XIV(12), DC09-DC13. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2020/46890.14304>
- López, D., Castillo, D., Dorado, R., & Pacheco, R. (2021). Métodos moleculares para diagnóstico de niños con tuberculosis en países de Latinoamérica: revisión narrativa. In N. Ramírez, *Estudios de la tuberculosis desde la Sucursal del Cielo* (pp. 47-66). Universidad Santiago de Cali. <https://doi.org/https://doi.org/10.35985/9789585147256>
- Macero, C., Moreno, X., & Oliveira, D. (2022). Prueba Xpert® MTB/RIF para el diagnóstico de Tuberculosis en el Instituto Médico La Floresta. *Boletín Venezolano de Infectología*, XXXIII(1), 40-47. <https://doi.org/10.54868/BVI.2022.33.1.5>



- Mamani, S., & Camacho, M. (2024). Estudio comparativo del ensayo MODS con técnicas microbiológicas convencionales, para el diagnóstico de tuberculosis pulmonar en La Paz-Bolivia. *Revista Co-Ciencia*, *XII*(1), ISSN 2310-0265. <https://doi.org/https://doi.org/10.53287/eocj5653zq38x>
- Martínez-Saltos, F., Medina-Vaca, L., Velástegui-Aldás, M., & Sosa-Santana, C. (2025). Métodos para el diagnóstico microbiológico de la tuberculosis. *Revista Científica Arbitrada en Investigaciones de la Salud "Gestar"*, *VIII*(15), ISSN: 2737-6273. <https://doi.org/https://doi.org/10.46296/gt.v8i15.0211>
- Matteo, M., Latini, M., Martinovic, D., & Bottiglieri, M. (2025). Update of diagnostic methods in Tuberculosis (TB). *Revista Argentina de Microbiología*, *LVII*, 49-53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ram.2024.12.008>
- Meaza, A., Tesfaye, E., Mohamed, Z., Zerihun, B., Seid, G., Eshetu, K., & al., e. (2021). Diagnostic accuracy of Truenat Tuberculosis and Rifampicin-Resistance assays in Addis Ababa, Ethiopia. *Ethiopia. PLoS ONE*, *XVI*(12), e0261084. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261084>
- MINSA. (2022). *Manual de pruebas moleculares para el diagnóstico bacteriológico y de sensibilidad de la tuberculosis*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/3649865-906-2022-minsa>
- Mousavi-Sagharchi, S., Afrazeh, E., Seyyedien-Nikjeh, S., Meskini, M., Doroud, D., & Davar, S. (2024). New insight in molecular detection of Mycobacterium tuberculosis. *AMB Express*, *XIV*(74), 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13568-024-01730-3>
- Mugenyi, N., Ssewante, N., Baluku, J., Bongomin, F., Irene, M., Andama, A., & Byakika-Kibwika, P. (2024). Innovative laboratory methods for improved tuberculosis diagnosis and drug-susceptibility testing. *Front. Tuberc*, *I*(1295979), 01-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/ftubr.2023.1295979>
- Nadarajan, D., Hillemann, D., Kamara, R., Foray, L., Conteh, O., Merker, M., Niemann, S., Lau, J., Njoya, M., Kranzer, K., Somoskovi, A., & Maurer, F. (2021). Evaluación de los ensayos Roche



- cobas MTB y MTB-RIF/INH en muestras de Alemania y Sierra Leona. *Revista Clínica Microbiológica*, LIX(5), e02983-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1128/JCM.02983-20>
- Nadlal, L., Perumal, R., & Naidoo, K. (2022). Rapid Molecular Assays for the Diagnosis of Drug-Resistant Tuberculosis. *Infection and Drug Resistance*, XV, 4971–4984. <https://doi.org/https://doi.org/10.2147/IDR.S381643>
- Naidoo, K., Perumal, R., Ngema, S., Shunmugam, L., & Somboro, A. (2024). Rapid Diagnosis of Drug-Resistant Tuberculosis-Opportunities and Challenges. *Pathogens*, XIII(1), 27. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pathogens13010027>
- Nguyen, T. N., Anton-Le Berre, V., Bañuls, A.-L., & Nguyen, T. V. (2019). Molecular Diagnosis of Drug-Resistant Tuberculosis; A Literature Review. *Front. Microbiol*, X(794), 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00794>
- OMS. (2022). *Global Tuberculosis Report*. <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022>
- OMS. (2025). *La respuesta a la tuberculosis se recupera de la pandemia pero es necesario acelerar las actividades para cumplir las nuevas metas*. <https://www.who.int/es/news/item/07-11-2023-tuberculosis-response-recovering-from-pandemic-but--accelerated-efforts-needed-to-meet-new-targets>
- Palmero, D. (2024). Tuberculosis 2024: ¿hemos avanzado? *Revista del Toráx*, XXIV(38), 8-11. https://www.stnba.org.ar/images/revista/revista_38/revista38_pagina_8.pdf
- Peña, C. (2022). Tuberculosis latente: diagnóstico y tratamiento actual. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, XXXVIII(2), 123-130. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-73482022000300123>
- Poma, W., Jaramillo, J., Roca, R., & Borja, M. (2021). Infección por Mycobacterium tuberculosis. Diagnóstico y tratamiento. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, V(esp(1)), 82-90. [https://doi.org/10.26820/recimundo/5.\(esp.1\).nov.2021.82-90](https://doi.org/10.26820/recimundo/5.(esp.1).nov.2021.82-90)
- Rhastin, C., Borrell, S., & Gagneux, S. (2021). Evolución de la resistencia antimicrobiana en Mycobacterium tuberculosis dentro del huésped. *FEMS Microbiology Reviews*, XLV(4), fuaa071. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa071>



- Rodríguez-Duque, J. (2024). Tuberculosis: estado actual. *Revista Médica Clínica Las Condes*, XXXV(3), 169-177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2024.06.001>
- Rupasinghe, P., Graulus, P., Vereecken, J., Decroo, T., Ardizzoni, E., Hewison, C., Huerga, H., & al., e. (2022). Middlebrook 7h11 Reduces Invalid Results and Turnaround Time of Phenotypic Drug-Susceptibility Testing of M. Tuberculosis. *International Journal of Mycobacteriology*, XI(4), 407. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4103/ijmy.ijmy_159_22
- Saderi, L., Puci, M., Di Lorenzo, B., Centis, R., D'Ambrosio, L., Akkerman, O., Alffenaar, J.-W., Caminero, J., Chakaya, J., Denholm, J., Kurhasani, X., W.M. Ong, C., Rendon, A., Silva, D., & al., e. (2022). Rapid Diagnosis of XDR and Pre-XDR TB: A Systematic Review of Available Tools. *Archivos de Bronconeumología*(58), 809-820. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arbres.2022.07.012>
- Sánchez, Laura; Guillén, Valeria; Pérez, Juan; Rodríguez, Pablo; Caprile, Claudia; Cartagena, Katherine. (2024). *Alerta*, VII(2), 184-190. <https://doi.org/DOI:10.5377/alerta.v7i2.17129>
- Schwab, T., Perrig, L., Goller, P., Guebely, F., Philippe, A., Minder, B., Gunther, G., Efthimiou, O., Vally, S., Egger, M., & Fenner, L. (2024). Secuenciación dirigida de próxima generación para diagnosticar la tuberculosis resistente a los fármacos: una revisión sistemática y un metanálisis. *The Lancet Infectious Diseases*, XXIV(10), 1162-1176. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(24\)00263-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1473-3099(24)00263-9)
- Scott, L., David, A., Govender, L., Furrer, J., Rakgokong, M., Waja, Z., Martinson, N., Eisenberg, G., Marlowe, E., & Stevens, W. (2020). Performance of the Roche cobas MTB Assay for the Molecular Diagnosis of Pulmonary Tuberculosis in a High HIV Burden Setting. *The Journal of Molecular Diagnostics*, XXII(10), 1225-1237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2020.06.018>
- Símboli, N., & González, C. (2022). Diagnóstico bacteriológico de la tuberculosis. Estado actual del conocimiento. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, XXII(2), 249-259. <https://doi.org/https://doi.org/10.56538/NNBE9983>



- Singh, A., Zhao, X., & Drlina, K. (2022). Heterorresistencia a las fluoroquinolonas, tolerancia a los antimicrobianos y aumento de la letalidad. *Frente. Cell. Infect. Microbiol.*, *XII*(938032), 01-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.938032>
- Sravanthi, K., Sailaja, K., Paul, S., Nihal, N., Salunkhe, S., & Mane, S. (2024). Robert Koch: del ántrax a la tuberculosis: un viaje por la ciencia médica. *Cureus*, *XVI*(11), e72955. <https://doi.org/10.7759/cureus.72955>
- Tassinari, E., Ferreira, G., Pegoraro, N., & Nogueira, K. (2022). Métodos diagnósticos para tuberculose: uma revisao integrativa. *BioSCIENCE*, *LXXX*(S1), 28-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.55684/80.S1.8>
- Tawfick, M., Badawy, M., Taleb, M., & El Menofy, N. (2023). Tuberculosis Diagnosis and Detection of Drug Resistance: A Comprehensive Updated Review. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, *XVII*(4), 1978-2009. <https://doi.org/https://doi.org/10.22207/JPAM.17.4.56>
- Tayal, D., Sethi, P., & Jain, P. (2024). Point-of-care test for tuberculosis: a boon in diagnosis. *Monaldi Archives for Chest Disease*, *CCCXXII*(7297), 1285-1288. <https://doi.org/10.1136/bmj.322.7297.1285>
- Tomasi, F., & Rubi, E. (2022). Fracasando hacia arriba: estrategias basadas en la genética para mejorar el descubrimiento y la eficacia de los antibióticos en Mycobacterium tuberculosis. *Frente. Cell. Infect. Microbiol.*, *XII*(01-08), 932556. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.932556>
- Ulası, A., Nwachukwu, N., Onyeagba, R., Umeham, S., & Amadi, A. (2023). Utility of the BACTEC MGIT 960 TB system for recovery of mycobacteria. *Yemen Journal of Medicine*, *II*(1), 30-32. <https://doi.org/10.32677/yjm.v2i1.3877>
- Xiong, X.-S., Zhang, X.-D., Yan, J.-W., Huang, T.-T., Liu, Z.-Z., Li, Z. K., Wang, L., & Fen, L. (2024). Identificación de la resistencia de Mycobacterium tuberculosis a los antibióticos habituales: una descripción general de los métodos y técnicas actuales. *Infection and Drug Resistance*, *XVII*, 1491-1506. <https://doi.org/https://doi.org/10.2147/IDR.S457308>



- Yadav, R., Arora, J., & Bhalla, M. (2020). Laboratory Diagnosis of Tuberculosis: Conventional and Newer Methods. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, IX(10), ISSN: 2319-7064 . <https://doi.org/10.21275/SR20930230327>
- Yadav, R., Bhalla, M., Kumar, G., Sah, G., Kumar, R., & Singhal, R. (2022). Diagnostic Utility of GenoType MTBDRsl assay for the Detection of Moxifloxacin-Resistant Mycobacterium tuberculosis, as Compared to Phenotypic Method and Whole-Genome Sequencing . *Int J Mycobacteriol*, 11, 183-189. https://doi.org/10.4103/ijmy.ijmy_70_22
- Yusoof, K., García, J., Schami, A., Garcia-Vilanova, A., Kelley, H., Wang, S.-H., Rendon, A., Restrepo, B., Yotebieng, M., & Torrelles, J. (2022). Tuberculosis Phenotypic and Genotypic Drug Susceptibility Testing and Immunodiagnostics: A Review. *Front. Immunol.*, XIII, 1-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.870768>
- Zaporojan, N., Negrean, R., Hodisan, R., Zaporojan, C., Csep, A., & Zaha, D. (2024). Evolution of Laboratory Diagnosis of Tuberculosis. *Clinics and Practice*, XIV, 388-416. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/clinpract14020030>
- Zhang, F., Zhang, F., Li, L., & Pang, Y. (2024). Utilización clínica de la inteligencia artificial para predecir la eficacia terapéutica en la tuberculosis pulmonar. *Revista de Infecciones y Salud Pública*, XVII(4), 632-641. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jiph.2024.02.012>

