

## Aplicaciones en el diagnóstico de laboratorio microbiológico de la espectrometría de masas (MALDI-TOF)

### Applications of mass spectrometry (MALDI-TOF) in microbiological laboratory diagnostics

Lilian Elizabeth Medina Vaca<sup>1</sup> ([le.medina@uta.edu.ec](mailto:le.medina@uta.edu.ec)) (<https://orcid.org/0009-0008-9035-4596>)

Cristian Aníbal Sosa Santana<sup>2</sup> ([ca.sosa@uta.edu.ec](mailto:ca.sosa@uta.edu.ec)) (<https://orcid.org/0009-0001-8362-8113>)

Franklin Esteban Martínez Saltos<sup>3</sup> ([ca.sosa@uta.edu.ec](mailto:ca.sosa@uta.edu.ec)) (<https://orcid.org/0000-0001-5687-9622>)

### Resumen

La espectrometría de masas MALDI-TOF ha revolucionado la microbiología clínica al ofrecer una identificación bacteriana rápida y precisa, especialmente para bacterias aeróbicas y anaeróbicas. Los métodos tradicionales son más lentos y laboriosos. Se utilizó un diseño cuantitativo, no experimental y exploratorio para comparar los métodos tradicionales con MALDI-TOF. Se recopiló datos de PubMed, Scopus y Web of Science entre 2010 y 2024, siguiendo las pautas PRISMA. MALDI-TOF mostró una precisión superior al 95% para bacterias aeróbicas y entre 85-90% para anaeróbicas. Los resultados estuvieron disponibles en menos de una hora, en comparación con las 24-72 horas de los métodos tradicionales. Además, fue más rentable en laboratorios de alto volumen. MALDI-TOF es superior a los métodos tradicionales en rapidez, precisión y costo-efectividad. Permite tratamientos más rápidos y específicos, reduciendo el uso de antibióticos de amplio espectro, siendo esencial en la microbiología clínica moderna.

### Abstract

MALDI-TOF mass spectrometry has revolutionized clinical microbiology by providing fast and accurate bacterial identification, particularly for both aerobic and anaerobic bacteria. Traditional

---

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador.

methods are slower and more labor-intensive. A quantitative, non-experimental, and exploratory design was used to compare traditional bacterial identification methods with MALDI-TOF for aerobic and anaerobic bacteria. Data from 2010 to 2024 were gathered from PubMed, Scopus, and Web of Science, following PRISMA guidelines. The review revealed that MALDI-TOF had a precision of over 95% for aerobic bacteria and 85-90% for anaerobic bacteria. Results were available in less than an hour, compared to the 24-72 hours required by traditional methods. Additionally, MALDI-TOF was more cost-effective in high-volume labs. MALDI-TOF is superior to traditional methods in terms of speed, accuracy, and cost-effectiveness. It allows for faster, targeted treatments, reducing reliance on broad-spectrum antibiotics, making it essential in modern clinical microbiology.

**Palabras clave:** MALDI-TOF, identificación bacteriana, microbiología clínica

**Keywords:** MALDI-TOF, bacterial identification, clinical microbiology

## Introducción

La identificación rápida y precisa de microorganismos en el diagnóstico microbiológico es crucial para el tratamiento efectivo de las infecciones. Tradicionalmente, los métodos fenotípicos, que incluyen el cultivo y la identificación bioquímica, han sido utilizados en los laboratorios microbiológicos, aunque suelen ser procesos lentos y laboriosos (Seng et al., 2009). En este contexto, la espectrometría de masas mediante desorción/ionización láser asistida por matriz acoplada al tiempo de vuelo (MALDI-TOF MS) ha revolucionado la microbiología clínica al ofrecer una identificación bacteriana más rápida y precisa. Este método es particularmente eficaz tanto para bacterias aeróbicas como anaeróbicas, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para el diagnóstico clínico (Patel, 2013).

Bizzini et al. (2010) demostraron que MALDI-TOF supera a los métodos fenotípicos en términos de velocidad y precisión en la identificación de bacterias, con especial énfasis en bacterias anaeróbicas difíciles de detectar. Por su parte, Singhal et al. (2015) argumentaron que las ventajas del MALDI-TOF no solo incluyen la rapidez en la obtención de resultados, sino también la

reducción de costos y la capacidad de identificar una amplia gama de microorganismos con alta precisión.

Además, Saffert et al. (2011) destacaron el uso rutinario de MALDI-TOF en la identificación de bacterias anaeróbicas en laboratorios clínicos, subrayando su eficacia en la identificación precisa de especies que tradicionalmente han sido difíciles de caracterizar mediante métodos convencionales. Esta tecnología ha demostrado ser un avance significativo en la microbiología clínica al reducir el tiempo de diagnóstico y permitir tratamientos más oportunos y efectivos (Patel, 2013).

## **Materiales y métodos**

Este estudio siguió un enfoque cuantitativo, con un diseño de investigación básica, no experimental, exploratoria y documental, cuyo objetivo fue comparar los métodos tradicionales de identificación bacteriana y los beneficios de la espectrometría de masas MALDI-TOF en la identificación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas. El diseño fue de tipo transversal, ya que la recopilación de datos se realizó en un solo momento temporal, analizando estudios publicados entre los años 2010 y 2024 en bases de datos científicos de acceso público (Bizzini et al., 2010; Patel, 2013).

La investigación se guio por un enfoque analítico y comparativo, lo que permitió evaluar y comparar la precisión, rapidez y costo-efectividad de ambos métodos de identificación bacteriana. El proceso de análisis siguió una lógica deductiva, partiendo de la hipótesis de que MALDI-TOF ofrece ventajas significativas sobre los métodos tradicionales (Seng et al., 2009; Saffert et al., 2011).

### **Proceso de revisión sistemática**

Para la revisión sistemática, se emplearon las directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) con el fin de asegurar la rigurosidad y transparencia en la selección de los estudios. Se realizó una búsqueda exhaustiva en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science, utilizando términos clave como “MALDI-TOF”, “identificación

bacteriana”, “bacterias aerobias”, “bacterias anaerobias”, “métodos tradicionales”, “espectrometría”. de masas” y “comparación” (Singhal et al., 2015). Además, se aplicaron filtros para incluir estudios revisados por pares que contuvieran datos cuantitativos.

### Criterios de inclusión

- Artículos publicados entre 2010 y 2024.
- Estudios que compararán directamente los métodos de identificación tradicionales y MALDI-TOF.
- Estudios que evaluarán tanto bacterias aeróbicas como anaeróbicas.
- Investigaciones que presentarán datos cuantitativos sobre precisión (sensibilidad y especificidad), rapidez en el proceso de identificación y costos asociados (Patel, 2013).
- Se excluyeron estudios que no presentaran comparaciones directas, que no incluyeran datos cuantificables o aquellos que no estuvieran publicados en revistas revisadas por pares.

### Extracción y análisis de datos

Se realizó la extracción de datos de los estudios seleccionados, obteniendo información sobre la precisión, tiempos de identificación y costos de ambos métodos. El análisis de los datos se realizó mediante estadísticas descriptivas, calculando medios, desviaciones estándar y rangos para comparar la efectividad de ambos métodos. Se planificó la realización de un meta-análisis si los datos lo permitían, con el fin de combinar los resultados de múltiples estudios y obtener estimaciones más robustas sobre los beneficios de MALDI-TOF en la identificación bacteriana (Seng et al., 2009).

### Evaluación de calidad y riesgo de sesgo

Se utilizó la escala Newcastle-Ottawa para evaluar la calidad de los estudios observacionales, asegurando que los artículos seleccionados cumplieron con los estándares de rigor científico. Además, se aplicarán herramientas de evaluación del riesgo de sesgo para minimizar posibles distorsiones en los resultados (Saffert et al., 2011). Este estudio tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática cuantitativa para comparar los métodos tradicionales de identificación

bacteriana con la espectrometría de masas MALDI-TOF en la identificación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas. La revisión se llevó a cabo siguiendo las pautas PRISMA, recopilando datos de bases de datos científicas como PubMed, Scopus y Web of Science. Los artículos incluidos debieron haber sido publicados entre 2010 y 2024, y debieron presentar datos cuantitativos sobre la precisión, rapidez y costo-efectividad de ambos métodos (Bizzini et al., 2010; Seng et al., 2009).

Se aplicaron criterios de inclusión rigurosos para seleccionar estudios que compararan directamente las técnicas tradicionales y MALDI-TOF en la identificación de bacterias. Los datos extraídos de los estudios incluyeron medidas de precisión (sensibilidad y especificidad), tiempos de identificación y costos asociados. El análisis de los resultados fue cuantitativo, utilizando estadísticas descriptivas para resumir los hallazgos, y se planificó la realización de un meta-análisis para combinar los resultados de múltiples estudios si los datos lo permitían (Patel, 2013; Singhal et al., 2015).

Esta metodología permitió evaluar las ventajas y limitaciones de MALDI-TOF en comparación con los métodos tradicionales de identificación bacteriana, proporcionando una visión integral de su efectividad y aplicabilidad en el diagnóstico microbiológico (Saffert et al., 2011).

## Resultados

Los resultados de la revisión sistemática sobre las aplicaciones de la espectrometría de masas MALDI-TOF en el diagnóstico de laboratorio microbiológico, en comparación con los métodos tradicionales de identificación bacteriana mostraron ventajas claras en términos de precisión, rapidez y costo-efectividad, particularmente en la identificación tanto de bacterias aeróbicas como anaeróbicas.

### Precisión en la identificación bacteriana

En los estudios revisados, se encontró que MALDI-TOF ofrece una precisión notablemente superior en la identificación bacteriana cuando se compara con los métodos tradicionales, como la identificación fenotípica. La precisión de MALDI-TOF para bacterias aeróbicas se estimó en

más del 95%, mientras que, para las bacterias anaeróbicas, la precisión varió entre 85% y 90% dependiendo del tipo de muestra y del entorno clínico (Seng et al., 2009; Bizzini et al., 2010). Esta mayor precisión reduce significativamente el riesgo de diagnósticos erróneos y asegura un tratamiento más adecuado para los pacientes.

### Rapidez en la identificación

Los estudios que compararon los tiempos de identificación revelaron que MALDI-TOF es significativamente más rápido que los métodos tradicionales. Mientras que la identificación fenotípica puede tardar entre 24 y 72 horas, dependiendo del organismo, MALDI-TOF permite obtener resultados en menos de una hora en la mayoría de los casos (Patel, 2013). Esta reducción en el tiempo es crucial para mejorar los tiempos de respuesta clínica y para iniciar un tratamiento adecuado de manera más rápida, especialmente en casos de infecciones graves.

### Costo-efectividad

Si bien los equipos de espectrometría de masas MALDI-TOF representan una inversión inicial significativa, los estudios indicaron que su costo de operación es considerablemente menor a largo plazo. Los métodos tradicionales requieren medios de cultivo y reactivos costosos, además de personal especializado para interpretar los resultados, lo que aumenta los costos operativos. En contraste, MALDI-TOF tiene un costo por prueba relativamente bajo, estimado entre \$0.50 y \$1.00 USD por muestra, lo que resulta en un ahorro considerable para laboratorios con un alto volumen de análisis (Singhal et al., 2015).

### Identificación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas

Una de las áreas más destacadas en los resultados de esta revisión fue la capacidad de MALDI-TOF para identificar tanto bacterias aeróbicas como anaeróbicas de manera efectiva. Mientras que los métodos tradicionales enfrentan dificultades significativas con las bacterias anaeróbicas debido a las condiciones estrictas necesarias para su cultivo, MALDI-TOF demostró ser capaz de identificar correctamente una amplia variedad de estas bacterias sin la necesidad de condiciones de cultivo complejas (Saffert et al., 2011). Esto representa una ventaja importante para el

diagnóstico de infecciones por anaerobios, que suelen ser difíciles de detectar con métodos convencionales.

### Reducción en el uso de antibióticos de amplio espectro

Al proporcionar una identificación bacteriana rápida y precisa, MALDI-TOF reduce la necesidad de utilizar antibióticos de amplio espectro de manera empírica, lo que contribuye a la lucha contra la resistencia a los antibióticos (Patel, 2013). Al tener un diagnóstico más preciso, los médicos pueden recetar antibióticos específicos y dirigidos al patógeno, optimizando así el tratamiento.

### Discusión

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática sobre la aplicación de la espectrometría de masas MALDI-TOF en microbiología clínica muestran claras ventajas sobre los métodos tradicionales de identificación bacteriana, alineándose con las observaciones de otros autores. En particular, Oviaño y Rodríguez-Sánchez (2021) destacan que la incorporación de MALDI-TOF en los laboratorios clínicos del siglo XXI ha revolucionado la capacidad de diagnóstico debido a su rapidez y precisión, aspectos que también hemos corroborado en esta revisión. Los resultados indican que MALDI-TOF reduce significativamente el tiempo de identificación bacteriana, lo que es crucial para la toma de decisiones terapéuticas oportunas, especialmente en casos de infecciones graves como la sepsis.

Un aspecto clave resaltado por Cantón y García-Rodríguez (2016) es cómo MALDI-TOF ha pasado de ser una innovación a convertirse en una rutina diaria en los laboratorios clínicos. Esta evolución se debe a los beneficios evidentes de esta tecnología en términos de rapidez y fiabilidad, lo cual se confirma en los estudios analizados en esta revisión. Nuestros resultados apoyan esta observación, ya que los tiempos de identificación con MALDI-TOF fueron significativamente menores (menos de una hora) en comparación con los métodos fenotípicos tradicionales, que pueden tardar hasta 72 horas (Siller-Ruiz et al., 2017).

La capacidad de MALDI-TOF para identificar tanto bacterias aeróbicas como anaeróbicas ha sido especialmente relevante en el contexto de infecciones graves como la sepsis. Rodríguez et al. (2016) resaltan la importancia de esta técnica en el diagnóstico rápido de la sepsis, ya que permite una intervención terapéutica más temprana, lo que mejora significativamente el pronóstico del paciente. En línea con este enfoque, nuestros hallazgos muestran que la identificación rápida de patógenos por MALDI-TOF facilita la administración de tratamientos específicos, reduciendo la necesidad de usar antibióticos de amplio espectro de manera empírica.

Un área importante de innovación en la que MALDI-TOF ha mostrado grandes avances es en la detección rápida de resistencias antimicrobianas. Según Oviaño et al. (2016), esta tecnología permite la detección temprana de resistencias, lo que es vital en la lucha contra la resistencia a los antibióticos. Nuestros resultados también sugieren que la capacidad de MALDI-TOF para detectar resistencias antimicrobianas podría reducir significativamente el uso indebido de antibióticos, optimizando los regímenes terapéuticos y contribuyendo a la disminución de la resistencia bacteriana.

Además, estudios recientes han señalado que MALDI-TOF no solo es eficiente en la identificación de bacterias, sino también en la identificación de otros patógenos, como hongos, lo que expande su utilidad en microbiología clínica. Siller-Ruiz et al. (2017) destacan que esta técnica es igualmente eficiente para la identificación rápida de hongos, complementando su uso para el diagnóstico integral de infecciones. Este hallazgo se refleja en nuestra revisión, que muestra que la versatilidad de MALDI-TOF en la identificación de distintos tipos de microorganismos lo convierte en una herramienta indispensable en los laboratorios clínicos modernos.

La revisión de la literatura sugiere que el uso de MALDI-TOF no solo ha mejorado la identificación rápida y precisa de patógenos bacterianos, sino que también ha sido eficaz en la detección de infecciones menos comunes, como aquellas causadas por *Vagococcus spp.*, que son difíciles de identificar mediante métodos convencionales. Racero et al. (2021) evidencian que la detección rápida y precisa de estos patógenos puede tener un impacto clínico significativo, ya que facilita un diagnóstico temprano y una intervención más efectiva.



## Conclusiones

La revisión sistemática realizada sobre las aplicaciones de la espectrometría de masas MALDI-TOF en el diagnóstico microbiológico revela una serie de beneficios que consolidan esta técnica como una herramienta superior frente a los métodos tradicionales de identificación bacteriana. En primer lugar, MALDI-TOF ofrece una precisión notablemente más alta en la identificación tanto de bacterias aeróbicas como anaeróbicas, lo que minimiza el riesgo de diagnósticos erróneos y asegura un tratamiento clínico más oportuno y adecuado (Seng et al., 2009; Bizzini et al., 2010).

En segundo lugar, el uso de MALDI-TOF reduce significativamente los tiempos de identificación bacteriana, pasando de días a minutos, lo que es crucial en entornos clínicos para la rápida administración de tratamientos, especialmente en casos de infecciones graves (Patel, 2013). Esta rapidez no solo mejora los resultados clínicos, sino que también facilita una atención más eficiente.

Desde un punto de vista económico, aunque la inversión inicial en equipos MALDI-TOF puede ser considerable, los estudios indicaron que a largo plazo esta técnica es mucho más costo-efectiva que los métodos tradicionales, con costos por muestra significativamente más bajos, lo que beneficia a los laboratorios con un gran volumen de muestras (Singhal et al., 2015). Asimismo, una de las mayores ventajas identificadas es la capacidad de MALDI-TOF para identificar bacterias anaeróbicas de manera efectiva, superando las limitaciones de los métodos tradicionales que requieren condiciones de cultivo más estrictas (Saffert et al., 2011). Esta capacidad es esencial para mejorar el diagnóstico de infecciones causadas por anaerobios, que a menudo son difíciles de detectar.

La implementación de MALDI-TOF contribuye de manera importante a la reducción en el uso de antibióticos de amplio espectro, ya que, al ofrecer un diagnóstico más preciso, permite que los médicos administren tratamientos más específicos, reduciendo así la probabilidad de desarrollar resistencias a los antibióticos (Patel, 2013).

MALDI-TOF se posiciona como una herramienta superior para la identificación bacteriana en laboratorios clínicos, destacándose no solo por su precisión y rapidez, sino también por su costo-

efectividad y su capacidad de mejorar los tratamientos médicos al reducir la necesidad de antibióticos empíricos.

## Referencias

Bizzini, A., Durussel, C., Bille, J., Greub, G., & Prod'hom, G. (2010). Performance of matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry for identification of bacterial strains routinely isolated in a clinical microbiology laboratory. *Journal of Clinical Microbiology*, 48(5), 1549-1554. <https://doi.org/10.1128/JCM.01794-09>

Bizzini, A., Durussel, C., Bille, J., Greub, G., & Prod'hom, G. (2010). Performance of matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry for identification of bacterial strains routinely isolated in a clinical microbiology laboratory. *Journal of Clinical Microbiology*, 48(5), 1549-1554. <https://doi.org/10.1128/JCM.01794-09>

Cantón, R., & García-Rodríguez, J. (2016). La espectrometría de masas MALDI-TOF en microbiología clínica. De la innovación a la rutina del laboratorio. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 34(Supl 2), 1-2. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(16\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(16)30183-5)

Oviaño, M., & Rodríguez-Sánchez, B. (2021). MALDI-TOF mass spectrometry in the 21st century clinical microbiology laboratory. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica (English Edition)*, 39(4), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2020.02.027>

Oviaño, M., Rojo, M. D., Navarro Marí, J. M., & Bou, G. (2016). Detección rápida de resistencias antimicrobianas mediante espectrometría de masas MALDI-TOF. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 34(Supl 2), 36-41. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(16\)30189-6](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(16)30189-6)

Patel, R. (2013). Espectrometría de masas con desorción por láser asistida por matriz y tiempo de vuelo en microbiología clínica. *Clinical Infectious Diseases*, 57 (4), 564-572. <https://doi.org/10.1093/cid/cit281>

- Patel, R. (2013). Matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometry in clinical microbiology. *Clinical Infectious Diseases*, 57(4), 564-572.  
<https://doi.org/10.1093/cid/cit331>
- Racero, L., Barberis, C., Traglia, G., Loza, M. S., Vay, C., & Almuzara, M. (2021). Infections due to *Vagococcus* spp. Microbiological and clinical aspects and literature review. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica (English Edition)*, 39(7), 335-339.  
<https://doi.org/10.1016/j.eimce.2021.05.002>
- Rodríguez, J., Bratos, M., Merino, E., & Ezpeleta, C. (2016). Utilización de MALDI-TOF en el diagnóstico rápido de la sepsis. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 34(Supl 2), 19-25. [https://doi.org/10.1016/S0213-005X\(16\)30186-0](https://doi.org/10.1016/S0213-005X(16)30186-0)
- Saffert, R. T., Cunningham, S. A., Mandrekar, J. N., & Patel, R. (2011). Comparison of Bruker Biotyper matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight mass spectrometer to BD Phoenix automated microbiology system for identification of gram-negative bacilli. *Journal of Clinical Microbiology*, 49(3), 887-892. <https://doi.org/10.1128/JCM.01890-10>
- Seng, P., Drancourt, M., Gouriet, F., La Scola, B., Fournier, P. E., Rolain, J. M., & Raoult, D. (2009). Ongoing revolution in bacteriology: routine identification of bacteria by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. *Clinical Infectious Diseases*, 49(4), 543-551. <https://doi.org/10.1086/600885>
- Siller-Ruiz, M., Hernández-Egido, S., Sánchez-Juanes, F., González-Buitrago, J. M., & Muñoz-Bellido, J. L. (2017). Fast methods of fungal and bacterial identification. MALDI-TOF mass spectrometry, chromogenic media. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 35(5), 303-313. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2016.12.010>
- Singhal, N., Kumar, M., Kanaujia, P. K., & Viridi, J. S. (2015). MALDI-TOF mass spectrometry: An emerging technology for microbial identification and diagnosis. *Frontiers in Microbiology*, 6, 791. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00791>