

Primera edición

MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERÍA QUÍMICA



Ofelia Granda • Juliana Criollo • Luisa González
Mayra Calva • Ana Guamán

MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERIA QUÍMICA

MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERIA QUÍMICA

Ofelia Alexandra Granda Morocho

Juliana Lisbeth Criollo Feijoo

Luisa Gabriela González González

Mayra Isabel Calva Luzón

Ana Lucia Guamán Guamán



Editorial Hambatu Sapiens
Febrero 2026

Copyright © Editorial Hambatu Sapiens

Copyright del texto © 2026 de Autores

International Publication Technical Data

Title: MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERIA QUÍMICA.

Publisher: Editorial Hambatu Sapiens

Authors: Ofelia Alexandra Granda Morocho; Juliana Lisbeth Criollo Feijoo; Luisa Gabriela González González; Mayra Isabel Calva Luzón; Ana Lucia Guamán Guamán.

Format: PDF

Pages: 121 pág.

Size: A4 21x29.7cm

System Requirements: Adobe Acrobat Reader

Access Mode: World Wide Web

ISBN: 978-9907-805-02-4

DOI: <https://doi.org/10.63862/ehs-978-9907-805-02-4>

Primera edición, año 2026. Publicado por Editorial Hambatu Sapiens.

El contenido de esta obra, así como la veracidad y precisión de los datos presentados, son responsabilidad exclusiva de sus autores. Se permite la descarga y distribución libre del libro, siempre que se reconozca debidamente la autoría y no se modifique ni se utilice con fines comerciales. Queda prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización previa. Uso exclusivo para fines educativos y de divulgación.

® MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERIA QUÍMICA.

©2026. Ofelia Alexandra Granda Morocho; Juliana Lisbeth Criollo Feijoo; Luisa Gabriela González González; Mayra Isabel Calva Luzón; Ana Lucia Guamán Guamán.

Licencia y derechos de uso

MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERIA QUÍMICA, está licenciada bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Para ver una copia de esta licencia, visite:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Queda prohibida su reproducción total o parcial sin autorización previa. Uso exclusivo para fines educativos y de divulgación académica.

Editorial Hambatu Sapiens

Primera edición

Ambato – Ecuador

ISBN 978-9907-805-02-4

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por habernos dado la fortaleza, sabiduría y salud para finalizar este libro. Su dirección y amparo han sido determinantes en cada etapa, ayudándonos a no desfallecer ante las dificultades y a seguir adelante con esperanza y firmeza.

Agradecemos a la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Las dos instituciones han sido fundamentales en el fomento de un ambiente para la investigación y la excelencia académica. El apoyo institucional y los recursos otorgados han contribuido a que este trabajo se desarrolle y continuemos creciendo profesionalmente y contribuyendo con calidad a la ciencia y la educación.

A nuestros estudiantes, queremos agradecerles con el corazón en la mano. Su curiosidad, interés y ganas de aprender siempre me inspiran. Ellos son los que promueven la mejora continua de los procesos de enseñanza-aprendizaje, exhortándonos a innovar y mejorar nuestras prácticas para el logro de una formación integral.

Por último, pero no menos importante, gracias a nuestras familias por el apoyo incondicional. Su paciencia, comprensión, apoyo incondicional en cada fase de este proyecto nos han mantenido tranquilos y motivados para superar obstáculos y lograr nuestros objetivos. A ellos les debo mucho de esto; su amor y confianza fueron un impulso en todo momento.

Ofelia Alexandra Granda Morocho

Juliana Lisbeth Criollo Feijoo

Luisa Gabriela González González

Mayra Isabel Calva Luzón

Ana Lucia Guamán Guamán

Prólogo

La ciencia y la tecnología han llegado a conocer que los microorganismos no solo son agentes causantes de enfermedades, sino que tienen un papel en los procesos industriales, ambientales y alimentarios. En la Ingeniería Química, la microbiología es una ciencia aplicada en el diseño, control y optimización de procesos biotecnológicos, contribuyendo al desarrollo sostenible y la innovación industrial.

Este libro, Microbiología General Aplicada a la Ingeniería Química, surge como una necesidad de material bibliográfico ajustado a la realidad nacional, que integre teoría y práctica y que desarrolle el pensamiento crítico y la aplicación del conocimiento científico. Cada capítulo está estructurado de manera pedagógica y experimental, no para informar, sino para despertar la curiosidad y la capacidad de análisis en el estudiante.

El libro trata temas importantes como la morfología, fisiología y taxonomía de los microorganismos, su papel en los ecosistemas y su uso en la industria alimentaria, farmacéutica y ambiental. Además, incorpora prácticas de laboratorio actualizadas que fortalecen el aprendizaje teórico a través de la experiencia, desarrollando habilidades técnicas y metodológicas esenciales para la práctica profesional.

Este libro es el esfuerzo de profesores para contribuir al fortalecimiento académico de la Ingeniería Química integrando la ciencia con la práctica. Espera que este libro sea una guía confiable e inspiradora para aquellos que se aventuran en el campo de la microbiología aplicada.

Índice

Agradecimiento	v
Prólogo.....	vi
Introducción	1
Capítulo I	3
1. Principios fundamentales de la microbiología	3
1.1 Definición de microbiología general	3
1.2 Microorganismos en la ingeniería química	4
1.2.1 Producción de bioproductos usando métodos microbiológicos	5
1.2.2 Tratamiento de residuos y aguas residuales	5
1.2.3 Biocatálisis y biotransformación	6
1.2.4 Bioplásticos y degradación de plásticos.....	7
1.2.5 Biocombustibles	8
1.3 Historia y evolución de la microbiología.....	9
1.3.1 Los primeros descubrimientos.....	9
1.3.2 El Siglo XIX: Revolución en la microbiología	10
1.3.3 El Siglo XX: La expansión de la microbiología.....	11
1.4 La Microbiología moderna y su aplicación en la Ingeniería Química.....	11
1.4.1 Producción de biohidrógeno.....	11
1.4.2 Producción de biocombustibles avanzados y químicos	12
1.4.3 Tratamiento biológico de aguas residuales	12
1.4.4 Ingeniería de enzimas para la industria.....	12
1.4.5 Producción de fármacos y productos de alto valor	12
1.4.6 Perspectivas futuras	12
1.5 Reconocimiento del laboratorio de microbiología	13
1.5.1 Normas de bioseguridad en laboratorio de microbiología	13
1.5.2 Principios y características en laboratorios de microbiología	14
1.5.3 Niveles de bioseguridad en laboratorio de microbiología	15
1.5.4 Medidas de bioseguridad.....	15
1.5.5 Importancia en la ingeniería química.....	16
1.6 Procedimientos de seguridad en el laboratorio de microbiología	16
1.6.1 Colocación del equipo de protección personal (EPP).....	16
1.6.2 Preparación y organización del área de trabajo	17

1.6.3 Manipulación segura de muestras y reactivos	17
1.6.4 Gestión y disposición de residuos	18
1.6.5 Limpieza final y retiro de EPP	18
1.6.6 Capacitación y simulacros regulares.....	18
1.7 Equipos y materiales básicos del laboratorio de microbiología	18
1.7.1 Microscopio.....	18
1.7.3 Autoclaves y esterilización.....	22
1.7.4 Cabinas de seguridad biológica	23
1.7.5 Material de vidrio usados en el laboratorio	24
1.8 Microscopía y tinciones	31
1.8.1 Tipos de microscopía	32
1.9 Morfología y clasificación de microorganismos	37
1.9.1 Bacterias	37
1.9.2 Hongos	38
1.9.3 Protistas.....	39
1.9.4 Virus (visión general).....	40
Capítulo II.	41
2. Toma de muestras e identificación de microorganismos	41
2.1 Principios de muestreo microbiológico	41
2.1.1 Muestreo en alimentos	42
2.1.2 Muestreo en ambientes industriales.....	43
2.1.3 Muestreo en agua.....	44
2.2 Nutrición bacteriana y condiciones de crecimiento.....	45
2.2.1 Nutrición de las bacterias	45
2.2.2. Factores que favorecen el crecimiento bacteriano.....	46
2.2.3 Nutrición y condiciones de desarrollo y su importancia en la ingeniería química.....	48
2.3 Reconocimiento e identificación de bacterias	48
2.3.1 Identificación inicial de bacterias	48
2.3.2 Identificación bacteriana: métodos fenotípicos.	49
2.3.3 Identificación bacteriana: métodos moleculares.....	50
2.3.4 ¿Cómo seleccionar el método de identificación adecuado para la aplicación?.....	51
2.3.5 Limitaciones y precauciones en el uso de estos métodos.	52
2.4 Microorganismos indicadores	52
2.4.1 Definición y función de los microorganismos indicadores.....	52
2.4.2 Tipos de indicadores y su aplicación industrial.....	53

2.4.3 Criterios de selección del microorganismo indicador.....	54
2.4.4 Interpretación de resultados y su relevancia para la ingeniería química	54
2.4.5 Limitaciones y buenas prácticas en el uso de microorganismos indicadores	55
2.5 Coliformes fecales y totales	55
2.5.1 Definición y diferencias	55
2.5.2 Relevancia en ingeniería química.....	56
2.5.3 Métodos de detección y cuantificación.....	56
2.5.4 Interpretación de resultados y umbrales.....	57
2.5.5 Limitaciones y buenas prácticas	58
2.6 Salmonella: detección y control	59
2.6.1 Características relevantes de Salmonella	59
2.6.2 Métodos de detección de Salmonella.....	59
2.6.3 Control industrial de Salmonella	60
2.6.4 Aplicaciones en ingeniería química	60
2.6.5 Limitaciones y buenas prácticas	61
2.7 Mohos y levaduras: identificación y aplicaciones.....	61
2.7.1 Identificación de levaduras.....	61
2.7.2 Identificación de mohos	62
2.7.3 Aplicaciones en ingeniería química	63
2.7.4 Buenas prácticas y consideraciones	64
Capítulo III.....	65
3. Medios de Cultivo	65
3.1 Preparación de medios de cultivo	66
3.1.1 Medios de cultivo	66
3.1.2 Nutrientes esenciales de los medios de cultivo	67
3.2 Tipos de medios	70
3.2.1 Medios selectivos.....	70
3.2.2 Medios diferenciales	71
3.2.3 Medios enriquecidos	72
3.3 Preparación, esterilización y vertido.....	72
3.3.1 Preparación de un medio de cultivo sólido	73
3.3.2 Preparación de un medio de cultivo Líquido	74
3.4 Control de calidad en medios de cultivo	76
Capítulo IV.....	80
4. Análisis microbiológicos de agua potable y residual.....	80

4.1 Microbiología del agua y su importancia en la Ingeniería Química.....	80
4.1.1 Definición y alcance	80
4.1.2 Principales microorganismos y mecanismos relevantes	81
4.1.3 Importancia en la Ingeniería Química.....	83
4.1.4 Desafíos técnicos y tendencias de investigación	84
4.1.5 Implicaciones prácticas para el ingeniero químico.....	84
4.2 Análisis microbiológico del agua potable	84
4.2.1 Microorganismos indicadores en agua potable	84
4.2.2 Métodos de detección y cuantificación	85
4.3 Análisis microbiológico de aguas residuales.....	86
4.3.1 Carga microbiana y contaminantes.....	86
4.3.2 Métodos de control y eliminación	88
BIBLIOGRAFIA.....	89

Introducción

La microbiología es una rama de las ciencias biológicas que estudia los microorganismos, tales como bacterias, hongos, virus, algas y protozoos. Estos seres vivos, aunque no pueden ser vistos a simple vista, tienen un gran efecto en la naturaleza y en la vida humana. Hoy en día la microbiología no sólo ayuda a conocer la riqueza y el mundo de los microorganismos, sino que también es una herramienta para el desarrollo de las ciencias y las industrias.

En la Ingeniería Química la microbiología tiene un significado especial. Los procesos industriales actuales, en especial los que generan alimentos, bebidas, fármacos, biocombustibles, biofertilizantes y productos químicos biológicos, son altamente dependientes de microorganismos. La habilidad de manipular, cultivar y explotar estos microorganismos ha revolucionado los bioprocesos, haciéndolos más eficientes, sostenibles y seguros en la producción a escala industrial.

El texto Microbiología General Aplicada a la Ingeniería Química se ha desarrollado para integrar los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para comprender la importancia de los microorganismos en los sistemas industriales y ambientales. El libro aborda distintos ejes temáticos: biología y diversidad microbiana; técnicas básicas y avanzadas de laboratorio para manipular y estudiar microorganismos; control de calidad microbiológico, esencial para asegurar la seguridad y eficacia de los productos; y aplicaciones biotecnológicas para innovar en las industrias productivas. Este enfoque integral pretende formar un estudiante con buenos conocimientos científicos, pero capaz de aplicarlos a la solución de problemas concretos que enfrentará en el ejercicio de su profesión.

Asimismo, el libro anima a los lectores a ser ellos mismos quienes elaboren una opinión informada y responsable sobre cuestiones de gran relevancia social, como la seguridad y la inocuidad alimentaria, la protección del medio ambiente o la sostenibilidad de las industrias. A través de la observación cuidadosa, la experimentación controlada y el análisis de datos se refuerzan habilidades como la exactitud técnica, el trabajo en equipo, la creatividad y la toma de decisiones basada en evidencia científica. De este modo, se promueve una capacitación integral, tanto en el manejo de las herramientas microbiológicas como en el desarrollo de actitudes éticas y comprometidas con la sociedad.

Dirigido principalmente a estudiantes universitarios de Ingeniería Química y carreras afines, pero también es útil para profesionales que deseen actualizar sus conocimientos en microbiología aplicada a procesos industriales. El libro es un esfuerzo académico colaborativo para ofrecer una guía actualizada, accesible y localizada en la industria actual. Con este escrito se pretende aportar en la formación de profesionales competentes, innovadores y éticos, capaces de enfrentar los retos científicos, tecnológicos y sociales del presente y futuro.

Capítulo I

1. Principios fundamentales de la microbiología

1.1 Definición de microbiología general

La microbiología general es la rama de la biología que estudia los microorganismos, seres vivos no visibles al ojo humano. Estudia su estructura, función, clasificación y cómo afectan al medio ambiente y la salud humana.

Figura 1. *“Microbiología, la magia de los microorganismos”*



Fuente: OpenAI. (2024). Desarrollo de microorganismos, generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La microbiología es una especialización de la biología que se enfoca en el análisis de los microorganismos, o sea, aquellos organismos vivos cuya dimensión microscópica no permite que sean vistos a simple vista. Estas incluyen algas microscópicas, virus, hongos, bacterias y protozoos. La microbiología incluye varios elementos de estos organismos, por ejemplo: su morfología, fisiología, genética y ecología, así como su interacción con otras criaturas vivas y el entorno. Asimismo, se centra en su rol en procesos biológicos esenciales y en cómo se aplica en campos como la medicina, la industria y la biotecnología (Balatti & Saparrat, 2025).

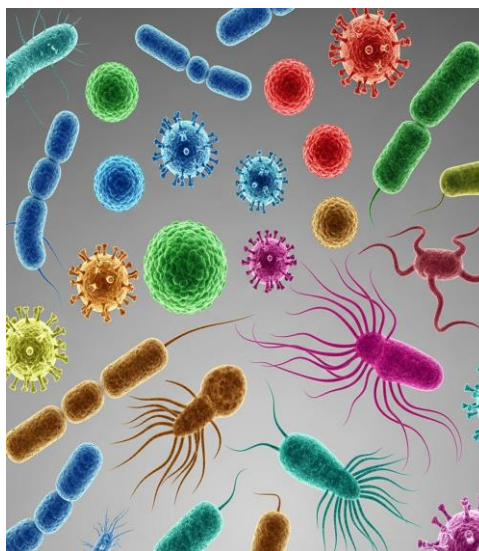
Según Luna Fontalvo (2020), La microbiología es la ciencia que investiga los microorganismos y cómo estos afectan la vida humana, así como el medioambiente. Este autor enfatiza el valor de los microorganismos en la salud, la industria y el medio ambiente.

Por otro lado, Martín González et al. (2019), subrayan que la microbiología no se enfoca únicamente en los microorganismos patógenos, sino también en los que cumplen funciones fundamentales para la producción de alimentos y fármacos, así como en los ciclos biogeoquímicos. La microbiología general aplicada, en el marco de la ingeniería química, se centra en el uso de microorganismos para llevar a cabo procesos industriales, como son la producción de biocombustibles, la fermentación y el manejo de desechos. Para mejorar estos procesos y asegurar su eficacia y seguridad, es fundamental entender las propiedades y los comportamientos de los microorganismos (Luna Fontalvo, 2020).

1.2 Microorganismos en la ingeniería química

Los microorganismos son vitales para la ingeniería química en procesos como la fermentación, la biorremediación y la producción de bioenergía, innovando y haciendo más sostenible la industria.

Figura 2. *"Diversidad Microbiana: Un Mundo Microscópico"*



Fuente: OpenAI. (2024). Microorganismos variados bajo el microscopio, generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Los microorganismos son considerados agentes esenciales en la ingeniería química, dado que tienen la habilidad de modificar materia orgánica, generar compuestos de gran valor y colaborar en la restauración ambiental (Ciencia MX, 2023). El progreso de la ingeniería química se ha logrado en gran medida a través de la integración de microorganismos en procesos industriales, lo que posibilita mejorar la producción de bioproductos, disminuir el gasto y reducir el efecto sobre el medioambiente.

1.2.1 Producción de bioproductos usando métodos microbiológicos

La industria química ha sufrido un cambio importante gracias al empleo de microorganismos, como levaduras, hongos y bacterias, para la elaboración de bioproductos. Entre estos se encuentran: enzimas industriales, biocombustibles y antibióticos. La ingeniería de microalgas, específicamente, se ha destacado como una estrategia sustentable en comparación con las fuentes fósiles convencionales; posibilita la producción de biodiésel mediante la obtención de lípidos (Morales-Sánchez et al., 2012).

Figura 3 *"Representación de enzimas industriales en laboratorio y fábrica"*



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración de enzimas industriales generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

1.2.2 Tratamiento de residuos y aguas residuales

En los últimos años la biotecnología se ha ido abriendo paso en el tratamiento de aguas residuales industriales. Los microorganismos como agentes biorremediadores son alternativas sostenibles para deshacerse de contaminantes.

Figura 4. “*Tratamiento de aguas residuales*”



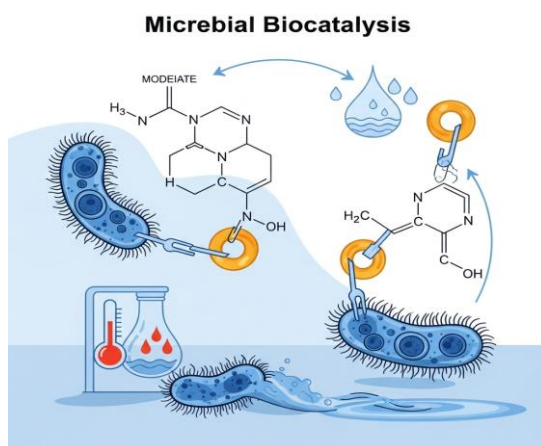
Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración de enzimas industriales generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Varios estudios han probado que los microorganismos son capaces de descomponer en aguas residuales industriales metales pesados y contaminantes. Para optimizar la eficacia de estos sistemas, es fundamental diseñar biorreactores y regular variables como la temperatura y el pH (Mora et al., 2020).

1.2.3 Biocatálisis y biotransformación

Hoy en día la mirada hacia procesos más sostenibles y eficientes ha abierto la puerta a nuevas estrategias en la industria química.

Figura 5 “*Biocatálisis microbiana en ingeniería química*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración de biocatálisis microbiana en ingeniería química: generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La biocatálisis microbiana es un campo en crecimiento dentro de la ingeniería química. El empleo de enzimas microbianas permite hacer cambios químicos concretos, bajo condiciones suaves y con una gran selectividad, lo que disminuye el requerimiento de reactivos tóxicos (Ciencia MX, 2023).

1.2.4 Bioplásticos y degradación de plásticos

En los últimos años, la acumulación de desechos plásticos se ha identificado como uno de los mayores problemas ambientales a nivel global. Varias soluciones innovadoras están abordando este problema y convirtiendo los desechos en recursos menos contaminantes.

Figura 6. “Comparación visual de degradación: bioplásticos vs. plásticos convencionales”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración de bioplásticos y plásticos convencionales generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La degradación y revalorización de plásticos ha adquirido una importancia significativa en los últimos años en el marco de la economía circular y el cuidado del medioambiente. Una de las mejoras más notables es la creación de métodos biotecnológicos para convertir desechos plásticos en compuestos con un valor añadido elevado. Una muestra reciente es el empleo de bacterias *Escherichia coli* alteradas genéticamente para transformar ácido tereftálico, un subproducto de la descomposición del plástico PET, en paracetamol.

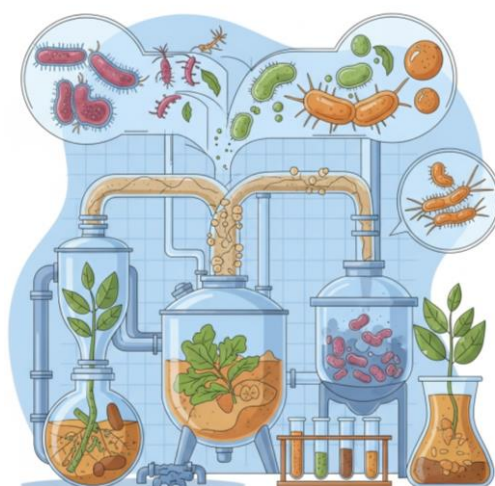
Este novedoso procedimiento, creado por científicos de la Universidad de Edimburgo, se basa en fermentar desperdicios plásticos a temperatura ambiente y con escasas emisiones de carbono, alcanzando una eficacia del 90% en menos de un día. Este tipo de tecnología no solo ayuda a disminuir el impacto ambiental de los plásticos, sino que también brinda nuevas

oportunidades para la producción sustentable de productos químicos y medicamentos que son relevantes para la industria (Huffington Post, 2023).

1.2.5 Biocombustibles

La ingeniería química ha logrado avances importantes en la producción de biocombustibles, aplicando técnicas microbiológicas.

Figura 7. “Producción de combustibles con aplicación de microbiología”



Fuente: OpenAI. (2024). Avance de la ingeniería química en la producción de biocombustibles con microbiología generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La ingeniería química ha progresado en la producción de biocombustibles gracias a la microbiología, por medio de la utilización de microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias específicas para fermentar residuos lignocelulósicos. Esto ha hecho posible conseguir etanol de segunda generación. (Branco et al., 2019).

De acuerdo con Callegari et al. (2020), la eficacia y el rendimiento de los bioprocesos industriales han aumentado gracias a la optimización de los procesos de fermentación y a la aplicación de la ingeniería metabólica. En esta coyuntura, se destaca que "la manipulación genética de los microorganismos y las mejoras en los sistemas de biorreactores son necesarias para el avance de biocombustibles sofisticados" (Meléndez et al., 2022).

Numerosos investigadores están de acuerdo en que la incorporación de la biotecnología a la producción de biocombustibles es fundamental para alcanzar una sostenibilidad energética (Callegari et al., 2020; Meléndez et al., 2022). No obstante, algunos apuntan que los principales

retos actuales tienen que ver con el precio de las materias primas y la competencia con los combustibles fósiles (Branco et al., 2019).

1.3 Historia y evolución de la microbiología

1.3.1 Los primeros descubrimientos

La microbiología, en su calidad de rama científica, se estableció en el siglo XVII por medio de la creación y mejora del microscopio, lo cual permitió que se pudieran observar organismos que no eran visibles para el ser humano.

Uno de los primeros en este campo fue Robert Hooke (1635-1703). En 1665, publicó "Micrographia", una obra en la que relató estructuras microscópicas, como células vegetales vistas en secciones de corcho. Su trabajo, a pesar de que su microscopio no tenía la capacidad de ampliación requerida para observar microorganismos, estableció las bases para investigaciones venideras (Zabala & Rojas, 2020).

Figura 8. "Robert Hooke (1635-1703)"



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración de Robert Hooke generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Anton van Leeuwenhoek, un comerciante y científico autodidacta de los Países Bajos (1632-1723), desarrolló microscopios de una sola lente que lograron aumentos de hasta 300 veces. Entre 1674 y 1683, por vez primera, observó y describió microorganismos vivos en placas dentales y muestras de agua; los llamó "animálculos". Sus minuciosas observaciones, que fueron innovadoras, le otorgaron el título de "Padre de la Microbiología" (Zabala & Rojas, 2020).

Figura 9 “Anton van Leeuwenhoek (1632-1723)”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración de Anton van Leeuwenhoek generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Al demostrar la existencia de un mundo microscópico y al abrir nuevas vías para la investigación científica, estos primeros hallazgos fueron cruciales para el desarrollo de la microbiología.

1.3.2 El Siglo XIX: Revolución en la microbiología

La microbiología sufrió un cambio importante a lo largo del siglo XIX, al fortalecerse como una ciencia experimental gracias a las contribuciones de científicos prominentes. Louis Pasteur desmintió la teoría de la generación espontánea al mostrar que los microorganismos no aparecen de forma espontánea, sino que se originan en el entorno. Sus ensayos con matraces de cuello de cisne demostraron que el aumento de microorganismos en caldos nutritivos era consecuencia de la contaminación externa, lo cual fundamentó la teoría germinal sobre las enfermedades (Rodríguez-Maffiotte Martín, 2020).

Al mismo tiempo, Robert Koch elaboró los "postulados de Koch", principios que posibilitaron la relación entre enfermedades específicas y ciertos microorganismos. Sus estudios sobre el *Bacillus anthracis*, que causa ántrax, y el *Mycobacterium tuberculosis*, causante de la tuberculosis, fueron esenciales para desarrollar métodos de cultivo bacteriano en medios sólidos e identificar patógenos (Gerassimov, 2025).

Estos desarrollos fortalecieron la microbiología como un campo de la ciencia, sentando los fundamentos para la bacteriología y la inmunología, y modificando el entendimiento y manejo de las patologías infecciosas.

1.3.3 El Siglo XX: La expansión de la microbiología

La microbiología vivió durante el siglo XX un cambio radical que afectó tanto a la investigación científica como a la vida diaria. Cuando en 1928 se descubrió la penicilina, se dio inicio a una nueva época en la que las enfermedades infecciosas dejaron de ser el principal motivo de muerte en un gran número de regiones.

El progreso de la genética molecular, que posibilitó el desciframiento de la estructura del ADN y los mecanismos de herencia, facilitó la manipulación genética de microorganismos. La biotecnología, de este modo, surgió como un ámbito que abarca múltiples disciplinas, lo cual permitió la creación de vacunas, medicamentos, alimentos y materiales y ayudó a hacer crecer la microbiología ambiental e industrial (López-Goñi, 2020; Zabala & Rojas, 2020).

Durante las últimas décadas, la microbiología ha extendido su influencia más allá de la salud y la industria, jugando un rol crucial en el entendimiento y afrontamiento de retos mundiales como son la seguridad alimentaria, el cambio climático y la resistencia a los antimicrobianos. Los estudios más recientes resaltan la importancia de tratar la salud desde un punto de vista integral, teniendo en cuenta las interacciones entre microorganismos, humanos, animales y ecosistemas.

Esta perspectiva interdisciplinaria, denominada "Una sola salud", enfatiza la relevancia de la microbiología para el desarrollo de nuevas tecnologías y tácticas de control biológico, además de para la sostenibilidad medioambiental y la prevención de pandemias en el futuro (López-Goñi, 2023; Viales Hurtado & Rodríguez Sánchez, 2021).

1.4 La Microbiología moderna y su aplicación en la Ingeniería Química

1.4.1 Producción de biohidrógeno

El biohidrógeno que es producido por microorganismos se presenta como una opción prometedora a los combustibles fósiles. El progreso de la ingeniería genética y la optimización de los consorcios microbianos han hecho posible que se mejore el rendimiento, la estabilidad y la escalabilidad de estos procedimientos. Para una producción efectiva y sustentable, por

ejemplo, es fundamental la utilización de bacterias fermentativas y fotosintéticas incorporadas en biorreactores (Yadav et al., 2025).

1.4.2 Producción de biocombustibles avanzados y químicos

Gracias a la ingeniería genética y la biología sintética, se han creado microorganismos que hacen posible la fabricación de biocombustibles avanzados (por ejemplo, butanol y biodiésel) y productos que tienen un alto valor (como los alcoholes superiores y los ácidos orgánicos). Para mejorar la selectividad y el rendimiento de estos bioprocesos, ha sido esencial rediseñar las rutas metabólicas en levaduras industriales y bacterias (Yadav et al., 2025).

1.4.3 Tratamiento biológico de aguas residuales

En la ingeniería ambiental, es esencial tratar las aguas residuales a través de comunidades microbianas. El análisis multi-ómico ha posibilitado una descripción exacta y un manejo efectivo de los microorganismos involucrados en la degradación de contaminantes, lo que ha dado lugar a procesos más sólidos y eficaces (McDaniel et al., 2021).

1.4.4 Ingeniería de enzimas para la industria

Las enzimas microbianas, como las celulasas y lipasas, que se utilizan en los sectores de la energía, la farmacéutica, el textil y la alimentación pueden ser optimizadas en cuanto a eficiencia, estabilidad y especificidad mediante los métodos de ingeniería de proteínas y evolución dirigida. Estos procesos químicos tradicionales han sido sustituidos por estas enzimas diseñadas, lo que los ha vuelto más sostenibles y rentables (Yadav et al., 2025).

1.4.5 Producción de fármacos y productos de alto valor

La producción de antibióticos, medicamentos, vitaminas y compuestos bioactivos ha cambiado radicalmente gracias a la ingeniería genética y a la microbiología moderna. Los microorganismos modificados son capaces de generar fármacos complejos a partir de materias primas sencillas, lo que permite una fabricación más rápida y económica (Farooq et al., 2023).

1.4.6 Perspectivas futuras

La combinación de CRISPR-Cas, la biología sintética y las herramientas informáticas, como la inteligencia artificial, posibilitará el desarrollo de microorganismos industriales más eficaces que antes, lo cual supondrá nuevas oportunidades para la bioeconomía y la ingeniería química (Farooq et al., 2023; Yadav et al., 2025).

1.5 Reconocimiento del laboratorio de microbiología

1.5.1 Normas de bioseguridad en laboratorio de microbiología

El laboratorio de microbiología es un lugar equipado para manipular microorganismos con fines de estudio, diagnóstico o investigación. Debes conocer y respetar las áreas, los equipos y las normas para trabajar seguro y eficiente.

Figura 10. “Normas de bioseguridad en laboratorio de microbiología”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre normas de bioseguridad en laboratorio de microbiología generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Para proteger de manera eficaz al medio ambiente, a la comunidad educativa y al personal de los riesgos potenciales que pueden derivarse del manejo de agentes biológicos, es esencial poner en práctica y cumplir rigurosamente con las normativas de bioseguridad en laboratorios microbiológicos. No solamente son fundamentales estas normas, sino que además representan un conjunto de prácticas pensadas para reducir riesgos y evitar sucesos que podrían resultar en consecuencias severas.

La bioseguridad comprende una serie de acciones preventivas que aseguran la protección de los empleados durante sus experimentos e investigaciones, al tiempo que salvaguarda la integridad del medio ambiente y la salud de los miembros de la comunidad. Algunas de las reglas vitales que se incorporan en este marco de seguridad son la evaluación de riesgos, que requiere un análisis detallado de posibles amenazas y vulnerabilidades; la adopción de prácticas seguras que aseguran un entorno laboral protegido; el entrenamiento del personal para que esté adecuadamente preparado ante cualquier eventualidad; y la

implementación de medidas restrictivas que funcionan como barreras eficaces en caso de incidentes.

El objetivo de estas acciones no es únicamente evitar accidentes, sino también promover una cultura de seguridad que incluya a todos los integrantes de la organización, garantizando de esta manera un entorno laboral más seguro y eficaz. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020).

1.5.2 Principios y características en laboratorios de microbiología

La evaluación de riesgos para la manipulación de agentes biológicos implica identificar y analizar las amenazas ligadas a los microorganismos que se emplean, teniendo en cuenta su grupo de riesgo, lo que se hace, las vías de exposición (por inhalación, contacto, ingestión o inoculación), la cantidad y concentración manipulada y cuán efectivas son las medidas actuales de contención y protección. Este procedimiento analiza la probabilidad de exposición y la seriedad de las potenciales repercusiones para el personal y el entorno; por lo tanto, se pueden poner en práctica medidas preventivas, optimizar protocolos y asegurar la seguridad a través del entrenamiento y supervisión constante del personal implicado (Panizo et al., 2021).

La contención implica el empleo de barreras físicas, como filtros HEPA, cabinas de seguridad biológica y recipientes herméticos; también comprende la utilización de procedimientos y equipos de protección personal. Su finalidad es prevenir la liberación involuntaria de agentes biológicos en laboratorios u otras instalaciones donde se manipulan microorganismos peligrosos. Estas prácticas son esenciales para salvaguardar al personal, a la comunidad y al medio ambiente, evitando exposiciones accidentales y acatando las reglas de bioseguridad establecidas; están organizadas en niveles según el riesgo del agente (OMS, 2020).

Es esencial formar continuamente al personal en protocolos y reacciones ante circunstancias de emergencia para asegurar una respuesta efectiva y rápida a cualquier suceso. Esto supone llevar a cabo de manera regular cursos, simulacros y talleres que potencien las destrezas y el conocimiento del equipo en asuntos como la evacuación, los primeros auxilios, el uso de equipos de seguridad y la gestión de incendios.

Para garantizar que todos los empleados entiendan sus responsabilidades y roles, así como para ajustarse a las nuevas tecnologías, riesgos o cambios normativos, es fundamental actualizar periódicamente el contenido de la capacitación. Así, se fomenta una cultura de seguridad y prevención, con el fin de proteger la integridad de los individuos y los activos de la organización mientras se reducen al mínimo los riesgos (Nápoles Vega, 2022).

Para asegurar la seguridad en el ambiente laboral, es esencial aplicar métodos estandarizados y utilizar equipos de protección personal (EPP), porque posibilitan la prevención de accidentes y la salvaguarda de la salud de los empleados. La exposición a riesgos físicos, químicos o biológicos se minimiza cuando se utilizan equipos de protección personal (EPP), como guantes, mascarillas, gafas de protección y batas, y cuando se siguen los procedimientos establecidos. Asimismo, el uso adecuado, la elección y el mantenimiento de este equipo, así como la formación constante del personal, ayudan a generar un entorno seguro y eficaz y promueven una cultura preventiva en la organización (Flores Serrano et al., 2022).

1.5.3 Niveles de bioseguridad en laboratorio de microbiología

Los niveles de bioseguridad (NBS 1 a 4) se determinan de acuerdo con el riesgo asociado al agente biológico que se maneja en un laboratorio y las condiciones de contención requeridas. Cada nivel de bioseguridad conlleva una serie de acciones, procesos y equipos que se van implementando de manera progresiva, con el objetivo de evitar la liberación o difusión de agentes patógenos, así como la exposición no intencionada. El NBS 1 implica el manejo de agentes con riesgo bajo para la gente y el entorno, lo cual requiere una contención mínima. El NBS 2 se aplica a agentes con un riesgo moderado que tienen la capacidad de provocar enfermedades humanas leves o tratables, lo cual requiere de prácticas laborales más rigurosas y el uso de equipos de protección personal.

El NBS 3 es requerido para agentes que tienen la capacidad de provocar enfermedades graves o potencialmente mortales a través de la inhalación, lo cual demanda instalaciones con protocolos estrictos de descontaminación, ventilación especial y controles de acceso limitados. Por último, el NBS 4 está destinado a agentes que son muy peligrosos, no tienen tratamientos eficaces y suponen un riesgo alto de transmisión. Para garantizar la seguridad del entorno y de las personas, se utilizan en este nivel laboratorios con máxima contención, equipados con trajes herméticos, equipos especializados y procedimientos muy rigurosos (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2020).

1.5.4 Medidas de bioseguridad

Las medidas de bioseguridad incluyen el uso obligatorio de equipos de protección personal (EPP) como batas, guantes, mascarillas y gafas para reducir el riesgo de exposición a agentes peligrosos; la manipulación de muestras y sustancias en cabinas de seguridad biológica adecuadas, que aseguran la contención de aerosoles y minimizan la contaminación; la aplicación de protocolos estrictos para la descontaminación y eliminación de residuos,

utilizando desinfectantes apropiados y gestionando los desechos biológicos conforme a la normativa vigente para prevenir riesgos ambientales y para la salud; la observancia de una estricta higiene personal, que implica el lavado frecuente de manos y la prohibición de comer, beber, fumar o maquillarse dentro del laboratorio para evitar la ingestión o contacto accidental con agentes nocivos; además, se requiere una capacitación continua del personal en bioseguridad, el control de acceso a áreas restringidas, el correcto etiquetado y señalización de materiales peligrosos, y la existencia de planes de emergencia para actuar ante incidentes o exposiciones accidentales, garantizando así un ambiente de trabajo seguro y protegido para todos los involucrados (Flores Serrano et al., 2022; CDC, 2020).

1.5.5 Importancia en la ingeniería química

En el campo de la ingeniería química, es crucial y muy importante seguir estrictamente las normas de bioseguridad. No solo son esenciales estas regulaciones para proteger la salud y el bienestar de los trabajadores del laboratorio; también son fundamentales para asegurar que los procesos biotecnológicos que se implementan sean eficaces y de calidad. La aplicación de estas reglas garantiza que los peligros relacionados con la manipulación de sustancias químicas y organismos biológicos se reduzcan al mínimo, lo que genera un ambiente laboral seguro y eficaz. Asimismo, seguir estas pautas ayuda a generar confianza en los resultados logrados, lo cual es fundamental para el progreso y la innovación en el ámbito de la microbiología (Panizo et al., 2021).

1.6 Procedimientos de seguridad en el laboratorio de microbiología

1.6.1 Colocación del equipo de protección personal (EPP)

La postura correcta del EPP es de vital importancia para la seguridad del personal de salud y la prevención de contaminación.

Figura 11. “Equipo de protección personal”



Fuente: Centers for Disease Control and Prevention. (2020). Sequence for putting on personal protective equipment (PPE). U.S. Department of Health & Human Services. <https://www.cdc.gov/hai/pdfs/ppe/PPE-Sequence.pdf>

Todo el personal tiene que ponerse guantes, gafas de seguridad y la bata de laboratorio antes de iniciar cualquier actividad. Según Reina y Reina (2023), este paso es esencial para impedir el contacto directo con agentes que son peligrosos. Es necesario utilizar mascarillas o respiradores cuando se manejan microorganismos de alto riesgo o aerosoles (Nápoles Vega, 2022).

1.6.2 Preparación y organización del área de trabajo

Antes de empezar las actividades, es necesario limpiar y desinfectar las superficies con productos específicos para eliminar cualquier rastro de contaminantes anteriores. Para prevenir traslados innecesarios y reducir riesgos, es esencial tener disponible todo el material requerido, correctamente rotulado y organizado (Jara Gallegos & Batista Garcet, 2022).

1.6.3 Manipulación segura de muestras y reactivos

Es necesario realizar la manipulación de muestras químicas o biológicas siguiendo técnicas asépticas rigurosas. Si el riesgo es suficiente, se aconseja trabajar en cabinas de bioseguridad y mantener los recipientes bien rotulados y siempre cerrados para evitar exposiciones accidentales (Nápoles Vega, 2022).

1.6.4 Gestión y disposición de residuos

Todos los residuos producidos deben clasificarse según su tipo: químico, biológico o punzocortante. Antes de ser desechados, los residuos biológicos deben ser esterilizados. Por su parte, los punzocortantes tienen que ser colocados en recipientes duros y que no sean susceptibles a perforaciones (Jara Gallegos & Batista Garcet, 2022).

1.6.5 Limpieza final y retiro de EPP

Cuando las tareas terminan, es necesario higienizar y desinfectar de nuevo todos los equipos y superficies utilizados. El equipo de protección personal desechable tiene que ser desechado en los recipientes que han sido designados para ello, y el personal tiene la obligación de lavarse las manos con agua y jabón antes de salir del laboratorio (Reina & Reina, 2023).

1.6.6 Capacitación y simulacros regulares

El personal tiene que formar parte de programas de formación continua acerca de procedimientos de emergencia y seguridad. La capacitación periódica contribuye a la cultura de prevención y optimiza la reacción frente a probables incidentes (Nápoles Vega, 2022).

1.7 Equipos y materiales básicos del laboratorio de microbiología

1.7.1 Microscopio

El microscopio es un instrumento que permite ver cosas muy pequeñas que no se pueden ver a simple vista. Es fundamental para observar células y microorganismos.

Figura 12. “Microscopio óptico de laboratorio”



Fuente: Molhave, K. (2006). Sketch of an optical microscope. Wikimedia Commons.

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OpticalMicroscope.jpg>

El instrumento más esencial y representativo en el laboratorio de microbiología es el microscopio, ya que permite la observación de estructuras y organismos que no son visibles a simple vista. La microbiología tuvo un avance sin igual desde que se creó el microscopio óptico, pues permitió observar hongos, bacterias, virus y otros microorganismos (Reiner et al., 2020).

Debido a su simplicidad y su habilidad para observar células coloreadas, el microscopio óptico de campo claro es el más frecuente en los laboratorios. Emplea luz visible que penetra en la muestra y posibilita el estudio de la morfología celular. Esto resulta esencial para la identificación inicial de hongos y bacterias (Reiner et al., 2020).

El microscopio de contraste de fase es particularmente eficaz para examinar células vivas sin teñir, ya que aumenta el contraste y muestra las estructuras internas sin modificar al microorganismo. Esta técnica permite el análisis, en tiempo real, de procesos celulares dinámicos como la mitosis y la fagocitosis (Alonso et al., 2025).

Gracias a la utilización de fluorocromos, el microscopio de fluorescencia ha transformado por completo la microbiología diagnóstica e investigativa, porque posibilita que se vean estructuras concretas. Es de uso frecuente en la identificación de patógenos en muestras clínicas y en el análisis de cómo interactúan las células huésped con los microorganismos (Reiner et al., 2020; Yao et al., 2021).

La implementación de algoritmos de aprendizaje profundo y la inteligencia artificial (IA) en los años recientes han posibilitado que las imágenes microscópicas puedan ser analizadas de manera eficaz y automática, lo cual ha permitido que se logre una mayor precisión a la hora de identificar y clasificar microorganismos (Zieliński et al., 2020).

1.7.1.1 Tipos de microscopios: El microscopio es el instrumento esencial en microbiología para observar microorganismos y estructuras no visibles a simple vista, ampliando imágenes millones de veces. La tecnología ha desarrollado diferentes tipos de microscopios, desde los ópticos simples hasta los de superresolución y electrónicos, cada uno con sus propias características y aplicaciones (Balasubramanian et al., 2023).

- **Microscopio de luz o microscopio óptico:** Es la más utilizada en los laboratorios de microbiología. Usa un sistema de lentes de aumento y luz visible para producir una imagen ampliada de la muestra.

Su mejor resolución es de 0,2 μm y puede alcanzar aumentos de hasta 1.000x.

Según el tipo de contraste e iluminación, existen varias modalidades:

a. Microscopio de campo luminoso

La muestra se ilumina desde abajo y la imagen se forma por absorción de luz. En laboratorios de diagnóstico y enseñanza es el microscopio de rutina. Se usa con tinciones simples o diferenciales (Gram, Ziehl-Neelsen).

b. Microscopio de campo oscuro

Utiliza un condensador especial que desvía la luz lateralmente; por eso se observa la muestra brillante sobre un fondo oscuro. Es útil para observar bacterias vivas o delgadas (como *Treponema pallidum*) sin necesidad de teñirlas (Cortese et al., 2021).

Convierte las diferencias en el índice de refracción en diferencias de brillo y contraste. Pueden observarse células vivas sin teñir, lo que es útil para estudiar la motilidad bacteriana y las estructuras internas.

c. Microscopio fluorescente

Emplea colorantes fluorescentes (fluorocromos) y luz ultravioleta, la cual, al ser excitada, emite luz visible. Para reconocer microorganismos específicos mediante anticuerpos marcados con fluorocromos (por ejemplo, auramina-rodamina para *Mycobacterium tuberculosis*)

- **Microscopio electrónico:** Utiliza un haz de electrones en lugar de luz y campos electromagnéticos en lugar de lentes. Con una longitud de onda más corta, consigue resoluciones hasta 1000 veces mejores que el microscopio óptico.

a. Microscopio electrónico de transmisión (MET)

Permite visualizar estructuras internas de microorganismos o células.

Los electrones atraviesan la muestra y crean una imagen en escala de grises muy detallada. Se usa en estudios ultraestructurales de virus, bacterias y tejidos. (Doyle et al., 2024).

b. Microscopio electrónico de barrido (MEB)

Muestra imágenes 3D de la superficie de las muestras. El haz de electrones recorre la muestra, mostrando detalles topográficos con gran profundidad de campo. Es ampliamente empleado en microbiología industrial y ambiental para el estudio de biofilms y superficies celulares (Hardõ et al., 2024).

- **Microscopio confocal:** Con escáneres ópticos y láseres se obtienen imágenes tridimensionales de alta resolución. Permite analizar muestras con fluorocromos y reconstruir imágenes tridimensionales a diferentes profundidades. Para visualizar biofilms, cultivos celulares y tejidos infectados en microbiología actual (Balasubramanian et al., 2023).
- **Microscopio de superresolución:** También llamado nanoscopio, supera el límite de difracción de la luz y alcanza resoluciones por debajo de 50 nm. Técnicas como PALM/STORM o STED (agotamiento por emisión estimulada) pueden visualizar moléculas y proteínas individuales en células vivas. Este tipo de microscopio revolucionó la biología molecular al permitir visualizar interacciones proteicas y procesos dinámicos dentro de las células (Hardō et al., 2024).
- **Microscopio digital:** Posibilita capturar, visualizar y compartir imágenes en tiempo real combinando la óptica tradicional con sensores electrónicos y software de procesamiento de imagen. Muchos modelos integran IA para detectar microorganismos automáticamente, clasificarlos y contarlos en colonias (Ullah et al., 2023).

Cada tipo de microscopio tiene una función específica de acuerdo al tipo de análisis:

- El óptico es ideal para observaciones generales y prácticas de enseñanza.
- El electrónico permite analizar detalles virales y estructurales.
- El microscopio de fluorescencia y el confocal son herramientas indispensables para la investigación biomédica.

La automatización del diagnóstico microbiológico está impulsada por la IA digital. La microscopía es una herramienta de precisión para la microbiología actual, con el avance de tecnologías digitales y ópticas. (Balasubramanian et al., 2023).

Por otra parte, la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la de transmisión (TEM) ofrecen imágenes con una resolución muy alta, lo cual posibilita el estudio de los detalles de la ultraestructura interna y externa de virus, bacterias y orgánulos (Alonso et al., 2025; Yao et al., 2021).

La microscopía de superresolución y otras técnicas han permitido el análisis de estructuras y procesos a nivel molecular, ya que han superado la barrera del límite de difracción de la luz. Esto ha incrementado considerablemente las habilidades en microbiología actual (Yao et al., 2021).

Para resumir, la microscopía es un campo que siempre está cambiando y es fundamental para la microbiología contemporánea; esta disciplina ofrece instrumentos que van desde la observación básica hasta el examen sofisticado de microorganismos y sus procesos (Reiner et al., 2020).

1.7.3 Autoclaves y esterilización

La esterilización es la eliminación de todos los microorganismos vivos (incluidas las esporas bacterianas) de una superficie u objeto. Esta técnica es esencial en microbiología para proteger al personal y a las muestras biológicas, garantizar la exactitud de los experimentos y prevenir la contaminación cruzada. Uno de los métodos físicos más efectivos de esterilización es el autoclave a vapor saturado bajo presión (Bharti et al., 2022).

Figura 13. “Autoclave moderno de laboratorio”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre Autoclave moderno para laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [14/11/2025]. <https://chat.openai.com>

El autoclave es un recipiente cerrado con paredes resistentes a la presión y al calor, diseñado para generar vapor saturado que se introduce en los materiales y destruye las formas microbianas por coagulación y desnaturalización de las proteínas. Se basa en el hecho de que el vapor a presión eleva el punto de ebullición del agua, permitiendo alcanzar temperaturas superiores a 100 °C. El ciclo más común trabaja a 121 °C durante 15 minutos, lo que corresponde a 15 lb/pulg² (1 atmósfera sobre la presión atmosférica), tiempo suficiente para matar las esporas del *Geobacillus stearothermophilus*, organismo patrón de certificación (Weber et al., 2023).

La condensación en las superficies frías, que libera grandes cantidades de calor latente, es la principal causa del efecto letal del vapor. Este proceso desnaturaliza tanto los ácidos nucleicos como las proteínas. A diferencia de la esterilización en seco, el vapor húmedo penetra mejor en materiales porosos o envueltos (gasas, medios de cultivo...) y asegura la destrucción homogénea de los microorganismos (Yu et al., 2020).

Tres elementos son determinantes para que el proceso sea efectivo:

- Temperatura: debe ser constante (134 °C o 121 °C, en dependencia de la carga).
- Tiempo de exposición: el apropiado para lograr una reducción decimal total de los microorganismos resistentes.
- No hay aire y el vapor se satura: El aire atrapado bloquea la transferencia de calor y deja zonas sin esterilizar.

Los autoclaves modernos incluyen sistemas de secado y vacío previo controlados electrónicamente para garantizar la penetración uniforme del vapor y la eliminación de gases no condensables (Tessarolo et al., 2025).

La verificación del procedimiento se realiza a través de indicadores químicos (cintas o bandas que cambian de color al alcanzarse la temperatura programada) y biológicos (esporas de *G. stearothermophilus*). La esterilización es efectiva si no hay crecimiento en el medio de cultivo tras el ciclo. Además, el test Bowie-Dick se realiza a diario en autoclaves de vacío previo para asegurar la correcta eliminación de aire y la uniformidad del vapor (Laranjeira et al., 2020).

El autoclave es indispensable en laboratorios para:

- Esterilizar material de vidrio, ropa y medios de cultivo.
- Destruir residuos biológicos potencialmente infecciosos.
- Garantizar condiciones asépticas en la preparación de cultivos y procedimientos experimentales.

En microbiología general, comprender su funcionamiento permite aplicar buenas prácticas de bioseguridad y asegurar la fiabilidad de los resultados experimentales.

1.7.4 Cabinas de seguridad biológica

Las cabinas de seguridad biológica (CSB) son equipos indispensables en laboratorios microbiológicos para proteger al personal, al producto y al medio ambiente de agentes biológicos peligrosos. Su uso constituye una primera línea de defensa que reduce la exposición

a aerosoles infecciosos y evita la contaminación cruzada. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y los CDC recomiendan que estas cabinas formen parte de las prácticas adecuadas de bioseguridad (World Health Organization [WHO], 2022).

Figura 14. “Cabina de seguridad biológica de laboratorio”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre cabina de seguridad biológica de laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Una cabina de seguridad biológica es un espacio parcialmente cerrado, equipado con filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) y un sistema de control de flujo de aire para prevenir la liberación de microorganismos durante el manejo de muestras.

Sus objetivos son tres:

- Para proteger al operador de aerosoles o salpicaduras susceptibles de provocar una infección.
- Preservar limpias de contaminación ambiental las muestras.
- Defender el ambiente de dispersiones no intencionales de agentes biológicos (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades) [CDC], 2020).

1.7.5 Material de vidrio usados en el laboratorio

El vidrio es esencial en los laboratorios científicos por su transparencia, resistencia química y térmica, y por ser fácilmente esterilizable. Estas características hacen que sea el material de elección para todo tipo de aplicaciones, desde la medida exacta de líquidos hasta la agitación de disoluciones. Según Zhang et al. (2022), "el vidrio es el material de elección para la mayoría de las aplicaciones de laboratorio por ser resistente, duradero y permitir una observación limpia en los experimentos".

1.7.5.1 Vasos de precipitación: Los vasos de precipitación son recipientes cilíndricos de fondo plano que se utilizan para mezclar, calentar y disolver sustancias. Están hechos principalmente de vidrio borosilicato, lo que los hace resistentes a cambios de temperatura y químicos. Son herramientas indispensables en laboratorios de microbiología e ingeniería química para procesos como cristalización, disolución de reactivos y precipitación de compuestos. Como indica Freese (2024), "los vasos de precipitado, al ser transparentes y resistentes a la corrosión, permiten visualizar las reacciones y manipular reactivos de forma segura sin contaminarlos".

Figura 15. “*Vasos de precipitación de laboratorio*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre vasos de precipitación para laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

1.7.5.2 Placas de petri y medios de cultivo: Las placas de Petri son instrumentos esenciales en microbiología, utilizados para observar, cultivar y aislar microorganismos en circunstancias controladas. Su creación hizo posible el avance de métodos sofisticados de cultivo y la detección exacta de hongos y bacterias, lo cual ha sido vital en investigaciones científicas y usos industriales (National Geographic España, 2024; Labdescubre, 2024).

Figura 16. “Placas de petri de laboratorio”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre cajas petri para laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Las placas de petri y los medios de cultivo continúan siendo fundamentales en la investigación microbiológica, lo que propicia el progreso tecnológico y científico en campos como la industria alimentaria y la biotecnología.

1.7.5.3 Probetas: Las probetas de vidrio sirven para medir volúmenes de líquidos de forma precisa. Están graduadas, lo que permite medir con precisión el volumen de las soluciones que se preparan. Este instrumento se utiliza principalmente para realizar mediciones de líquidos mayores a las que se pueden medir con pipetas. Según Zhang (2022), "las probetas sirven para experimentos de laboratorio que necesitan medidas precisas de volumen de líquido, y su material de vidrio permite observar el líquido sin afectar la medición".

Figura 17. “*Probetas de laboratorio*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre probetas graduadas para laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

1.7.5.4 Matraces erlenmeyer: Los matraces son frascos de vidrio con forma característica: cuerpo esférico o cilíndrico y cuello estrecho. Sirven para contener líquidos o disoluciones; son esenciales en procesos como la titulación o la preparación de disoluciones de volumen preciso. Hay varios tipos de matraces: el matraz volumétrico, para medir líquidos con precisión, y el matraz Erlenmeyer, con cuello ancho, para mezclar y calentar soluciones. Como explican Zhang et al. (2023), "los matraces volumétricos son exactos y confiables, y permiten a los químicos preparar soluciones de concentraciones precisas para sus experimentos".

Figura 18. “*Matraces erlenmeyer de laboratorio*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre matraces erlenmeyer para laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

1.7.5.5 Pipetas: Las pipetas de vidrio sirven para transferir líquidos de forma precisa. Existen diferentes tipos, como las pipetas volumétricas, para medir volúmenes precisos, y las pipetas graduadas, para medir volúmenes variables. Estas pipetas son esenciales en microbiología para inocular cultivos. Según Toombs et al. (2021), "las pipetas de vidrio son herramientas esenciales en los laboratorios científicos por su exactitud en la transferencia de líquidos, esencial para obtener resultados confiables".

Figura 19. *"Pipetas de laboratorio"*



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre pipetas para laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

1.7.5.6 Tubos de ensayo: Los tubos de ensayo son pequeños recipientes cilíndricos de vidrio, muy utilizados en microbiología para cultivar microorganismos o mezclar reactivos. Estos tubos suelen ser de vidrio borosilicato, por lo que se pueden esterilizar en autoclave. Como lo indica Zhang (2022), "los tubos de ensayo se utilizan en el laboratorio para observar reacciones químicas, pruebas de cultivo microbiológico y manipulación de pequeñas cantidades de soluciones".

Figura 20. “*Tubos de ensayo de laboratorio*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre tubos de ensayo de laboratorio generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

1.7.5.7 Incubadora. En microbiología de ingeniería química, la incubadora de laboratorio es un equipo indispensable. Posibilita la conservación de condiciones ambientales controladas (temperatura, humedad, CO₂) para el crecimiento de microorganismos y células. Estas condiciones son determinantes para la reproducibilidad y escalabilidad en procesos biotecnológicos (Mantar & Yılmaz, 2024).

Figura 21. “*Incubadora de laboratorio*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre incubadoras de medios de cultivos generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

- **Modelado y control térmico.**

El comportamiento de una incubadora depende de su estabilidad térmica y capacidad de recuperación ante perturbaciones (por ejemplo, la apertura de la puerta). Mantar y Yılmaz (2024) crearon un modelo matemático usando estructuras ARX, ARMAX, OE y Box–Jenkins para definir el comportamiento térmico de las incubadoras. El modelo Box–Jenkins se ajustó en más del 90 % en la respuesta escalón y más del 95 % en secuencia binaria pseudoaleatoria, esencial para diseñar controladores térmicos avanzados y mejorar la uniformidad de los cultivos.

Como señalan Mantar y Yılmaz (2024), la identificación precisa del sistema permite diseñar estrategias de control que minimicen los sobreimpulsos térmicos, mejorando la seguridad y eficiencia del cultivo microbiano.

Innovaciones para entornos de bajos recursos

En lugares sin acceso a electricidad, las incubadoras resilientes son vitales. Miller et al. (2019) desarrollaron incubadoras con material de cambio de fase (PCM) como baterías térmicas para mantener la temperatura de incubación durante cortes de energía de hasta 12 h. Este diseño se probó en laboratorio y en campo, con estabilidad térmica incluso en condiciones extremas, lo que demuestra su viabilidad para entornos difíciles.

- **Incubadoras portátiles y de bajo costo**

La portabilidad y la economía también son innovaciones recientes. Wight et al. (2020) desarrollaron una incubadora portátil y de bajo costo con materiales accesibles y un controlador eléctrico simple. Esta incubadora, de aproximadamente CAD 150, ha probado ser comparable a las incubadoras tradicionales en la enumeración in situ de bacterias como *coliformes* y *Escherichia coli*, incluso en lugares con electricidad limitada.

1.7.5.8 Refrigeradora. La refrigeradora es un equipo indispensable para la conservación de alimentos y muestras biológicas en microbiología aplicada a la ingeniería química. Su objetivo es conservar bajas temperaturas que inhiban el desarrollo microbiano y extiendan la vida útil de materiales susceptibles (Torres, Rodríguez & Lara, 2021).

Figura 22. “Refrigeradora para cultivos microbiológicos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre refrigeradora para conservación de medios de cultivos generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

- **Principio de funcionamiento**

La refrigeradora funciona gracias al ciclo de compresión y expansión de un refrigerante, que absorbe calor del interior y lo libera en el exterior. Este proceso disminuye la temperatura interna y enfría las reacciones bioquímicas y el crecimiento microbiano (García & López, 2022).

- **Importancia microbiológica**

Entre 2 y 8 °C la mayoría de las bacterias patógenas reducen su crecimiento, pero pueden sobrevivir algunas especies psicrófilas (Sánchez, Gómez & Ruiz, 2023). Este control de temperatura es fundamental para la seguridad microbiológica de los alimentos perecederos.

1.8 Microscopía y tinciones

La microscopía es la herramienta fundamental de estudio microbiológico, que permite visualizar microorganismos y estructuras celulares invisibles al ojo humano. Con esta herramienta los científicos pueden estudiar la forma, arreglo, tamaño y estructuras internas de bacterias, hongos, protozoos y virus.

Junto con las tinciones, la microscopía es una herramienta fundamental para la identificación y diferenciación microbiana (Balasubramanian et al., 2023).

La microscopía es un conjunto de técnicas para visualizar cosas muy pequeñas usando electrones, láseres o luz. Su objetivo en microbiología es visualizar las características estructurales que permiten la identificación y clasificación de los microorganismos. El

parámetro más importante es la resolución, que es la distancia mínima a la que se pueden distinguir dos puntos como distintos. En la microscopía óptica de rutina este valor es de 0,2 μm , suficiente para la mayoría de las bacterias, pero no para los virus (Hardõ et al., 2024).

1.8.1 Tipos de microscopía

1.8.1.1 Microscopía óptica o de luz: Utiliza un sistema de lentes de aumento y luz visible. Por su sencillez y eficacia es el más empleado en el laboratorio. Entre sus principales variedades se encuentran:

- Campo claro: la imagen se observa sobre un fondo claro.
- Campo oscuro: hace visibles bacterias delgadas (*Treponema pallidum*) porque la luz se proyecta lateralmente.
- Contraste de fases: transforma las variaciones de densidad óptica en variaciones de brillo.
- Fluorescencia: usa colorantes fluorescentes (auramina-rodamina o DAPI) y luz ultravioleta (Cortese et al., 2021).

1.8.1.2 Microscopía electrónica: "Usa electrones en vez de luz, resolviendo 1000 veces mejor". El microscopio electrónico de transmisión (MET) permite visualizar estructuras internas.

El microscopio electrónico de barrido (MEB) da imágenes tridimensionales del exterior (Doyle et al., 2024).

1.8.1.3 Microscopía de superresolución y confocal: Utiliza láseres para crear imágenes en 3D con gran precisión. Estas técnicas se aplican para estudiar microorganismos vivos y sus interacciones y han superado el límite de resolución óptica clásico (Balasubramanian et al., 2023).

1.8.2 Tinciones

Las tinciones son técnicas que utilizan colorantes químicos para dar énfasis a estructuras celulares y generar mayor contraste en la imagen.

Como la mayoría de los microorganismos son incoloros, deben teñirse para poder observarse al microscopio. Los colorantes pueden ser ácidos (colorean estructuras básicas de la célula, como el citoplasma) o básicos (colorean estructuras ácidas, como el ADN) (Chandrakant et al., 2022).

1.8.2.1 Tipos de tinciones

- **Tinción de Gram**

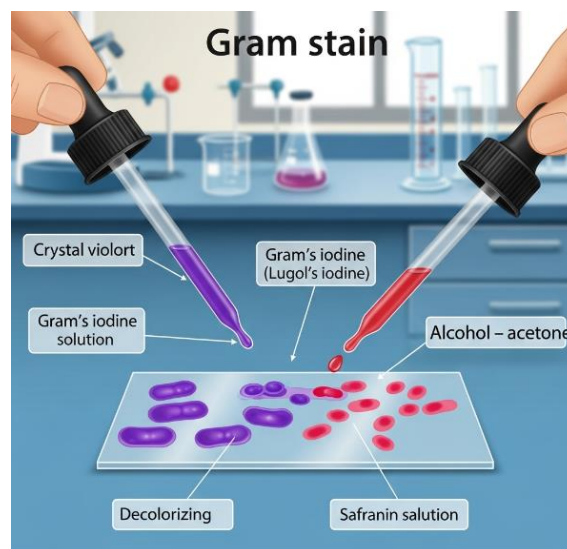
La tinción de Gram es una de las técnicas más empleadas en microbiología para clasificar y diferenciar bacterias. Se fundamenta en las diferencias estructurales de la pared celular bacteriana, especialmente en la cantidad y tipo de peptidoglicano. Las bacterias grampositivas retienen el colorante cristal violeta por su gruesa capa de peptidoglicano, en cambio, las gramnegativas lo pierden en la decoloración y se tiñen con safranina o fucsina, de color rosado o rojo (Li et al., 2020).

En los últimos años se han logrado mejoras en las técnicas de tinción de Gram y en la automatización y digitalización de imágenes. Por ejemplo, Li et al. (2020) desarrollaron un método estandarizado de tinción de Gram con un instrumento automatizado, lo que reduce la variabilidad y mejora la reproducibilidad. Además, en estudios recientes se ha utilizado IA para analizar y clasificar bacterias en láminas teñidas (McMahon et al., 2025).

Estas tecnologías encuentran aplicación en campos como la ingeniería química, donde la detección rápida y sensible de microorganismos es de gran importancia para el control de calidad y seguridad de procesos industriales, en particular bioprocesos y fermentaciones.

Procedimiento de la técnica de tinción

Figura 23. “Tinción de Gram”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre la tinción de gram generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La tinción de Gram es una técnica diferencial que permite distinguir bacterias grampositivas de gramnegativas en función de las características de su pared celular. A continuación, se detalla el procedimiento habitual, según las últimas recomendaciones y actualizaciones (Li et al., 2020; Wu & Yang, 2020):

Materiales:

Para la tinción de Gram se requiere: portaobjetos con frotis bacteriano fijado por calor, cristal violeta, lugol (yodo), decolorante (alcohol etílico al 95% o acetona-alcohol), safranina o fucsina básica, agua destilada y microscopio óptico.

Pasos a seguir:

1. Preparación del frotis:

Inicia extendiendo una pequeña muestra bacteriana sobre un portaobjetos limpio. Déjalo secar al aire y fíjalo pasando suavemente el portaobjetos por la llama de un mechero; esto hará que las bacterias se peguen al cristal y conserven su forma.

2. Tinción inicial:

Cubra todo el frotis con la solución de cristal violeta durante 1 minuto. A continuación, enjuaga suavemente con agua destilada para eliminar el exceso de tinte.

3. Mordentado:

Cubre el frotis con la solución de lugol (yodo) durante 1 minuto. El yodo sirve de mordiente, al combinarse con el cristal violeta en el interior de la célula bacteriana. De nuevo, enjuaga suavemente con agua destilada.

4. Decoloración:

Añade alcohol etílico al 95% (o acetona-alcohol) gota a gota sobre el frotis durante 10-20 segundos, o hasta que el líquido que escurre sea casi incoloro. Debe enjuagarse inmediatamente con agua destilada para detener la decoloración en el punto preciso.

5. Contratinción:

Cubre el frotis con safranina o fucsina básica durante 1 minuto. Aclarar después con agua destilada y dejar secar el portaobjetos.

6. Al microscopio:

Finalmente, observa el frotis teñido bajo un microscopio óptico, preferiblemente con el objetivo de inmersión de 100x. En este paso, notarás que las bacterias grampositivas se ven de color violeta o azul oscuro, y las gramnegativas se ven de color rosa o rojo.

Aspectos técnicos y últimos avances

El tiempo de decoloración es esencial; demasiado tiempo puede dar lugar a resultados falsos negativos (bacterias grampositivas que se tiñen de gramnegativas).

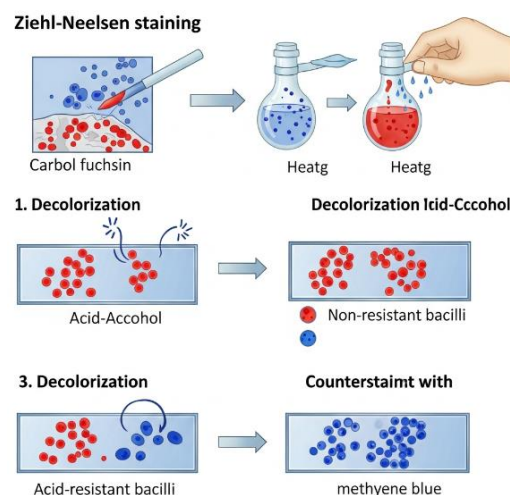
El uso de instrumentos automatizados puede aumentar la reproducibilidad del método y disminuir los errores humanos (Li et al., 2020).

Métodos novedosos, como el uso de tubos capilares, han logrado mayor eficiencia y menor consumo de reactivos (Wu & Yang, 2020).

- **Tinción de Ziehl-Neelsen**

La tinción de Ziehl-Neelsen es una tinción diferencial rápida y barata, la cual es de gran importancia para identificar bacterias ácido-alcohol resistentes (BAAR), como *Mycobacterium tuberculosis* y otras bacterias relacionadas, ya que resisten la decoloración con alcohol-ácido. Esta técnica aún se usa en lugares con pocos recursos. (Datta, Kumar, & Chatterjee, 2024)

Figura 24. “Tinción Ziehl-Neelsen”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre la Tinción Ziehl-Neelsen de por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Usos diagnósticos y sensibilidad.

En muestras de aspirado con aguja fina (FNAC) para linfadenitis tuberculosa, la combinación de citología y tinción de Ziehl-Neelsen es un método diagnóstico eficaz, según un estudio reciente. (Kumbi, Ali, & Abate, 2024)

En pacientes con sospecha de tuberculosis pulmonar, pero con esputo negativo o no productor de esputo, la sensibilidad de la tinción de Ziehl-Neelsen en líquido de lavado broncoalveolar fue de 23,08 %, en tanto que la prueba molecular CBNAAT logró 92,31 %, siendo esta más confiable para el diagnóstico en estos casos. (Tiwari, Maqusood, Ramakrishna, & Rastogi, 2020)

En comparación con la prueba molecular GeneXpert MTB/RIF, la tinción de Ziehl-Neelsen fue mucho menos sensible (4,78 % vs. 10,42 % de positividad) en una variedad de muestras clínicas, lo que demuestra la superioridad de las técnicas moleculares para detectar casos con baja carga bacilar. (Hamal et al., 2022)

Confirmación microbiológica en cultivos.

La tinción de Ziehl-Neelsen es todavía útil para la confirmación rápida de cultivos de *Mycobacterium tuberculosis*, pero no es capaz de diferenciar entre *M. tuberculosis* y otras micobacterias (MOTT). En este caso, la prueba de antígeno MPT64 añade especificidad y confirma la presencia de *M. tuberculosis* en cultivos positivos. (Indrasari, Kurniati, Dermawan, & Sufa, 2025)

Cambios en la técnica

La tinción modificada de Ziehl-Neelsen para *Mycobacterium leprae* es útil para estimar la carga bacilar en lepra, clasificar tipos clínicos, medir la respuesta al tratamiento y distinguir entre recaídas y reacciones tardías de reversión. (Mohan et al., 2022)

Las tinciones y la microscopía permiten:

- Clasificar e identificar microorganismos.
- Estudiar las estructuras morfológicas y fisiológicas.
- Identificar infecciones por micobacterias y bacterias.
- Garantizar la calidad de los cultivos microbianos.

La inteligencia artificial y la microscopía digital se unen en la microbiología actual para automatizar el análisis de imágenes y mejorar la exactitud del diagnóstico y reducir los errores humanos (Hardō et al., 2024).

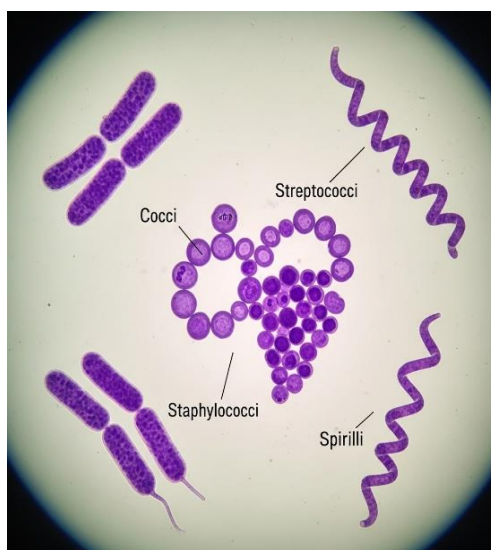
1.9 Morfología y clasificación de microorganismos

La morfología (forma, tamaño, estructura) y taxonomía (clasificación) de los microorganismos son determinantes para comprender su función en los procesos biotecnológicos e industriales, como la ingeniería química. Los microorganismos son vitales en bioprocesos, biocatálisis, tratamiento de residuos, etc. A continuación, se abordan los principales grupos de microorganismos: bacterias, hongos, protistas y virus.

1.9.1 Bacterias

Las bacterias son microorganismos unicelulares procariotas de gran variedad morfológica. Las bacterias pueden ser esféricas (cocos), en forma de bastón (bacilos), espirales, vibrioniformes o filamentosas/ramificadas. La clasificación morfológica se puede clasificar en base a la forma celular, tales como bacilos (alargados) y cocos (esféricos) (Madigan et al., 2021). También la pared celular bacteriana, gruesa o fina según la especie, determina las propiedades físicas y químicas de la célula, como la capacidad de adaptación a distintos medios (Skarstad, 2023).

Figura 25. “Bacterias vistas al microscopio”



Fuente: Tomado de: <https://www.goodfreephotos.com/other-photos/bacteria-under-a-microscope.jpg.php>

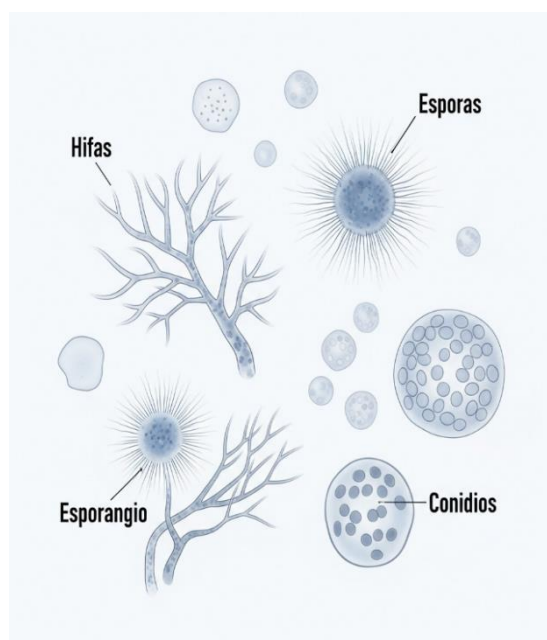
Una propiedad que caracteriza la morfología bacteriana es la tinción de Gram, una tinción diferencial que permite distinguir entre bacterias Gram positivas y Gram negativas, con consecuencias en el comportamiento de las bacterias en procesos industriales (Rhoads et al., 2020).

Desde su descubrimiento, la clasificación de las bacterias se hizo por criterios morfológicos y bioquímicos, hasta llegar a una clasificación molecular utilizando como marcador molecular el ARN ribosomal 16S (Woese et al., 2021). Esta metodología ha transformado la clasificación y ha revelado relaciones evolutivas inesperadas entre bacterias muy distantes. De acuerdo con Klenk y Kogure (2022), las bacterias se agrupan en filos, siendo los más comunes los Firmicutes, Proteobacteria y Actinobacteria, de acuerdo con la secuencia genética del ARN 16S.

1.9.2 Hongos

Los hongos presentan gran variedad de formas: unicelulares (levaduras) o multicelulares complejas (hongos filamentosos). Los hongos filamentosos tienen hifas que forman el micelio. Las hifas pueden tener paredes celulares rígidas de quitina, lo que les permite crecer en superficies variadas (Aguirre et al., 2022). La morfología también incluye estructuras reproductivas como esporas y conidias, que permiten dispersar al organismo en nuevos sustratos (Gautam et al., 2022).

Figura 26. “Hongo y sus constituyentes”



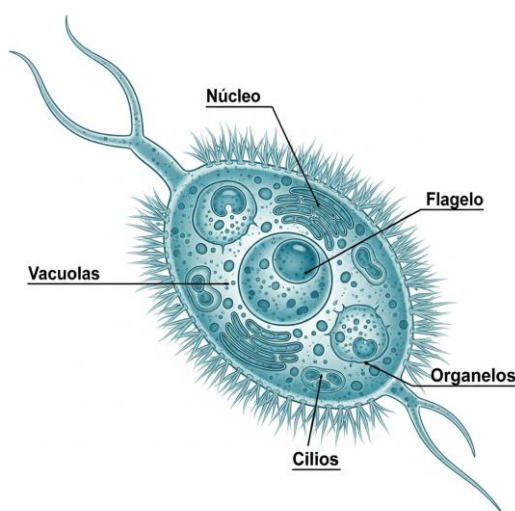
Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre hongos generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La clasificación de los hongos siempre se ha basado en su morfología, pero hoy en día se usa también el análisis molecular. Según Xu et al. (2023), los hongos se agrupan en dos grandes grupos: dikarya (ascomicetos y basidiomicetos) y no dikarya (zigomicetos y quitromicetos). Además, las secuencias de ADN han aumentado la resolución en la clasificación y han descubierto nuevas especies (Gautam et al., 2022).

1.9.3 Protistas

Las algas y los protozoos son ejemplos de protistas, un grupo diverso de organismos eucariotas que incluye tanto organismos unicelulares como multicelulares. Estos organismos son muy diversos en formas y tamaños, desde algas flageladas hasta amebas pseudópodos (Gómez et al., 2022). Los protistas tienen estructuras locomotoras especializadas, como cilios, flagelos o pseudópodos, que les permiten moverse y alimentarse. Esto les permite colonizar distintos hábitats acuáticos (Jamy et al., 2023).

Figura 27. “*Protista y sus constituyentes*”



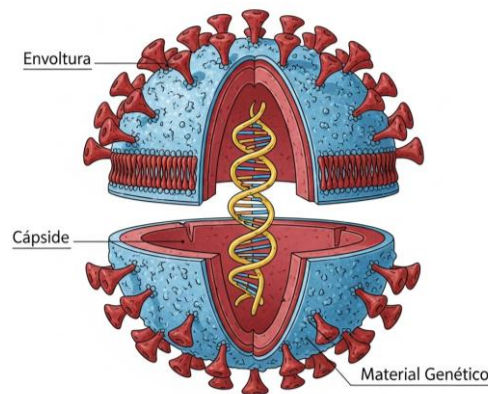
Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre protistas generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La variedad de los protistas dificulta su clasificación. Según un estudio reciente de Jamy et al. (2023), los protistas se agrupan en diferentes tipos, según sus características genéticas y morfológicas, como las algas unicelulares, los ameboides, los ciliados y los flagelados. Con el avance de las tecnologías de secuenciación de ADN, este método taxonómico se sigue revisando (Gómez et al., 2022).

1.9.4 Virus (visión general)

Los virus son agentes acelulares formados por material genético envuelto en una cápside proteica y, a menudo, una envoltura lipídica derivada de la célula huésped. Los viriones pueden ser helicoidales, icosaédricos o complejos, dependiendo del tipo de virus (Ochoa et al., 2022). Los virus no son celulares y se replican solo dentro de las células vivas, lo que la diferencia de otros microorganismos.

Figura 28. “Estructura de un virus”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [17/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La clasificación de los virus siempre se ha hecho morfológicamente, pero hoy en día se usa más la información genética. Según el sistema de Baltimore (Baltimore, 2021), los virus se agrupan en siete clases, en función de su forma de replicación y del tipo de material genético que portan (ARN o ADN). La clasificación viral según la estructura del capsídeo y las secuencias de ADN se revisó en un informe actualizado que agregó nuevas especies virales a la base de datos (Ochoa et al., 2022).

Capítulo II

2. Toma de muestras e identificación de microorganismos

2.1 Principios de muestreo microbiológico

En la microbiología para ingenieros químicos, la toma de muestras es una etapa crítica porque de ella dependen los resultados en términos de representatividad, exactitud y aplicabilidad. Para flujos industriales, matrices diversas (alimentos, ambientes, aguas) y procesos dinámicos (biorreacciones, tratamiento de agua, producción continua), se debe diseñar un plan de muestreo que especifique: el objetivo del muestreo; la naturaleza de la matriz; la frecuencia; el tamaño; los puntos; las condiciones de toma (asepsia, transporte, conservación); los microorganismos a vigilar y los posibles sesgos del muestreo. En matrices alimentarias heterogéneas, la muestra debe ser representativa del lote para evitar conclusiones erróneas por una distribución no uniforme de microorganismos (Aybar Espinoza et al., 2023).

Figura 29. “Muestreo microbiológico”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Además, en un ambiente de ingeniería química se debe considerar la variabilidad espacial (puntos de flujo y recirculación) y temporal (inicio de operación, estabilización, picos de carga) que pueden modificar la carga microbiológica en el momento del muestreo. En los programas de vigilancia ambiental industrial, los datos adquieren significado cuando se analizan en términos de tendencias, no como cifras aisladas (Sandle, 2022).

Entonces, las reglas básicas del muestreo microbiológico son:

- Definir exactamente la matriz de muestreo y los objetivos.
- Seleccionar sitios críticos de muestreo (por ejemplo, áreas de estancamiento, puntos de contacto, biofilms, salidas de línea).
- Definir el método de muestreo, la frecuencia y el tamaño de muestra para lograr representatividad.
- Para evitar la contaminación exógena o la alteración de la muestra, se deben garantizar condiciones asépticas de transporte, conservación y muestreo.
- Documentar el método de muestreo, la trazabilidad y la vinculación con el análisis microbiológico.
- Analizar los resultados en función de las tendencias y tomar medidas correctivas si se observan desviaciones (Sandle, 2022).

2.1.1 Muestreo en alimentos

El muestreo microbiológico de alimentos debe tener en cuenta la heterogeneidad de la matriz alimentaria, la posibilidad de que los microorganismos se distribuyan de forma no uniforme, el historial del producto (procesamiento, almacenamiento, transporte) y los criterios de aceptación definidos (por ejemplo, estándares internacionales o nacionales). Aybar Espinoza et al. (2023) encontraron que en una encuesta realizada a laboratorios de operadores alimentarios con programas de autocontrol basados en HACCP, existían diferencias en los protocolos de análisis y muestreo, lo que dificulta la comparabilidad de resultados entre países.

Figura 30. “*Muestreo en alimentos*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Desde la mirada de la ingeniería química de alimentos, los factores técnicos comprenden: el tamaño de la muestra, la forma de muestreo (homogeneización líquida vs. muestreo superficial/interno en un sólido), la cadena de frío en el transporte, el tiempo entre la toma y el análisis y la elección de medios selectivos para los microorganismos diana (indicadores o patógenos). El etiquetado con información esencial (fecha/hora, lote, operador, condiciones de transporte, punto de muestreo, etc.) es fundamental para asegurar la trazabilidad.

2.1.2 Muestreo en ambientes industriales

El muestreo en ambientes industriales (aire, superficies, desagües, áreas de producción, etc.) es una herramienta de control de inoculación y propagación de microorganismos en líneas de producción. En estos sitios un punto de contaminación puede comprometer la calidad del producto, el proceso químico o la seguridad del proceso. Según Sandle (2022), un programa de monitoreo ambiental bien diseñado debe incluir alertas de desviación, responsabilidades claras, frecuencia de muestreo y acciones correctivas asociadas.

Figura 31. “*Muestreo en ambientes industriales*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

En ingeniería química se habla de control de biofilms en tuberías, zonas donde el agua o los residuos se estancan, áreas limpias o estériles de reactores microbianos y sistemas de tratamiento de corrientes residuales en los que la carga microbiológica puede afectar negativamente al proceso. Debe elaborarse un "mapa de muestreo" para identificar puntos críticos (por ejemplo, áreas con alto riesgo de contaminación cruzada), flujos de agua o producto, áreas difíciles de limpiar y puntos susceptibles a recontaminación. También se debe

anotar el método (placa de contacto, hisopo, muestreo aéreo por impacto), la duración, la frecuencia y el intervalo del muestreo.

2.1.3 Muestreo en agua

El agua es un ingrediente en procesos de ingeniería química (sistemas de reciclaje, agua de proceso, aguas residuales, circuitos de refrigeración...) y su muestreo microbiológico impacta en la seguridad del proceso (contaminación cruzada, biofouling o corrosión microbiológica) y en la calidad del producto final. Zamorska, Karwowska y Przysaś (2023), en un nuevo estudio, compararon la citometría de flujo y la luminometría con los métodos convencionales de cultivo para establecer la calidad microbiológica de distintos tipos de agua (de lluvia, subterránea o superficial).

Figura 32. “Muestreo en ambientes industriales”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

En el muestreo de agua se debe considerar: la fuente (agua reciclada, de enfriamiento, pozo o red), si es "grab" (instantánea) o compuesta, los filtros o membranas de muestreo, las condiciones de preservación y transporte y la selección de indicadores y parámetros microbiológicos. Además, los puntos de muestreo (entrada/salida, antes/después del tratamiento, puntos de consumo, zonas críticas de biofouling, etc.) deben ser localizados apropiadamente para que el muestreo sea representativo y de utilidad.

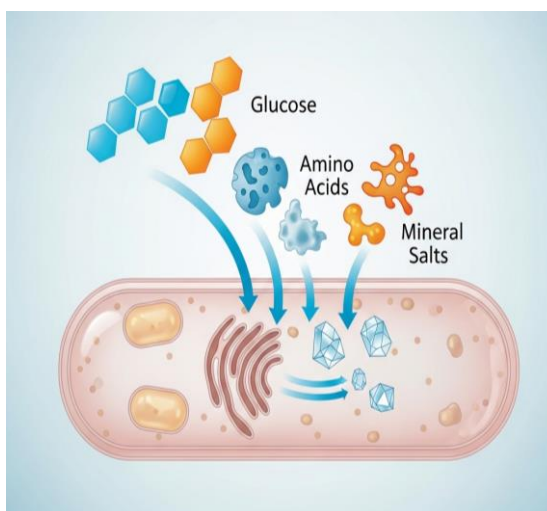
2.2 Nutrición bacteriana y condiciones de crecimiento

La nutrición y las condiciones de crecimiento bacterianas son fundamentales para la microbiología básica y para su aplicación en ingeniería química. La capacidad de una bacteria para multiplicarse, crecer y llevar a cabo procesos metabólicos en biorreactores, tratamiento de aguas, biocatálisis o fermentación depende de dos grandes factores: (a) la naturaleza y disponibilidad de nutrientes (micro y macro) que permitan el catabolismo y anabolismo bacteriano; y (b) las condiciones ambientales (presión, oxígeno, pH, temperatura, A_w , etc.) en las cuales estas bacterias pueden prosperar.

2.2.1 Nutrición de las bacterias

Las bacterias requieren vitaminas o cofactores, una fuente de carbono, nitrógeno y elementos minerales (P, S, K, Mg, Ca, Fe), y en muchos casos fuentes específicas de energía (orgánicas o inorgánicas) y aceptoras de electrones (facultativas, anaerobias o aerobias). Las bacterias lácticas, por ejemplo, poseen vías metabólicas para proteínas e hidratos de carbono que permiten su aplicación en la fermentación de alimentos (Wang et al., 2021). En ese sentido, Yeboah et al. (2023) señalan que para lograr medios de crecimiento efectivos se deben conocer las fuentes de nitrógeno y carbono y la presencia de azúcares, péptidos, aminoácidos, oligoelementos y sales minerales; en caso contrario, el crecimiento se limita.

Figura 33. “Nutrientes de las bacterias”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

“Las bacterias lácticas pueden hidrolizar polisacáridos complejos y requieren cofactores, aminos y aminoácidos específicos para crecer en condiciones de fermentación” (Wang et al., 2021).

En ingeniería química, para hacer más eficiente el proceso, mejorar el rendimiento y la tasa de crecimiento al diseñar un biorreactor para bacterias, se debe de plantear bien el medio de cultivo (sustrato de crecimiento en cultivos continuos o reciclados). La nutrición bacteriana también afecta directamente la densidad celular, el rendimiento (Y), la producción de subproductos, la estabilidad del sistema y la tasa específica de crecimiento (μ).

Las restricciones nutricionales también impactan. Como señalan González y Aranda (2023), cuando se analizan microorganismos en condiciones limitadas de crecimiento, las bacterias pueden activar vías de mantenimiento, alterar su fisiología y manifestar formas de supervivencia que dan lugar a una menor productividad. Según los autores:

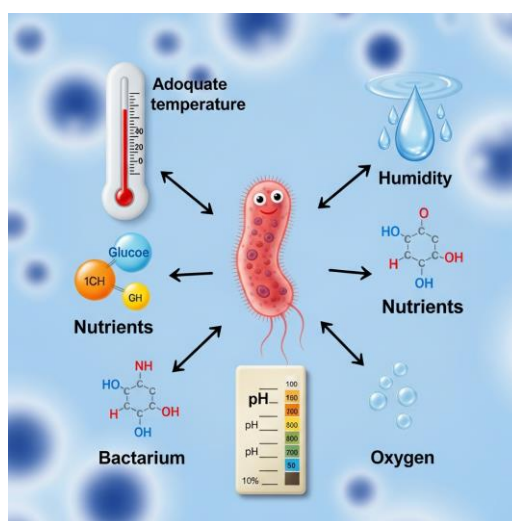
González y Aranda (2023) señalan que “conocer los comportamientos microbianos en condiciones de metabolismo de mantenimiento y crecimiento próximo a cero abre nuevas posibilidades para la industria”.

Esto es particularmente relevante en aplicaciones industriales o de tratamiento, donde las bacterias operan en condiciones subóptimas de flujo o sustrato.

2.2.2. Factores que favorecen el crecimiento bacteriano.

La capacidad de las bacterias para crecer y mantener su metabolismo depende de las condiciones externas del medio, tales como la presión osmótica, el flujo y la agitación, el pH, la temperatura, la luz (para microorganismos heterótrofos/fotoautótrofos), la disponibilidad de electrones/oxígeno y la actividad del agua (a_w). Según un artículo reciente, "la temperatura, el pH, la disponibilidad de nutrientes, los niveles de oxígeno y la humedad" (Kumakura et al., 2023) son factores que influyen en el crecimiento bacteriano.

Figura 34. “Factores que favorecen el crecimiento bacteriano”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Por ejemplo, en las redes de agua se ha observado que el aumento de temperatura favorece la proliferación de ciertas bacterias y cambia la comunidad microbiana (Waagenaar et al., 2024).

Desde la ingeniería química se deben conocer los valores óptimos de estos parámetros para diseñar reactores controlados y evitar inhibición de crecimiento, contaminación o bioincrustación. Se mencionan las siguientes:

Temperatura: Las bacterias tienen una temperatura óptima de crecimiento (termófilas, mesófilas y psicrófilas); si se sale de ese rango, el crecimiento se reduce o se detiene.

pH: A pH extremos puede detenerse el crecimiento o iniciarse la esporulación. La mayoría de las bacterias crece mejor a pH ácido o neutro.

Oxígeno/ disponibilidad de aceptores: Las bacterias anaerobias precisan aceptores alternativos y las aerobias, oxígeno; la transferencia de oxígeno en biorreactores es crítica.

Presión osmótica y aw: La inhibición del crecimiento se da cuando el aw se reduce (azúcares, sales, eliminación de humedad). En procesos alimentarios, esta es una forma de control (ver FATTOM: oxígeno, tiempo, actividad de agua, temperatura, acidez y nutrientes) (FoodSafety Network, 2024).

Licencias/nutrientes de sustrato: Aunque ya hemos hablado de nutrición, la tasa y disponibilidad de nutrientes, junto con las condiciones físicas, determinan la velocidad de

crecimiento. Por ejemplo, Rajpurohit et al. (2022) mencionan que en cultivos con nutrientes limitados las bacterias sobreviven y utilizan estrategias de conservación, pero no crecen rápidamente.

Estrés químico/físico: La fisiología bacteriana se ve influenciada por la presión, la fuerza iónica, la agitación mecánica, la toxicidad de los productos finales, etc.

2.2.3 Nutrición y condiciones de desarrollo y su importancia en la ingeniería química.

En aplicaciones de ingeniería química, tales como tratamiento de aguas, fermentaciones industriales, biocatalizadores o biorreactores con bacterias, se deben optimizar simultáneamente las condiciones de crecimiento y nutrición. Un reactor de crecimiento bacteriano continuo, por ejemplo, requiere: un medio adecuado (nutrición), control de temperatura y pH, transferencia eficiente de oxígeno, mezcla para evitar zonas muertas y remoción de productos tóxicos.

Pero también hay que considerar el escalamiento; lo que se consigue en el laboratorio en condiciones controladas no siempre se consigue a escala industrial. En ese sentido, Elazzazy (2025) indica que "los tipos de fermentación industrial son por lotes, por lotes alimentados y continuos; los parámetros biológicos como el pH, la temperatura, la concentración de nutrientes, el oxígeno disuelto y la biomasa se controlan y se fijan de por vida" (Elazzazy, 2025, p. 6). Por lo tanto, la nutrición y las condiciones de crecimiento no son variables independientes; se integran en el diseño del proceso, la optimización operativa y el control de calidad.

Finalmente, la variabilidad de crecimiento rápido, lento o en mantenimiento impacta en la estabilidad del biorreactor, la formación de biofilm o espuma, la separación sólido-líquido, la reutilización de biomasa, la limpieza de sistemas, etc. Conocer los factores que restringen el crecimiento bacteriano (nutrición, condiciones adversas) permite anticipar problemas operativos, tales como bajo rendimiento, acumulación de inhibidores, mantenimiento excesivo o cambios en la fisiología del microorganismo.

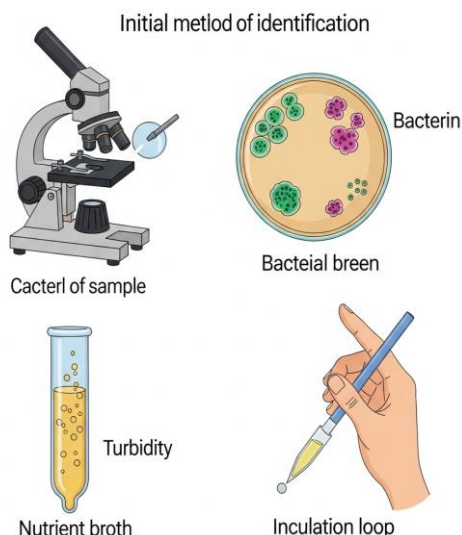
2.3 Reconocimiento e identificación de bacterias

2.3.1 Identificación inicial de bacterias

El reconocimiento de bacterias es el primer paso para conocer a qué microorganismo nos enfrentamos. Esto nos guía en qué hacer a continuación, como iniciar un tratamiento o realizar más investigaciones. Para identificar una bacteria, primero se observa a simple vista y al microscopio. Algunas pruebas sencillas, como la tinción de Gram, nos informan si la bacteria

es grampositiva o gramnegativa, lo que ya nos dice mucho. También podemos ver cómo crecen las bacterias en una placa de Petri, si forman gases, si cambian de color los medios, etc.

Figura 35. “Identificación de bacterias”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

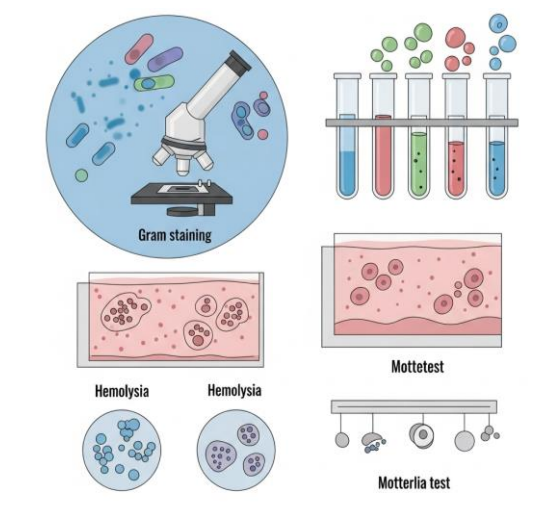
Según Ahmad et al. (2024), "las pruebas bioquímicas convencionales, como los medios de cultivo y las pruebas bioquímicas, siguen siendo cruciales para identificar microorganismos" (p. 2).

Estas primeras pruebas no nos dicen qué especie de bacteria es, pero nos permiten agruparlas en grandes grupos, como aerobias (que necesitan oxígeno) o anaerobias (que no necesitan). En ingeniería química, esta clasificación nos sirve, por ejemplo, cuando estamos tratando aguas residuales y queremos saber si las bacterias que se encuentran en ellas pueden vivir en condiciones de escasez de oxígeno.

2.3.2 Identificación bacteriana: métodos fenotípicos.

Una vez que conocemos a qué grupo pertenece la bacteria, podemos llegar a identificarla más específicamente por métodos fenotípicos. Estas técnicas se basan en el estudio de las características físicas y bioquímicas de las bacterias. Por ejemplo, si una bacteria es capaz de generar una enzima determinada (como la catalasa, que degrada el peróxido de hidrógeno) o de fermentar un determinado azúcar. Las bacterias también se clasifican por su forma (esférica o en forma de bastón), tamaño y respuesta a diversas sustancias químicas.

Figura 36. “Identificación bacteriana: métodos fenotípicos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

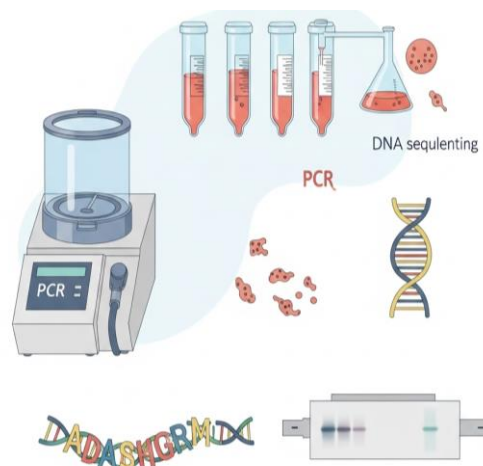
Si bien estos métodos nos aportan información, tienen ciertas limitaciones. Pueden tardar, porque hay que cultivar las bacterias, y no siempre logran distinguirlas entre especies muy parecidas. Además, muchas bacterias son fastidiosas y difíciles de cultivar, lo que dificulta su identificación.

Como indica Hafezi (2024), "las pruebas bioquímicas son una manera confiable de identificar bacterias, pero no están exentas de limitaciones".

2.3.3 Identificación bacteriana: métodos moleculares.

Con la tecnología actual podemos identificar bacterias con mayor precisión y en menor tiempo por medio de métodos moleculares. Una de las técnicas más comunes es la secuenciación del gen 16S rRNA. Esta técnica estudia una porción del ADN de la bacteria, lo que permite identificarla a nivel de especie, aunque no sea posible cultivarla.

Figura 37. “Identificación bacteriana: métodos moleculares”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Otra técnica es el MALDI-TOF, que mide las proteínas de la bacteria. Cuando se analizan estas proteínas, se puede decir con exactitud qué tipo de bacteria es en cuestión de minutos. Estos métodos son más rápidos y exactos que los convencionales y pueden detectar bacterias que no crecen en el laboratorio.

Como señalan Li et al. (2024), "la secuenciación del gen 16S rRNA es una forma eficaz de identificar bacterias de forma rápida y precisa".

Además, Chen et al. (2023) señalan que "el MALDI-TOF MS es una técnica fiable para identificar bacterias en poco tiempo".

2.3.4 ¿Cómo seleccionar el método de identificación adecuado para la aplicación?

En ingeniería química el método de identificación lo elegiremos en función de lo que queramos conocer. Si nos encontramos en un proceso industrial, como una planta de tratamiento de aguas o un reactor biotecnológico, es de vital importancia detectar en tiempo real cualquier bacteria que pueda alterar la calidad o el rendimiento del proceso. En estos casos, los métodos moleculares como la secuenciación del gen 16S rRNA o MALDI-TOF pueden ser de gran ayuda por su rapidez y exactitud.

Pero si lo único que hacemos es un control de rutina o necesitamos identificar bacterias comunes, las técnicas convencionales (tinción de Gram, pruebas bioquímicas) pueden ser suficientes.

Además, hay procesos industriales que necesitan saber no solo qué bacteria está presente, sino también cómo puede impactar el proceso. Por ejemplo, ciertas bacterias crean biopelículas que obstruyen tuberías o corroen equipos. En estos casos, además de reconocer la bacteria, necesitamos conocer cómo se comporta en condiciones variables, por ejemplo, si es muy resistente a cambios de temperatura o de pH.

2.3.5 Limitaciones y precauciones en el uso de estos métodos.

Si bien las formas actuales de identificación bacteriana son muy útiles, hay ciertas consideraciones que debemos tener en cuenta:

Forma de cultivo: Algunos enfoques, como la secuenciación del gen 16S, necesitan que las bacterias se cultiven primero, lo que lleva tiempo o puede ser imposible si las bacterias son difíciles de cultivar.

Exactitud de las bases de datos: Los métodos moleculares se apoyan en bases de datos para comparar el ADN o las proteínas de las bacterias. Si estas bases de datos no están lo suficientemente completas o actualizadas, puede haber errores de identificación.

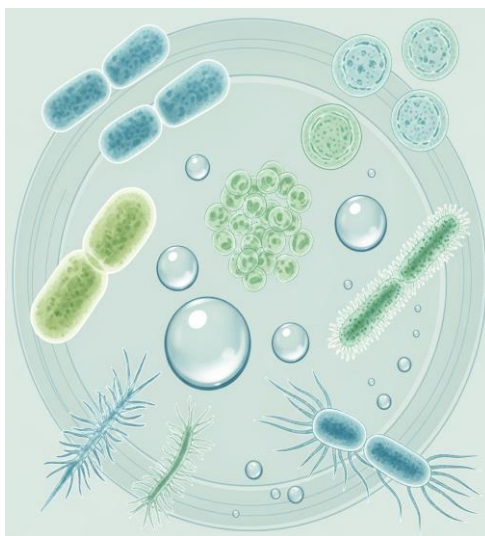
Costo y recursos: Los métodos más sofisticados, como la secuenciación de ADN o MALDI-TOF, son caros y necesitan equipos especializados que no siempre están disponibles.

2.4 Microorganismos indicadores

2.4.1 Definición y función de los microorganismos indicadores

Los microorganismos indicadores son los que permiten revelar la presencia de otros microorganismos o condiciones que pueden ser perjudiciales para el proceso en el que participan o para la salud. Estos indicadores no son dañinos en sí mismos, pero su presencia, ausencia o niveles pueden servir de advertencia para identificar afecciones o problemas peligrosos. Por ejemplo, los indicadores de contaminación fecal en el agua son bacterias del género *Enterococcus* o *Escherichia coli*. "Las bacterias indicadoras de heces se han utilizado para determinar la contaminación fecal del agua y los riesgos para la salud durante más de 150 años", señalan Ahmad et al. (2024).

Figura 38. “*Microorganismos indicadores*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

2.4.2 Tipos de indicadores y su aplicación industrial

La elección de un tipo u otro de microorganismo indicador vendrá determinada por la finalidad de la aplicación, ya que existen diferentes tipos. A continuación, se mencionan algunos de los más utilizados en el ámbito industrial:

Indicadores de contaminación fecal en el agua: Las especies de *Enterococcus* y *Escherichia coli* son las más halladas en la industria del tratamiento de aguas. Se usan estas bacterias como indicador de contaminación fecal, ya que donde están presentes puede haber patógenos dañinos. Chowdhury et al. (2025) afirman que "el control de bacterias indicadoras fecales como *Enterococcus* y *E. coli* en aguas recreativas es de importancia para la salud pública".

Indicadores de carga microbiana en ambientes industriales: La tasa de crecimiento de microorganismos, la respiración basal o los indicadores de biomasa microbiana se pueden usar para evaluar la salud y el desempeño de un proceso industrial. Semenov et al. (2025) señalan que "la respiración y la biomasa microbiana son buenos indicadores para pronosticar las condiciones microbiológicas en ambientes industriales".

Indicadores por métodos moleculares: Con el avance tecnológico ya se utilizan métodos de secuenciación, genes de resistencia y marcadores moleculares para detectar cambios en la microbiota. "Los indicadores microbianos son capaces de anticipar los niveles de

contaminación en sitios impactados, usando herramientas moleculares", aseguran Griffero et al. (2024).

Estos indicadores permiten identificar de manera temprana problemas como obstrucciones en sistemas de membranas, contaminación del agua de proceso o formación de biopelículas en tuberías, mejorando el control de calidad y la seguridad en procesos de ingeniería química.

En ingeniería química se usan microorganismos indicadores para asegurar la calidad microbiológica en procesos tales como purificación de aguas, biorreactores o producción de alimentos. Estos microorganismos pueden actuar como una primera alerta para detectar fallos en el sistema de tratamiento o para confirmar que el proceso se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

2.4.3 Criterios de selección del microorganismo indicador

Un microorganismo indicador de calidad debe cumplir ciertos requisitos, tales como:

Presencia constante: El microorganismo debe estar siempre presente en una situación de riesgo, como un tratamiento fallido o una contaminación.

Fácilmente detectable: Por medios sencillos, rápidos y baratos, debe ser fácil de reconocer.

Resistencia similar a la de los microorganismos patógenos: El comportamiento del indicador debe ser similar al de los patógenos, especialmente en lo que se refiere a la resistencia a las medidas que se tomen.

Asociación con las condiciones o patógenos de interés: El indicador se debe correlacionar con la presencia de microorganismos patógenos o con el proceso que se está controlando.

Según Eurofins (2024), "la elección adecuada de microorganismos indicadores se hace en función de su capacidad para anticipar las condiciones de contaminación en un entorno productivo".

2.4.4 Interpretación de resultados y su relevancia para la ingeniería química

Para hacer elecciones prácticas en ingeniería química, hay que saber leer lo que logran microorganismos reveladores. Por ejemplo, en un reactor biológico o en un proceso de tratamiento de agua, tener altos niveles de un indicador como *E. coli* puede ser señal de que

fallaron los procesos de filtración o desinfección. Esto implica que hay que ajustar los sistemas de control, como la frecuencia de flujos, las dosis de desinfectantes o el mantenimiento de las membranas.

Los indicadores también pueden revelar dónde se está contaminando o si una limpieza fue efectiva. Según Durstock et al. (2025), "el uso de indicadores microbiológicos permite identificar y corregir rápidamente los problemas operativos que puedan surgir en los sistemas de tratamiento de agua".

2.4.5 Limitaciones y buenas prácticas en el uso de microorganismos indicadores

Los microorganismos indicadores, aunque muy útiles, también tienen limitaciones. Pero no siempre los datos que analizamos son un reflejo de las condiciones de contaminación o enfermedad que pretendemos controlar. Por ejemplo, las bacterias coliformes no siempre se asocian con la presencia de patógenos como *Vibrio cholerae* o *Salmonella*. En esa misma línea, Chavarría et al. (2024) señalan que "las pruebas de indicadores fecales cultivables pueden no ser un buen indicador de contaminación fecal en todos los entornos".

Por lo cual, la elección del indicador debe de hacerse con cuidado, en dependencia de las características específicas del entorno y del proceso. Para que los resultados sean fiables, los métodos de muestreo deben estar bien definidos y ser robustos.

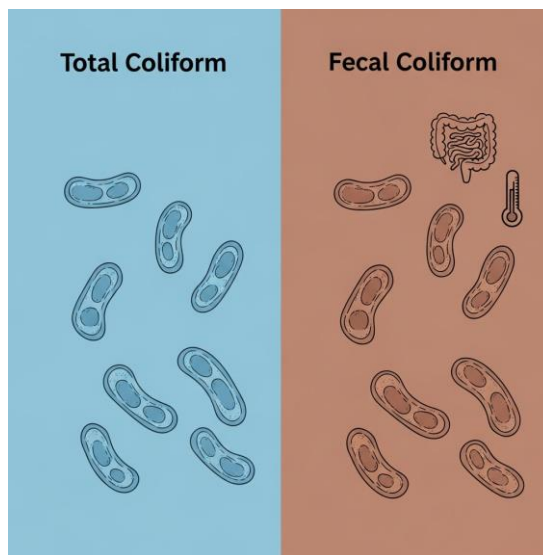
2.5 Coliformes fecales y totales

2.5.1 Definición y diferencias

Los *coliformes totales* son un grupo de bacterias Gram negativas, la generación de gas se produce a 35-37°C en 24-48 horas, fermentadoras de lactosa. Por otra parte, los coliformes fecales o termotolerantes son un subgrupo que se asocia principalmente con las heces de animales de sangre caliente y que crecen a temperaturas más elevadas (alrededor de 44,5 °C). Para ser usados como indicadores de contaminación, esta diferencia es esencial. Según Bai et al. (2022), "los *coliformes totales* incluyen *coliformes termotolerantes*, bacterias de origen fecal y otras bacterias que se adquieren del medio ambiente". Es importante diferenciarlos, ya que los coliformes fecales son indicadores específicos de contaminación fecal y, por lo tanto, un riesgo para la salud pública. Por otro lado, los coliformes totales son indicadores de contaminación general o deterioro de la calidad del agua, pero no necesariamente representan un riesgo inmediato. Los *coliformes fecales* "son más indicadores de contaminación fecal que

los *coliformes totales*, que no siempre son indicadores precisos de contaminación fecal", como señalan Chavarría et al. (2024).

Figura 39. “*Coliformes fecales y totales*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

2.5.2 Relevancia en ingeniería química

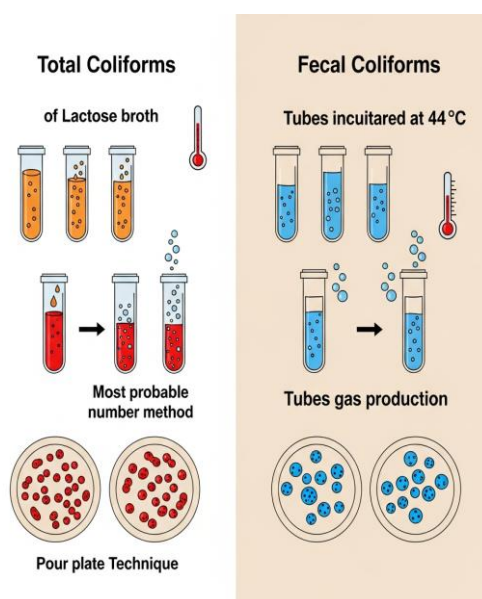
En industrias y medio ambiente, los *coliformes totales* y *fecales* se usan como indicadores de control de calidad del agua, efectividad de tratamientos y seguridad en procesos productivos. En ingeniería química, el seguimiento de estos microorganismos permite detectar fallos en sistemas de tratamiento de aguas, contaminación fecal en aguas residuales y eficacia de sistemas de recirculación o biorreactores. Por ejemplo, en plantas de tratamiento de agua, los *coliformes totales* pueden ser una primera señal de que los sistemas de filtración o desinfección necesitan ser revisados. Por otro lado, la elevación de *coliformes fecales* es señal de contaminación directa por heces y exige una acción inmediata para prevenir riesgos sanitarios. Como indican Aram et al. (2021), "los *coliformes totales* y *fecales* han sido empleados como indicadores sanitarios de la calidad del agua potable para evitar riesgos a la salud pública".

2.5.3 Métodos de detección y cuantificación

La cuantificación de *coliformes totales* y *fecales* se lleva a cabo mediante diferentes métodos de laboratorio. Entre los más empleados se encuentran los métodos de cultivo en medios selectivos y diferenciales, tales como el método de Membrane Filtration (MF) y el de

Números Más Probables (MPN). Estos métodos dan una idea de cuántas UFC hay en una muestra de agua o alimento y si sobrepasan los límites permitidos por la ley. Además, en los últimos años se han desarrollado técnicas moleculares como la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) y métodos de biología molecular para identificarlos de forma más rápida y específica. Como señalan Tamhai et al. (2023), "las técnicas moleculares y la PCR han sido capaces de detectar *coliformes fecales* y *totales*, acelerando el tiempo de análisis y disminuyendo los errores".

Figura 40. “*Coliformes fecales y totales*”

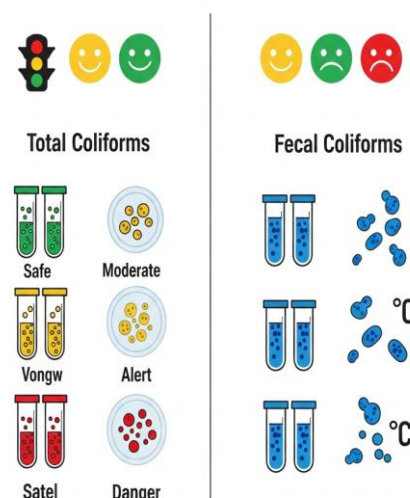


Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

2.5.4 Interpretación de resultados y umbrales

La interpretación de los resultados de los recuentos de coliformes viene dada por los límites que marca la normativa de calidad, la cual es diferente en función de la zona geográfica y el uso al que se destine el agua. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) determina que en el agua potable no deben estar presentes más de 5 UFC/100 mL de coliformes totales y ausencia de *coliformes fecales*. En plantas de tratamiento de agua industrial o biorreactores, los límites pueden ser más exigentes o ajustarse al proceso. La presencia de altos niveles de *coliformes fecales*, aun sin sobrepasar los límites, es señal de que algo está fallando en el sistema de desinfección o filtrado, y se deben tomar medidas correctivas. Como señalan Durstock et al. (2025), "los indicadores microbiológicos, como los *coliformes fecales*, permiten ajustar el tratamiento y mejorar la calidad del agua para consumo o de proceso".

Figura 41. “Identificación de resultados”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

2.5.5 Limitaciones y buenas prácticas

Si bien los *coliformes fecales* y *totales* son buenos indicadores de control microbiológico, tienen ciertas desventajas. Primero, los coliformes totales no siempre indican la presencia de patógenos, ya que algunas especies de coliformes son inofensivas; mientras que, otros patógenos pueden no ser detectados por estos indicadores. Además, las formas convencionales de cultivo son lentas en el tiempo de respuesta, lo que impide la agilidad en la toma de decisiones operativas. Chavarría et al. (2024) alertan que "la dependencia de los *coliformes totales* como únicos indicadores de contaminación fecal puede ser engañosa, sobre todo en climas tropicales".

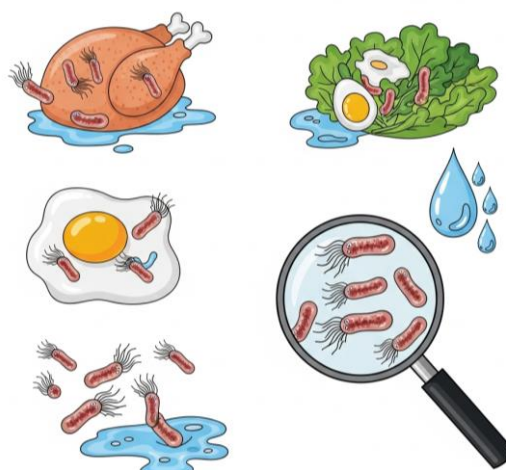
Por eso, siempre es aconsejable acompañar el análisis de coliformes con otras técnicas de control de calidad microbiológica, como la búsqueda de patógenos específicos o el uso de técnicas moleculares para una identificación más precisa. También es importante establecer buenas prácticas de muestreo, como la conservación adecuada de las muestras y el control de las frecuencias de análisis, para asegurar que los resultados sean representativos y sirvan para la toma de decisiones en los procesos industriales.

2.6 *Salmonella*: detección y control

2.6.1 Características relevantes de *Salmonella*

Salmonella spp. abarca dos especies principales: *Salmonella entérica* y *Salmonella bongori*. En particular, *S. entérica* causa la mayoría de los casos de salmonelosis en humanos y animales. *Salmonella* puede contaminar alimentos, agua y superficies industriales, siendo un importante patógeno en la industria alimentaria y de tratamiento de aguas. Según Patel et al. (2024), "las especies no tifoideas de *Salmonella* son una de las principales causas de enfermedad transmitida por alimentos en todo el mundo".

Figura 42. “*Salmonella*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

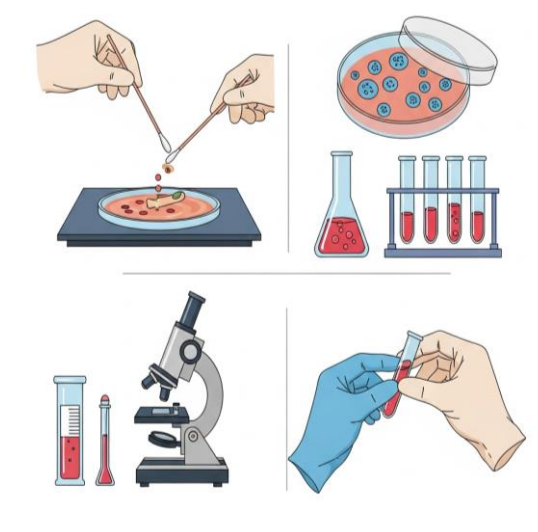
Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

2.6.2 Métodos de detección de *Salmonella*

La detección de *Salmonella* se puede clasificar en métodos tradicionales y emergentes.

Métodos tradicionales: Entre ellos se encuentran cultivos, enriquecimiento selectivo, medios diferenciales y pruebas de serotipado. Pero estos métodos pueden tardar de 24 a 72 horas en dar resultados. Bradford et al. (2024) compararon el límite de detección de *Salmonella* por métodos de cultivo y métodos rápidos, y el cultivo sigue siendo el "estándar de oro" para la detección, pero es más lento.

Figura 43. “Método de detección de *Salmonella*”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Nuevos métodos: Las nuevas tecnologías como la PCR (reacción en cadena de la polimerasa), los biosensores y las técnicas de biología molecular están transformando la detección de *Salmonella*. Konstantinou et al. (2024) crearon un biosensor para detectar *Salmonella* en productos cárnicos en 24 h con mayor sensibilidad.

2.6.3 Control industrial de *Salmonella*

El control de *Salmonella* en ambientes industriales y de tratamiento de aguas implica un enfoque de múltiples barreras que abarque higiene, desinfección, vigilancia y diseño adecuado de sistemas de tratamiento. Como señalan Nazir et al. (2025), la vigilancia microbiológica y el control de cepas multirresistentes son cruciales para evitar brotes de *Salmonella* en entornos industriales. Entre las medidas de control se encuentran el uso de desinfectantes como el cloro, la ozonización o tecnologías más modernas como los filtros UV.

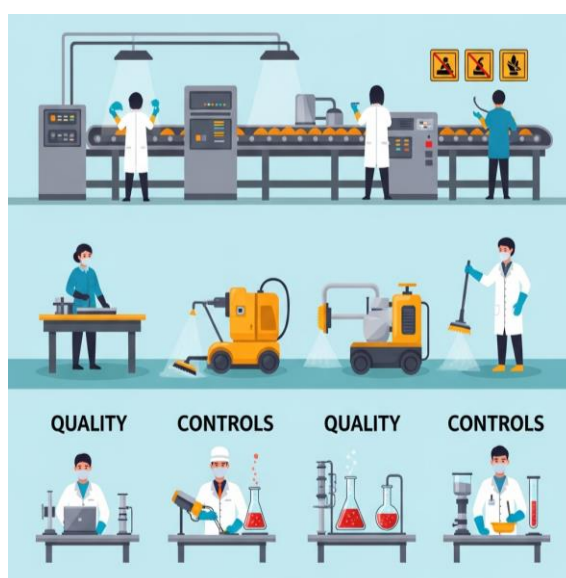
2.6.4 Aplicaciones en ingeniería química

En ingeniería química, el seguimiento de *Salmonella* es vital para diseñar y controlar sistemas de tratamiento de aguas, procesos de desinfección y biorreactores. La detección temprana de *Salmonella* por biosensores o métodos moleculares permite una intervención rápida y la modificación del tratamiento o las operaciones de la planta. Esto es especialmente importante en la reutilización de aguas o en el tratamiento de aguas residuales, donde el control de patógenos es esencial para garantizar la seguridad microbiológica.

2.6.5 Limitaciones y buenas prácticas

Si bien las técnicas avanzadas de detección son rápidas y sensibles, no están exentas de limitaciones. Los métodos convencionales, como el cultivo, pueden ser lentos, y las técnicas moleculares pueden ser costosas y requerir personal capacitado. Chavarría et al. (2024) alertan que los coliformes convencionales no siempre se correlacionan con la verdadera contaminación fecal, por lo que deben verificarse los métodos de detección en función de las matrices particulares del proceso industrial. Es aconsejable establecer técnicas adecuadas de muestreo y un sistema de control de puntos críticos (PCC) para garantizar que los resultados sean representativos y sirvan para la toma de decisiones.

Figura 44. “Control Industrial de salmonella”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

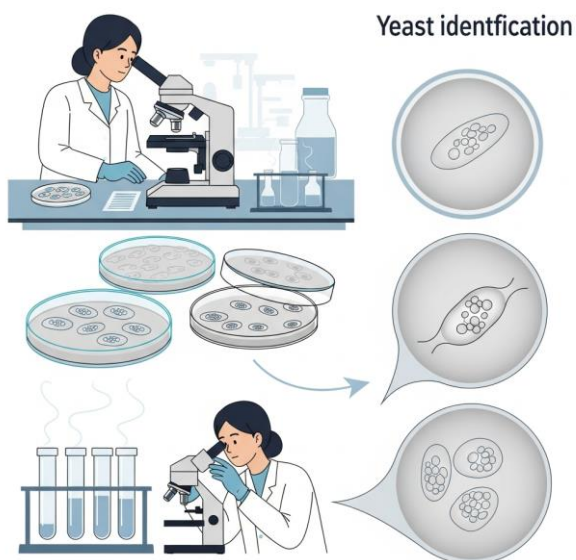
2.7 Mohos y levaduras: identificación y aplicaciones

2.7.1 Identificación de levaduras

La identificación de levaduras se puede hacer por métodos convencionales (cultivo, morfología y pruebas bioquímicas) o por técnicas moleculares (PCR y secuenciación), las cuales son más modernas. Morovati et al. (2023) indican que "los métodos convencionales para la identificación de levaduras patógenas son la microscopía y el cultivo; mientras que, las técnicas moleculares brindan una identificación más exacta y rápida".

Un estudio de Kovács et al. (2025) también señala que "la secuenciación del ADN ribosomal, como las regiones ITS y D1-D2, es esencial para la identificación precisa de levaduras en alimentos y entornos industriales".

Figura 45. “Identificación de levaduras”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

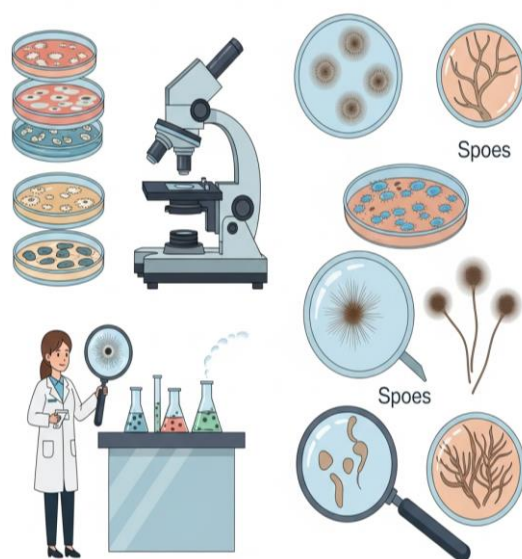
Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Esta identificación es de gran utilidad en la ingeniería química, en particular en procesos biotecnológicos, para escoger cepas de levaduras con características de interés para la fermentación y producción de metabolitos, y para detectar contaminantes en líneas de producción.

2.7.2 Identificación de mohos

La identificación de los mohos (hongos filamentosos) se hace observando su morfología, como las hifas y las esporas. Además, las nuevas tecnologías han mejorado esta identificación con técnicas como la espectrometría de masas MALDI-TOF MS. De acuerdo con un estudio de MALDI-TOF MS, "los sistemas MALDI-TOF MS pueden complementar los métodos tradicionales de identificación de mohos, alcanzando una diferenciación a nivel de especie".

Figura 46. “Identificación de mohos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

La identificación exacta de los mohos es esencial en ingeniería química para controlar los mohos en sistemas industriales, prevenir biopelículas y mejorar procesos de biotransformación y fermentación.

2.7.3 Aplicaciones en ingeniería química

Las levaduras y los mohos son ampliamente utilizados en ingeniería química. Las levaduras, por ejemplo, son productoras de biocombustibles, ácidos orgánicos y otros productos químicos. Yook et al. (2023) señalan que "las levaduras se han convertido en microorganismos importantes para la producción sostenible de biocombustibles, ácidos orgánicos y productos químicos de alto valor".

Por otro lado, los mohos y las levaduras también son aprovechados para generar alimentos y bebidas fermentadas, siendo esto crucial para la industria alimentaria. Según Lv et al. (2022), "los mohos y las levaduras son microorganismos económicamente importantes en la elaboración de alimentos fermentados en todo el mundo".

En ingeniería química, estos usos incluyen el diseño de biorreactores para fermentaciones, la optimización de condiciones de crecimiento (temperatura, pH, nutrientes) y la eliminación de subproductos no deseados. Además, los mohos y las levaduras también se

utilizan en biorremediación y control biológico para limpiar ambientes contaminados y controlar patógenos.

2.7.4 Buenas prácticas y consideraciones

Cuando se trabaja con mohos y levaduras a nivel industrial, se deben tener en cuenta algunas buenas prácticas. Estas abarcan la elección de cepas apropiadas con características deseadas, la verificación de métodos de identificación en las matrices específicas de proceso, el control de la calidad microbiológica. Chavarría et al. (2024) alertan que "es importante seleccionar cepas de mohos y levaduras bien caracterizadas y tolerantes a las condiciones del proceso para prevenir contaminaciones indeseables".

También se deben establecer protocolos de control para evitar la formación de biopelículas, que pueden obstruir los sistemas de filtrado y reducir la eficiencia del proceso. También es importante controlar el crecimiento microbiano y evitar la formación de productos tóxicos o contaminantes en la elaboración.

Capítulo III

3. Medios de Cultivo

El cultivo y enumeración de microorganismos son herramientas básicas en el estudio microbiológico, que permiten aislar y multiplicar microorganismos de interés y determinar la cantidad presente en una matriz. Estas técnicas son esenciales en los laboratorios de microbiología industrial, alimentaria, ambiental y farmacéutica, donde se requiere determinar la carga microbiana, verificar la eficacia de procesos de desinfección o control de calidad, y realizar estudios de investigación aplicada.

En esta unidad se tratan los fundamentos y métodos prácticos sobre los distintos tipos de medios de cultivo, su preparación, así como las técnicas de siembra y recuento más comunes en el laboratorio. Se destacan aspectos esenciales como la selección del medio según el tipo de microorganismo, el cumplimiento de las condiciones de esterilidad, y el uso de métodos de recuento en placa, en superficie y en profundidad.

También se abordan las técnicas actuales para la cuantificación microbiana, tanto directas como indirectas, gravimétricas, y el uso de las unidades formadoras de colonias (UFC) como medida estándar en microbiología. Todo ello en aras de asegurar resultados reproducibles y fiables, lo que exige precisión técnica y control de calidad.

Los conocimientos adquiridos en esta unidad capacitarán al estudiante en el dominio de técnicas microbiológicas aplicables a situaciones reales de la práctica de la ingeniería química, tales como el control de calidad de materias primas y productos finales, análisis de aguas y seguimiento de procesos biotecnológicos. Además, desarrollará una actitud crítica y cuidadosa en la interpretación de resultados de laboratorio.

Más allá de las técnicas tradicionales, esta unidad aborda el cultivo microbiano desde una perspectiva integral, introduciendo los medios selectivos, diferenciales y enriquecidos, cruciales para aislar microorganismos particulares. Se hace hincapié en los factores ambientales como temperatura, pH, oxígeno y tiempo de incubación en el crecimiento microbiano y cómo estos se deben controlar y manipular de acuerdo a la investigación. De este modo, el estudiante comprenderá no solo el "cómo", sino el "por qué" detrás de cada etapa del proceso, fortaleciendo su criterio técnico y científico en la toma de decisiones dentro del laboratorio.

3.1 Preparación de medios de cultivo

3.1.1 Medios de cultivo

La preparación de medios de cultivo es una etapa fundamental en microbiología, ya que permite el crecimiento, aislamiento e identificación de microorganismos. Estos medios, también conocidos como medios de crecimiento, son mezclas específicas de nutrientes y otras sustancias diseñadas para favorecer el desarrollo de bacterias, hongos (como levaduras y mohos) y otros microorganismos. Su composición y propósito pueden variar según el tipo de análisis microbiológico, y su correcta preparación es esencial para garantizar resultados confiables en el laboratorio. Los medios de cultivo se aplican en el control de calidad de materias primas y productos finales, pruebas de esterilidad, control de higiene, validación de procesos de desinfección, evaluación de conservantes y antimicrobianos (Tortora et al., 2016; INVIMA, 2022).

Figura 47. “Medios de cultivo”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Los ingredientes del medio de cultivo varían según el tipo de prueba y microorganismo de interés. Normalmente, estos medios son caldos líquidos enriquecidos con agar que se vierten en placas de Petri para obtener medios sólidos o semisólidos. Los medios enriquecidos o selectivos requieren la adición de componentes específicos. La preparación exacta del medio es crucial para asegurar el crecimiento adecuado. Los ingredientes deben pesarse cuidadosamente utilizando balanzas de precisión con legibilidad desde 1 mg hasta 10 mg, o

balanzas analíticas para trazas como cobre o cinc. Cuando se preparan pequeñas cantidades, es esencial recalcular con precisión los componentes y utilizar instrumentación adecuada para garantizar exactitud (Sartorius, 2024).

Las comprobaciones de enumeración microbiana para productos no estériles se llevan a cabo según los procedimientos de comprobación armonizados de las farmacopeas europea, estadounidense y japonesa. Estas pruebas, antes conocidas como pruebas de límites microbianos (MLT), tienen como objetivo determinar la carga biológica de una muestra de producto mediante el conteo de unidades formadoras de colonias (CFU/g). Los criterios de aceptación incluyen el recuento microbiano aeróbico total (TAMC) y el recuento total de hongos y levaduras (TYMC). Además, se realizan pruebas específicas para detectar la presencia de microorganismos considerados inaceptables (Sartorius, 2024).

3.1.2 Nutrientes esenciales de los medios de cultivo

Los medios de cultivo microbiológicos son preparados para dar los nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos en el laboratorio. Son ampliamente aplicadas en microbiología clínica, industrial, alimentaria y ambiental para aislar, identificar y contar bacterias, hongos y otros microorganismos. Cada elemento del medio tiene una función y es esencial para la supervivencia y multiplicación celular. Para crear un buen medio de cultivo se necesitan conocer las necesidades nutricionales microbianas (Luna, 2020; Madigan et al., 2021).

Entre ellos se requieren fuentes de carbono, nitrógeno, energía, sales minerales y factores de crecimiento. La disponibilidad y proporción de estos elementos define la eficiencia del crecimiento microbiano y la capacidad del medio para favorecer o discriminar ciertos microorganismos (Forbes et al., 2016).

3.1.2.1 Fuente de Hidrógeno: El hidrógeno, en cambio, suele extraerse de la misma fuente de carbono. Los azúcares, al oxidarse, dan energía e hidrógenos; por lo tanto, son compuestos bifuncionales que satisfacen dos necesidades metabólicas. La elección de un carbohidrato en el medio determina la tasa y el tipo de crecimiento del microorganismo (Forbes et al., 2016; Luna, 2020).

3.1.2.2 Fuente de carbono: El carbono es el elemento estructural de la célula microbiana, por lo que todos los microorganismos requieren una fuente de carbono. Los autótrofos usan CO₂ como principal fuente de carbono; la mayoría de las bacterias heterótrofas necesitan

compuestos orgánicos (glucosa, lactosa, aminoácidos, etc.) para satisfacer esta necesidad (Luna, 2020; Madigan et al., 2021).

3.1.2.3 Fuente de nitrógeno: El nitrógeno es esencial para la síntesis de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otras biomoléculas. Algunos microorganismos requieren fuentes orgánicas como peptonas o aminoácidos, mientras que otros pueden asimilar nitratos, nitritos o amonio como fuentes inorgánicas de nitrógeno (Madigan et al., 2021).

Un grupo reducido de bacterias, como las del género *Azotobacter*, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico (N_2), convirtiéndolo en formas asimilables. Para ellos se preparan medios especiales sin nitrógeno combinado, que revelan su capacidad de fijación de nitrógeno (Luna, 2020).

3.1.2.4 Sales minerales: Las sales minerales proporcionan elementos esenciales como fósforo, azufre, calcio, magnesio, hierro y potasio que participan en la estabilización de estructuras celulares, mantenimiento del equilibrio osmótico y activación enzimática. Estos elementos deben encontrarse en niveles adecuados para no impedir el crecimiento microbiano (Científica Cindy, 2024).

Figura 48. “Sales minerales en los cultivos microbiológicos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Los oligoelementos o micronutrientes (manganeso, cobre, zinc, cobalto, etc.) se requieren en pequeñas cantidades, pero son esenciales como cofactores enzimáticos. La

deficiencia o el exceso de estos elementos puede alterar la expresión génica o interrumpir rutas metabólicas clave (Sandle, 2023).

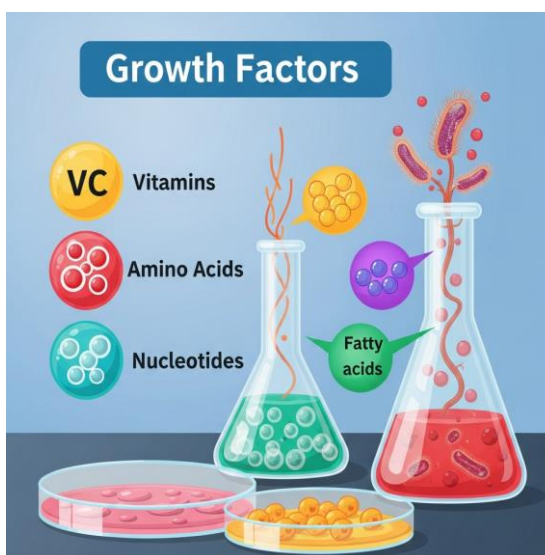
3.1.2.5 Aceptores de hidrógeno: Los aceptores de hidrógeno son moléculas que intervienen en las reacciones redox del metabolismo celular. En los microorganismos aerobios, el oxígeno es el aceptor final de electrones, lo que permite la producción eficiente de energía en la cadena de transporte de electrones (Sandle, 2023).

Pero los anaerobios usan otros aceptores, como nitratos, sulfatos o dióxido de carbono. La inclusión de estos compuestos en los medios anaerobios es esencial para permitir la fermentación o respiración anaerobia. La ausencia de un aceptor adecuado puede inhibir por completo el crecimiento de estos organismos (Arji Atmanto et al., 2022).

3.1.3 Factores de crecimiento

Los factores de crecimiento son moléculas orgánicas que ciertas bacterias no pueden sintetizar y que deben tomar del medio. Entre ellos se encuentran aminoácidos, vitaminas, purinas y pirimidinas. Su presencia en los medios enriquecidos es indispensable para el desarrollo de organismos exigentes o fastidiosos (Luna, 2020).

Figura 49. “Factores de crecimientos en los cultivos microbiológicos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Por ejemplo, **Haemophilus influenzae** necesita NAD^+ y hemina para crecer, sustancias presentes en medios como el agar chocolate. Estas necesidades nutricionales exclusivas posibilitan el uso de los factores de crecimiento como herramienta de diagnóstico en microbiología clínica (Forbes et al., 2016).

3.2 Tipos de medios

Los medios de cultivo son líquidos, semisólidos y sólidos que se emplean para aislar distintas cepas bacterianas de la muestra en estudio para su posterior identificación. Los medios líquidos (caldo nutritivo, por ejemplo) favorecen el crecimiento disperso de microorganismos y son adecuados para estudios de multiplicación celular o fermentación. Los medios sólidos, que contienen alrededor de 1.5% de agar, permiten obtener colonias aisladas en placas de Petri para su identificación y conteo. Por su parte, los medios semisólidos contienen menor cantidad de agar (alrededor del 0.4%) y se emplean principalmente para evaluar la movilidad bacteriana o condiciones de microaerofilia (Forbes et al., 2016). Estos medios son portadores de los nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos. Su composición depende del objetivo del análisis, siendo los principales tipos los medios selectivos, diferenciales y enriquecidos (Cabrera, 2022).

3.2.1 Medios selectivos

Los medios selectivos contienen agentes que inhiben el crecimiento de ciertos microorganismos mientras permiten el desarrollo de otros. Por ejemplo, el agar MacConkey contiene cristal violeta y sales biliares que inhiben bacterias Gram positivas, favoreciendo el crecimiento de Gram negativas como *Escherichia coli* (Forbes et al., 2016; Leclercq et al., 2021). Otro ejemplo es el Agar Salado Manitol (ASM), que utiliza una alta concentración de NaCl para seleccionar especies del género *Staphylococcus*, siendo *S. aureus* capaz de fermentar el manitol y cambiar el color del medio (Bannerman, 2003).

Figura 50. “Medio de cultivo selectivo Agar MacConkey”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

3.2.2 Medios diferenciales

Los medios diferenciales son capaces de diferenciar microorganismos por sus características bioquímicas. Un claro ejemplo es el agar sangre, que permite observar diferentes tipos de hemólisis: alfa (parcial), beta (completa) y gamma (ninguna), típicas de especies del género *Streptococcus* (Jensen et al., 2020). Agar EMB (eosina azul de metileno): diferencia bacterias fermentadoras de lactosa (*E. coli*: colonias verde metálico) (Atlas, 2010).

Figura 51. “Medio de cultivo diferencial Agar Sangre”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

3.2.3 Medios enriquecidos

Los medios enriquecidos contienen nutrientes adicionales para favorecer el crecimiento de microorganismos exigentes o fastidiosos. Por ejemplo, el agar chocolate contiene sangre lisada y se utiliza para cultivar especies como *Haemophilus influenzae* y *Neisseria meningitidis* (Forbes et al., 2016). El agar Sabouraud, con un pH ácido y peptona, es adecuado para el crecimiento de hongos y levaduras, como *Candida albicans*.

Figura 52. “Medio de cultivo enriquecido Agar chocolate”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

3.3 Preparación, esterilización y vertido

La preparación de medios de cultivo es un proceso esencial en microbiología para el crecimiento de microorganismos en condiciones controladas. Los medios deshidratados, ya sea en forma de polvo, gránulos o tabletas, se hidratan con agua destilada y luego se esterilizan para garantizar su inocuidad microbiológica antes de ser utilizados. La siguiente sección describe con mayor detalle el procedimiento estandarizado para la preparación de un medio sólido a partir de presentaciones comerciales (Acharya, 2022; Cabrera, 2022; Hartline, 2022).

3.3.1 Preparación de un medio de cultivo sólido

3.3.1.1 Rotulado de materiales: Todos los frascos e instrumentos a utilizar deben ser etiquetados con la información pertinente: tipo de medio, fecha de preparación y nombre del responsable. Este paso permite la trazabilidad del proceso y evita confusiones en el laboratorio.

3.3.1.2 Cálculo y pesado del medio: Pesar la cantidad requerida del medio deshidratado de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Normalmente los preparados se hacen para 1 litro de solución. Pesar la cantidad requerida en una balanza analítica o de precisión, de acuerdo al volumen que se desee preparar.

3.3.1.3 Hidratación del medio: Adicionar el medio deshidratado al frasco apropiado con agua destilada. Mezcle suavemente para evitar que se formen grumos.

3.3.1.4 Disolución por calentamiento: Calentar la mezcla hasta ebullición en una placa calefactora o mechero Bunsen. Hervir durante un minuto como mínimo y asegurarse de que el medio se disuelva por completo. Evitar el sobrecalentamiento que caramelizaría los azúcares en el medio. Retirar del calor y cubrir el matraz con papel de aluminio o tapón de algodón.

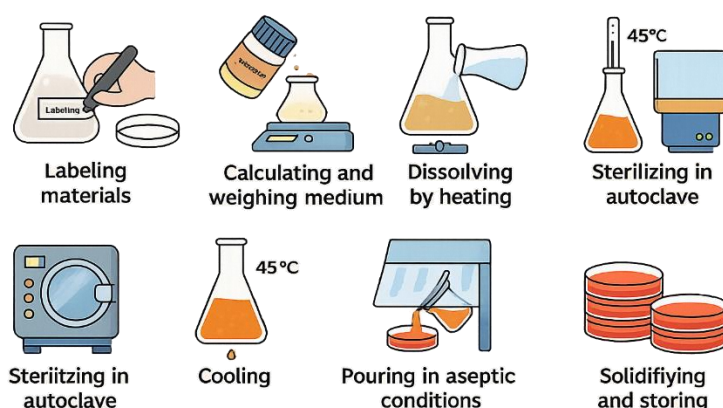
3.3.1.5 Esterilización en autoclave: Coloque el matraz en autoclave y esterilice a 121 °C durante 15 minutos a 15 psi. Seguir las instrucciones del fabricante del medio si especifica otro tiempo o temperatura.

3.3.1.6 Enfriamiento: Una vez esterilizado, dejar enfriar el matraz a 45 °C. Esta temperatura se puede comprobar tocando con la palma de la mano el matraz por fuera.

3.3.1.7 Vertido en condiciones asépticas: En una cabina de flujo laminar o en condiciones asépticas, verter el medio en placas Petri estériles. Flamee el cuello del matraz antes de verter. Usar 15-20 mL por placa grande, 8-10 mL por placa pequeña.

3.3.1.8 Solidificación y almacenamiento: Dejar que el medio solidifique en las placas Petri. Luego, cierre las placas, rotúlelas y guárdelas en refrigeración (4–8°C) hasta su uso.

Figura 53. “Procedimiento de elaboración del medio de cultivo”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

3.3.2 Preparación de un medio de cultivo Líquido

La preparación adecuada de un medio líquido es fundamental para asegurar condiciones óptimas de crecimiento microbiológico.

Figura 54. “Medio de cultivo líquido”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

3.3.2.1 Rotulado de materiales: El primer paso consiste en rotular adecuadamente todo el material a utilizar, como matraces, tubos de ensayo y frascos, con el nombre del medio, fecha de preparación y nombre del responsable. Esto asegura la trazabilidad del proceso (Hartline, 2022).

3.3.2.2 Cálculo y pesado del medio: Pesar la cantidad exacta del medio deshidratado comercial, usualmente en forma de polvo o gránulos, empleando una balanza analítica para asegurar precisión. Generalmente, los fabricantes formulan las instrucciones para disolver el contenido en un litro de agua destilada (Milne Publishing, 2022).

3.3.2.3 Hidratación del medio: Humedecer bien el medio. 2. Se vierte el polvo en el matraz que contiene parte del volumen total de agua destilada y se agita. Una vez bien mezclado, se enrasa al volumen total necesario. Asegurarse de que no queden residuos sólidos en las paredes del frasco para prevenir concentraciones irregulares de nutrientes (EPA, 2019).

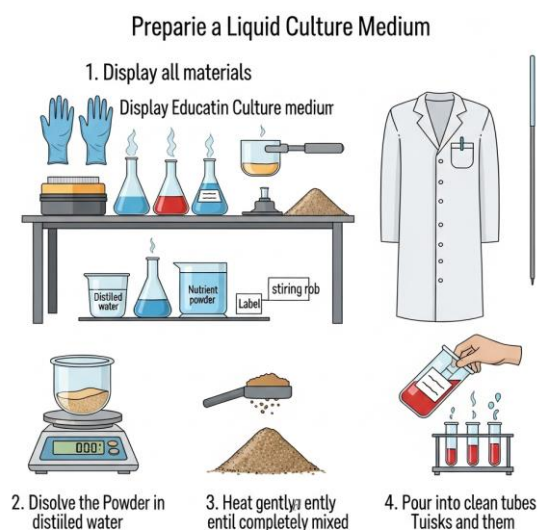
3.3.2.4 Disolución por calentamiento: Calentar el medio. Esto se debe hervir en agitación constante. El hervido durante uno o dos minutos disuelve por completo los elementos del medio y activa algunos nutrientes termosensibles. No debe extenderse esta fase para no degradar compuestos relevantes (Hartline, 2022).

3.3.2.5 Distribución del medio: Dispensar el medio en tubos de ensayo o matraces. La cantidad a dispensar dependerá del recipiente; normalmente se utilizan de 5 a 10 mL para tubos y hasta 100 mL para frascos. Deben taparse los matraces con tapones de algodón o papel de aluminio para permitir la salida de vapor sin contaminación (Milne Publishing, 2022).

3.3.2.6 Esterilización en autoclave: La esterilización se realiza en autoclave a 121 °C durante 15 minutos a 15 psi. Esta etapa es para destruir cualquier vida microbiana, incluidas esporas resistentes. No llene los recipientes más de dos tercios para evitar derrames (EPA, 2019).

3.3.2.7 Enfriamiento: Finalmente, una vez finalizado el ciclo de autoclave, los tubos y matraces se retiran y se dejan enfriar en un lugar limpio hasta que estén a temperatura ambiente. Este proceso se llama atemperado. En caso de inocular directamente, esperar a que el medio se encuentre entre 25 y 30 °C para no matar los microorganismos (Hartline, 2021).

Figura 54. “Procedimiento de elaboración del medio de cultivo líquido”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

3.4 Control de calidad en medios de cultivo

El control de calidad en medios de cultivo microbiológicos es un proceso indispensable para asegurar la fiabilidad de los resultados en laboratorios clínicos, industriales y de investigación. Este control garantiza que los medios sean capaces de soportar el crecimiento de los microorganismos diana sin interferencias ni contaminaciones. La verificación de parámetros como esterilidad, pH, homogeneidad del gel y capacidad de soporte microbiano es parte de la rutina en laboratorios microbiológicos (Milne Publishing, 2022).

La evaluación del desempeño es una parte integral del control de calidad. Esta implica el cultivo de cepas de referencia en los medios preparados y la comparación de su crecimiento con los resultados esperados. Por ejemplo, los medios selectivos inhiben el crecimiento de microorganismos no deseados y promueven el desarrollo de microorganismos blanco. Los medios diferenciales deben de poder diferenciarse visualmente las especies por alguna reacción bioquímica característica (Hartline, 2021).

Otro punto importante es la verificación del proceso de esterilización. Los medios deben esterilizarse para prevenir el crecimiento de microorganismos contaminantes. La autoclave a 121 °C durante 15 minutos es el método habitual, aunque hay que atenerse a las instrucciones del fabricante del medio. Una vez esterilizados, los medios se revisan. antes de usar, observe

visualmente en busca de turbidez, cambios de color o contaminación evidente (Environmental Protection Agency, 2019).

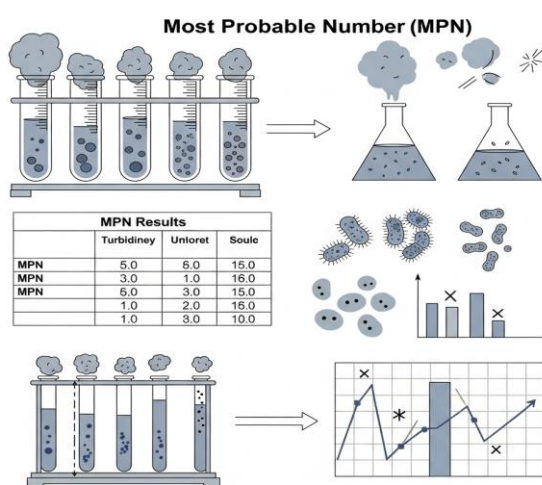
Además, la trazabilidad y el almacenamiento adecuado de los medios preparados son esenciales para asegurar su eficacia. El etiquetado correcto con fecha de preparación, tipo de medio y lote de producción hace posible el rastreo en caso de falla. El almacenamiento se hará en condiciones controladas de temperatura y humedad (en refrigeración, generalmente) para prevenir la degradación de los componentes. Estas buenas prácticas son parte del aseguramiento de calidad integral en laboratorios de microbiología (CDC, 2020).

Debe hacerse un control de calidad, incubando las placas de 12 a 24 horas para verificar su esterilización. Cerrar las placas y almacenar entre 2°C y 8°C hasta su utilización.

Las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) son una estimación del número de microorganismos viables que pueden crecer y formar colonias en condiciones específicas. Es una técnica básica para estimar bacterias en muestras líquidas o sólidas, muy utilizada en microbiología industrial y ambiental (Nerome et al., 2021).

El Número Más Probable (NMP) es una técnica estadística para estimar la concentración de microorganismos en una muestra cuando no se pueden hacer recuentos directos. Consiste en inocular diluciones seriadas en medios de cultivo y observar crecimiento microbiano (Krishnan et al. 2022).

Figura 55. “Control de calidad de cultivos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Características:

- **Sencillez y exactitud:** UFC es simple, pero solo cuenta microorganismos viables; NMP es adecuado para muestras con baja concentración bacteriana o microorganismos que no forman colonias (Nerome et al., 2021).
- **Aplicación en ingeniería química:** Ambas técnicas se aplican para monitorear procesos de fermentación, calidad del agua, producción de bioproductos y tratamiento de aguas residuales (Krishnan et al. 2022).
- **Limitaciones:** UFC infravalora si existen bacterias viables no cultivables; NMP sobreestima por contaminación cruzada o errores de dilución.

En las pruebas de recuento de UFC / CFU, para una mayor exactitud estadística, se deben utilizar placas que den lugar entre 30 y 300 colonias. Esta sugerencia se debe a que con menos de 30 colonias los errores por dilución o muestreo pueden ser muy altos, y con más de 300 se corre el riesgo de solapamiento de colonias y conteo poco fiable (Pereira et al., 2023).

Además, la industria controlada y los manuales técnicos han adoptado rangos similares; por ejemplo, un estudio reciente usa "un parámetro de 30-300 colonias por placa para contar unidades formadoras de colonias (UFC)". (Machado, Fonseca dos Santos, Missio & Vendruscolo, 2024).

En ingeniería química bioprocesos, tratamiento de aguas o fermentaciones, cumplir con este rango hace que el dato UFC/mL sea utilizable para el diseño de parámetros cinéticos, escalamiento y control de biorreactores, evitando subestimaciones por conteos bajos o sobreestimaciones por colonias TNTC que sesgan la estimación de biomasa viable.

Imagine que se toma una muestra de un biorreactor y se realizan diluciones seriadas. Se siembran 0.1 mL de las diluciones 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} en placas, obteniéndose 120, 12 y 2 colonias respectivamente.

A: ¿Qué? ¿Qué hacen? ¿Cuál es la carga bacteriana (UFC/mL) en la muestra original?

Reapuesta:

Para la dilución 10^{-3} :

$$\text{UFC/mL} = (120 \text{ colonias}) / (0.1 \text{ mL} \times 10^{-3}) = 1.2 \times 10^6 \text{ UFC/mL}.$$

Cálculo de NMP en agua residual tratada: Se inoculan 5 tubos con 10 mL cada uno de agua residual en caldo lactosado. A las 24 horas, 3 tubos tienen crecimiento. Utilizando tablas de NMP, calcula la concentración bacteriana.

- Paso 1: Identificar el patrón de crecimiento

En este caso se inocularon 5 tubos con 10 mL de agua residual en caldo lactosado. Después de 24 horas, 3 tubos presentan crecimiento, por lo tanto, hay 3 tubos con crecimiento y 2 sin crecimiento.

El patrón sería:

- 3 tubos con crecimiento
- 2 tubos sin crecimiento

Busque el patrón en la tabla de NMP.

Para ello se utiliza una tabla NMP, en la cual se cruza el número de tubos con crecimiento y sin crecimiento con la posible concentración bacteriana en la muestra. Estas tablas están disponibles en las guías de referencia habituales, como las de la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.).

En la tabla NMP se busca el patrón 3/2 (3 tubos con crecimiento y 2 sin crecimiento) en la columna correspondiente a la dilución en que se realizó la inoculación.

Capítulo IV

4. Análisis microbiológicos de agua potable y residual

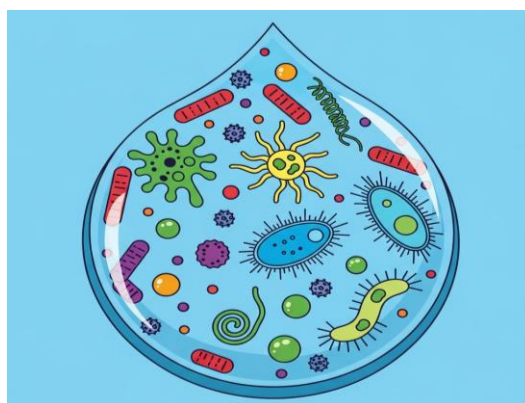
4.1 Microbiología del agua y su importancia en la Ingeniería Química

La microbiología del agua es importante para la ingeniería química porque el agua se usa en muchas aplicaciones industriales y su calidad microbiológica afecta la seguridad, eficiencia y costos de los procesos. El agua, ya sea como materia prima o como vehículo, reactivo o producto, puede ser colonizada por microorganismos que cambian los procesos químicos. Estos microorganismos pueden causar problemas en las instalaciones industriales, tales como biofilm, corrosión microbiológica, obstrucción de membranas y reducción de la eficiencia de los intercambiadores de calor (Volf et al., 2025). El conocimiento de estos fenómenos es fundamental para el diseño, operación y mantenimiento de sistemas industriales.

4.1.1 Definición y alcance

La microbiología del agua estudia los microorganismos que habitan en el agua (bacterias, virus, protozoos, hongos y algas) y su relación con las características fisicoquímicas del agua (Afonso, 2025). En la ingeniería química no basta con conocer la cantidad de microorganismos, sino también cómo pueden modificar los procesos de tratamiento, distribución y uso del agua en sistemas industriales. En este contexto, el control de la calidad microbiológica del agua en redes de distribución y en plantas de tratamiento es esencial para asegurar el funcionamiento de las plantas químicas. La microbiología del agua influye en la salud humana y en la infraestructura industrial (Faraji et al., 2025).

Figura 56. “Microbiología del agua”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

4.1.2 Principales microorganismos y mecanismos relevantes

a) Indicadores y patógenos

Los indicadores tradicionales, como los coliformes fecales y *Escherichia coli*, se usan para determinar la contaminación fecal del agua (Pluym et al., 2024). Pero las bacterias heterotróficas (HPC, por sus siglas en inglés) también influyen en la calidad del agua, ya que su crecimiento puede alterar la eficacia de los sistemas industriales (Maselela et al., 2024). El estudio de estos microorganismos, acompañado de la medición de parámetros como la turbidez o el pH, permite desarrollar modelos predictivos de la calidad del agua en diferentes entornos industriales (Volf et al., 2025).

Figura 57. “Indicadores y patógenos en el agua”



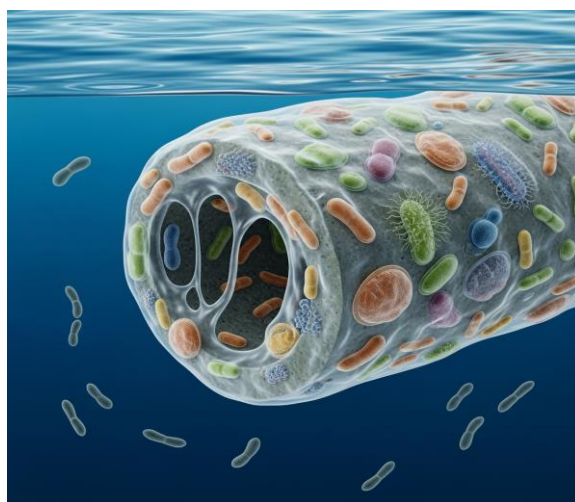
Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

b) Formación de biofilms

Uno de los grandes problemas de la ingeniería química en microbiología del agua es la formación de biofilms. Los biofilms son comunidades de microorganismos que se adhieren a las superficies de tuberías, membranas y otros equipos industriales. Esta adhesión puede generar obstrucción, incrustación y corrosión microbiológica, disminuyendo la eficiencia del proceso (Zhou et al., 2021). En un estudio de sistemas de tratamiento de agua, se encontró que los biofilms pueden disminuir el rendimiento de los intercambiadores de calor, aumentando la demanda energética y de mantenimiento (Afonso, 2025).

Figura 58. “*Biofilms con aplicación microbiológica*”

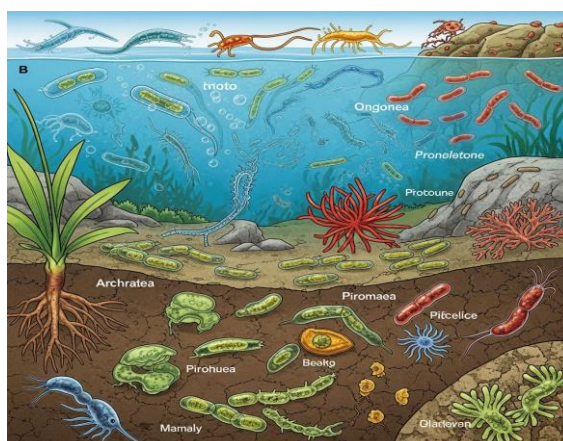


Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT. Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

c) Comunidad microbiana y diversidad

La vida microbiana en el agua es muy variable y depende del origen del agua, el tipo de tratamiento y el medio ambiente. Las tecnologías de secuenciación de ADN han revelado la presencia de una amplia gama de microorganismos en las redes de distribución de agua, lo que refuerza la necesidad de controlar la carga microbiana total y la composición de la comunidad (Faraji et al., 2025). Estos estudios dan una idea de cómo las bacterias y otros microorganismos interactúan con el agua y cómo afectan los procesos de tratamiento industrial.

Figura 59. “Comunidad Microbiana”

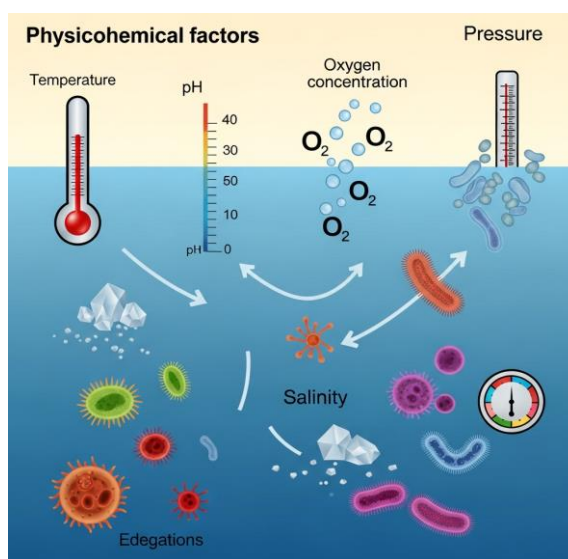


Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.
Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

d) Factores fisicoquímicos que influyen en el crecimiento microbiano

El desarrollo de microorganismos en el agua se ve afectado por diversos factores fisicoquímicos, tales como la temperatura, el pH, la concentración de nutrientes y la presencia de desinfectantes residuales. Por ejemplo, un estudio reciente encontró que el pH y la turbidez del agua se correlacionan con la densidad de bacterias heterotróficas (Maselela et al., 2024). Esto impacta directamente en el diseño de procesos de tratamiento de agua, en los cuales se deben establecer condiciones de control para evitar proliferaciones microbianas no deseadas.

Figura 60. “Factores fisicoquímicos en el crecimiento microbiano”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

4.1.3 Importancia en la Ingeniería Química

La microbiología del agua es importante para la ingeniería química por los múltiples impactos que los microorganismos pueden generar en los sistemas industriales de tratamiento de agua. En particular, la formación de biofilms y la corrosión microbiana son procesos que impactan en la infraestructura y la eficiencia de los procesos (Volf et al., 2025). Adicionalmente, microorganismos patógenos pueden contaminar el agua de los procesos productivos, exigiendo estrategias de control microbiológico en todos los puntos de la cadena de tratamiento.

Los ingenieros químicos deben ser capaces de diseñar sistemas que reduzcan al mínimo los efectos de la microbiología del agua. Esto abarca el diseño de redes de distribución de agua, sistemas de membranas para tratamiento y equipos de transferencia de calor considerando riesgos de biofouling y corrosión microbiana. El control en tiempo real de la calidad del

agua es fundamental para evitar crecimientos microbianos y asegurar la continuidad y eficiencia del proceso industrial (Pluym et al., 2024).

4.1.4 Desafíos técnicos y tendencias de investigación

A pesar de los avances en el control microbiológico del agua, aún quedan retos pendientes en ingeniería química. Un punto importante es la monitorización rápida de la calidad microbiológica del agua, ya que los métodos convencionales de cultivo microbiológico son lentos y no permiten una respuesta en tiempo real. Estudios recientes han planteado el uso de tecnologías como la citometría de flujo y la secuenciación genética para hacer más exacto y rápido el seguimiento microbiológico en procesos industriales (Pluym et al., 2024).

Adicionalmente, la modelización predictiva de la calidad microbiológica usando métodos de Big Data y aprendizaje automático es una línea emergente que mejorará la gestión de la calidad del agua en tiempo real, optimizando los procesos de tratamiento y reduciendo los costes (Volf et al., 2025). Estas herramientas pueden anticipar problemas de contaminación antes de que se conviertan en un problema, lo que permite a los ingenieros químicos tomar medidas preventivas.

4.1.5 Implicaciones prácticas para el ingeniero químico

Para los ingenieros químicos, el conocimiento de la microbiología del agua es fundamental para diseñar sistemas de tratamiento efectivos y asegurar la seguridad y eficiencia de los procesos industriales. El control de calidad microbiológico del agua se debe incorporar en todas las fases del diseño y operación de las plantas químicas, desde el agua de entrada hasta el tratamiento y recirculación. Las nuevas tecnologías de monitoreo y modelado pueden mejorar los procesos y asegurar que las aguas de proceso cumplan con los estándares de calidad (Faraji et al., 2025).

4.2 Análisis microbiológico del agua potable

4.2.1 Microorganismos indicadores en agua potable

El análisis microbiológico del agua potable es una forma de evaluar la seguridad del agua de consumo con respecto a microorganismos patógenos o indicadores de contaminación. En las redes de abastecimiento se utilizan los llamados microorganismos indicadores, que son aquellos cuya presencia indica que también pueden estar presentes patógenos o condiciones de riesgo. Por ejemplo, los *coliformes totales*, los *coliformes fecales* y la *Escherichia coli* (*E. coli*) se usan como indicadores tradicionales de contaminación fecal reciente (Wen et al., 2020).

Figura 61. “Microorganismos indicadores en agua potable”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Pero la literatura también ha reconocido algunas desventajas en estos indicadores clásicos: por ejemplo, Wen et al. (2002) afirman que "ninguno de los indicadores bacterianos utilizados actualmente satisface todos los criterios ideales de un indicador de la calidad del agua" y que la presencia de virus entéricos, protozoos o bacterias heterotróficas puede justificar su inclusión o consideración en los sistemas actuales de monitoreo. (Wen et al., 2020).

Para la ingeniería química del abastecimiento, tratamiento y uso del agua, es importante saber que la elección de indicadores condiciona el diseño de procesos de tratamiento, los requisitos de calidad del agua de proceso y la operación de redes de distribución de agua de servicio o de agua industrial reutilizada. Además, las exigencias normativas y el desarrollo de las metodologías obligan a los ingenieros a conocer qué indicadores están validados en el territorio, su significancia técnica y los parámetros a controlar.

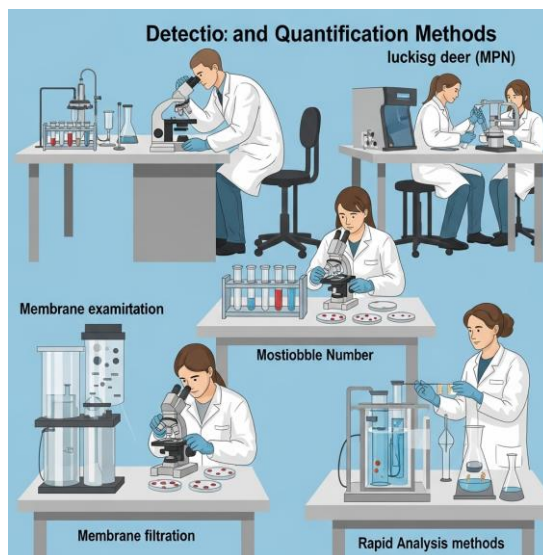
4.2.2 Métodos de detección y cuantificación

Los métodos microbiológicos para agua potable se clasifican en dos grandes categorías: (i) los métodos tradicionales de cultivo y recuento de colonias/microorganismos viables; y (ii) los métodos moleculares, citométricos o de monitorización en línea.

Formas de cultivo: Se basan en filtrar o diluir la muestra de agua, incubar en medios selectivos o diferenciales y contar las unidades formadoras de colonia (UFC) o usar el número más probable (NMP). Aunque muy extendido, tiene inconvenientes como largos tiempos de

incubación (24-48 h o más) y no detecta microorganismos no cultivables o en estado viable no cultivable.

Figura 62. “Métodos de detección y cuantificación de microorganismos”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

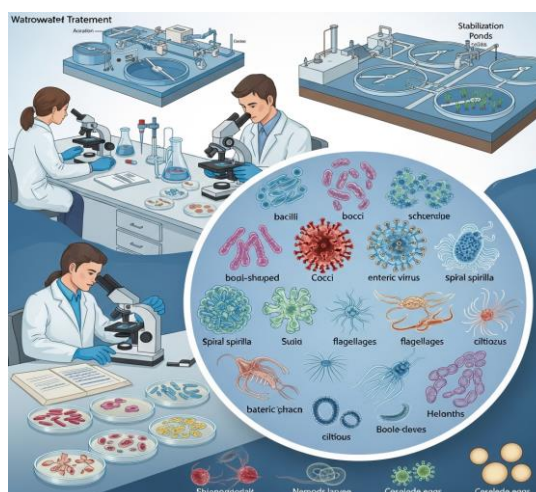
Métodos actuales de detección: En la última década, la investigación ha ampliado el uso de métodos moleculares (PCR, qPCR, LAMP, NGS), citometría de flujo y biosensores de monitoreo en línea. Por ejemplo, Khodaparast et al. (2024) demuestran que las técnicas “point-of-care” y moleculares permiten la detección rápida y precisa de patógenos transmitidos por el agua, señalando que la amplificación isotérmica mediada por bucle (LAMP) se puede completar en menos de 30 min con una infraestructura mínima. Además, Pluym et al. demuestran que las técnicas de citometría de flujo y huella citométrica son capaces de detectar cambios en la comunidad microbiana del agua potable (Pluym et al., 2024).

4.3 Análisis microbiológico de aguas residuales

4.3.1 Carga microbiana y contaminantes

Las aguas residuales son un flujo complejo de microorganismos y contaminantes que necesitan ser analizados con un enfoque de ingeniería química, porque no solo contienen materia orgánica, nutrientes y sólidos suspendidos, sino también microorganismos patógenos, comunidades microbianas, genes de resistencia a antibióticos y biofilms que afectan la eficiencia de los procesos de tratamiento y los impactos ambientales.

Figura 63. “Carga microbiana y contaminantes”



Fuente: OpenAI. (2024). Ilustración sobre virus generada por inteligencia artificial con ChatGPT.

Creada el [23/11/2025]. <https://chat.openai.com>

Por ejemplo, un estudio demostró que las comunidades microbianas en aguas residuales urbanas contienen genes de resistencia antimicrobiana (AMR) que no siempre se eliminan en plantas de tratamiento convencionales, lo cual representa un desafío para el control de la carga microbiana residual (Tsvetanova et al., 2024). Esta carga microbiana está compuesta por bacterias heterotróficas, coliformes, enterococos, protozoos y virus cuando las condiciones lo permiten (Ryu et al., 2021).

En el diseño de procesos desde la perspectiva del ing. químico, la cuantificación de la carga microbiana es un parámetro esencial para estimar el riesgo de descarga, la eficiencia de tratamiento biológico o físico-químico y la necesidad de etapas adicionales de tratamiento. Otro ejemplo: se ha verificado que las comunidades de lodos activados pueden modelarse con redes neuronales artificiales en función de variables operativas, lo que destaca la necesidad de conocer la biomasa microbiana y su composición para optimizar el proceso de tratamiento (Liu et al., 2023).

Por lo cual conocer la carga microbiana en número, diversidad, viabilidad y presencia de mecanismos de resistencia o patogenicidad en las aguas residuales es esencial para el diseño de la ingeniería de tratamiento, para determinar la calidad del efluente y garantizar la sustentabilidad ambiental.

4.3.2 Métodos de control y eliminación

Para controlar y eliminar la carga microbiológica en aguas residuales, los ingenieros químicos pueden usar varias estrategias combinadas: tratamientos biológicos convencionales, tratamientos físico-químicos avanzados y tecnologías emergentes de monitoreo y control.

Entre los métodos biológicos, una revisión reciente indica que los procesos aerobios, anaerobios, anóxicos, sistemas de biorremediación, biorreactores con biofilms y biopelículas son la base de las plantas de tratamiento modernas (Sravan et al., 2024). Por ejemplo, los sistemas soportados en biofilms han demostrado ser más resistentes y estables ante cargas fluctuantes y contaminantes, siendo prometedores para el control microbiológico de aguas residuales (Saini et al., 2023).

Físico-químico y de alta tecnología, tales como adsorción, membranas, nanomateriales, electrocoagulación, ozonización, luz ultravioleta, entre otros, para remover microorganismos, genes de resistencia y contaminantes emergentes. Un estudio detalla cómo métodos efectivos y prácticos pueden atenuar impactos sanitarios y ambientales de aguas residuales, pero identifican desafíos de costos y viabilidad en países de bajos ingresos (Mutegoa et al., 2024).

Desde el punto de vista ingenieril, la elección del método está en función del caudal, carga contaminante, tipo de microorganismos o genes de resistencia presentes, exigencias del efluente y costes y mantenimiento. Por ejemplo, el estudio de Li et al. (2024) plantea una estrategia para aumentar la tolerancia de comunidades microbianas funcionales a inhibiciones por sustrato en sistemas anammox, mejorando el rendimiento y la estabilidad del proceso, con aplicación a tratamientos de aguas residuales en la industria química.

Para el ingeniero químico, diseñar esquemas de tratamiento en los que la etapa de remoción microbiológica se integre con las etapas de remoción de materia orgánica, nutrientes y sólidos, y que incluyan el seguimiento continuo de parámetros microbiológicos, de calidad de efluente y de potencial reúso del agua.

BIBLIOGRAFIA

- Acharya, T. (2022). Best Practices for Preparation of Culture Media. MicrobeOnline. <https://microbeonline.com/preparation-of-culture-media/>
- Afonso, A. C. (2025). Current microbiological challenges in drinking water. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.120123>
- Ahmad, S., Lohiya, S., Taksande, A., Meshram, R. J., Varma, A., & Vagha, K. (2024). A comprehensive review of innovative paradigms in microbial detection and antimicrobial resistance: Beyond traditional cultural methods. *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.11216122>
- Aguirre, J., & Pappas, J. (2022). Fungal morphology and taxonomy: The structure of mycelium and spores. *Fungal Biology Reviews*, 41(1), 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.07.005>
- Alonso, D., Garcia, J., & Mico, V. (2025, January 16). Fluholoscopy. compact and simple platform combining fluorescence and holographic microscopy. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2501.09639>
- Aram, S. A., Saalidong, B. M., & Osei Lartey, P. (2021). Comparative assessment of the relationship between coliform bacteria and water geochemistry in surface and ground water systems. *PLoS ONE*, 16(9), e0257715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257715>
- Arji Atmanto, Y. K. A., Paramita, K., & Handayani, I. (2022). Culture Media. *International Research Journal of Modernization in Engineering, Technology and Science*, 4(4). <https://www.researchgate.net/publication/362979207CULTUREMEDIA>
- Atlas, R. M. (2010). *Handbook of Microbiological Media* (4th ed.). CRC Press.
- Aybar Espinoza, M. S., Flink, C., Boisen, N., Scheutz, F., & Käsbohrer, A. (2023). Microbiological sampling and analyses in the food business operators' HACCP based

- self control programmes. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, 1110359. <https://doi.org/10.3389/frfst.2023.1110359>
- Bai, V. R., et al. (2022). Experimental study on total coliform violations in the water systems. *Journal of Environmental Microbiology*, 11(2), 108. <https://doi.org/10.1016/j.jenvmicro.2022.01.002>
- Balasubramanian, H., Hobson, C. M., Chew, T., & Aaron, J. S. (2023). Imagining the future of optical microscopy: everything, everywhere, all at once. *Communications Biology*, 6(1), 1096. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05468-9>
- Balatti, P. A., Balatti, P. A., & Saparrat, M. C. N. (2025). Conceptos generales de microbiología. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/183448>
- Baltimore, D. (2021). Replication and classification of viruses based on genome structure. *Science Advances*, 7(1), eabc2497. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc2497>
- Bannerman, T. L. (2003). *Staphylococcus, Micrococcus, and other catalase-positive cocci*. In: Murray, P.R. (Ed.), *Manual of Clinical Microbiology* (8th ed.). ASM Press.
- Baron, E. J., Peterson, L. R., & Finegold, S. M. (2021). *Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology* (14th ed.). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/bailey-and-scotts-diagnostic-microbiology/baron/978-0-323-35318-2>
- Bharti, B., Li, H., Ren, Z., Zhu, R., & Zhu, Z. (2022). Recent advances in sterilization and disinfection technology: A review. *Chemosphere*, 308(Pt 3), 136404. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136404>
- Biosecurity & Health Security Protection (BSP). (2020, December 21). Laboratory biosafety manual, 4th edition. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311>
- Bradford, L. M., et al. (2024). Limit of detection of *Salmonella* ser. Enteritidis using culture-based method and three CIDs. *Microbiology Spectrum*. <https://doi.org/10.1128/spectrum.01027-24>

- Branco, R. H. R., Serafim, L. S., & Xavier, A. M. R. B. (2018). Second generation bioethanol production: on the use of pulp and paper industry wastes as feedstock. *Fermentation*, 5(1), 4. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010004>
- Brooks, G. F., Carroll, K. C., Butel, J. S., & Morse, S. A. (2021). *Jawetz, Melnick & Adelberg's Medical Microbiology* (28th ed.). McGraw-Hill Education. <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookID=2700>
- Cabrera, Y. S. (2022). *Manual de prácticas de laboratorio de Microbiología: (1 ed.)*. Universidad Abierta para Adultos (UAPA). <https://0310w17xz-y-https-elibro-net.basesdedatos.utmachala.edu.ec/es/lc/utmachala/titulos/230218>
- Callegari, A., Bolognesi, S., Ceconet, D., & Capodaglio, A. G. (2019). Production technologies, current role, and future prospects of biofuels feedstocks: A state-of-the-art review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(4), 384–436. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1629801>
- Carroll, K. C., Butel, J. S., & Morse, S. A. (2019). *Medical Microbiology: A Guide to Microbial Infections* (27th ed.). Churchill Livingstone. <https://www.elsevier.com/books/medical-microbiology/carroll/978-0-7020-7184-3>
- Centers for Disease Control and Prevention & National Institutes of Health. (2020). *Biosafety in microbiological and biomedical laboratories* (6th ed.). U.S. Department of Health and Human Services. https://www.cdc.gov/labs/pdf/SF_19308133-ABMBL600-BOOK-WEB-final-3.pdf
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020). *Biosafety in microbiological and biomedical laboratories* (6th ed.). https://www.cdc.gov/labs/pdf/SF_19308133-ABMBL600-BOOK-WEB-final-3.pdf
- Cerón, A. (2023). *Microorganismos: los nuevos obreros en la industria*. México Ciencia Y Tecnología. <https://cienciamx.com/index.php/ciencia/quimica/15727-microorganismos-nuevos-obreros-industria>

- Chandrakant, R., Kaushik, P., & Kumar, R. (2022). Staining techniques in microbiology: A review. *International Journal of Microbiology Research*, 14(2), 18–27. <https://www.researchgate.net/publication/368943632StainingTechniquesinMicrobiologyAReview>
- Chavarría, K., Yañez Saltos, J., & et al. (2024). Widespread occurrence of fecal indicator bacteria in tropical coastal waters: a challenge for water quality management. *PeerJ*, 12, 18007. <https://doi.org/10.7717/peerj.18007>
- Chen, L., et al. (2023). MALDI TOF MS is an effective technique to classify specific microorganisms. *Microbiology Spectrum*, 11(3), e00307-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00307-23>
- Chowdhury, M., Laiz, I., & de la Calle, I. (2025). Sentinel 2 enabled E. coli and Enterococcus faecal bacteria surveillance in coastal recreational waters. *Scientific Reports*, 15, 27144. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11233-1>
- Cortese, M., & Laketa, V. (2021). Advanced microscopy technologies enable rapid response to SARS-CoV-2 pandemic. *Cellular Microbiology*, 23(7), e13319. <https://doi.org/10.1111/cmi.13319>
- Datta, S., Kumar, A., & Chatterjee, B. (2024). Ziehl-Neelsen stain: a dated but useful tool for diagnosis of EPTB in resource-constrained settings. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 12(10), 3759–3763. <https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20242938>
- Doyle, N., Simpson, J., Hawes, P. C., & Maier, H. J. (2024). A novel optimized pre-embedding antibody-labelling correlative light electron microscopy technique. *Access Microbiology*, 6(2). <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000750.v3>
- Durstock, L., Patel, K., & Walker, J. (2025). Improving the quality of water using coliform indicators: Case studies in municipal water treatment systems. *Environmental Science & Technology*, 59(8), 4010-4022. <https://doi.org/10.1021/es204254p>

- Ebert, N., Stricker, D., & Wasenmüller, O. (2023). Transformer-based detection of microorganisms on high-resolution Petri dish images. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2308.09436>
- Elazzazy, A. M. (2025). Where biology meets engineering: Scaling up microbial platforms. *Microorganisms*, 13(3), 566. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13030566>
- Environmental Protection Agency. (2019). Media and Reagents: Preparation and Quality Evaluation (SOP MB-10-07, revised 27 Sep 2019). EPA. <https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2020-02/documents/mb-10-07.pdf>
- Eurofins. (2024, April 22). Microbiological Indicator Testing: Overview, considerations and FAQs. Eurofins Food Testing. <https://www.eurofinsus.com/food-testing/resources/microbiological-indicator-testing-overview-considerations-and-faq/>
- Faraji, H., et al. (2025). Investigating the physical and chemical factors affecting the microbial status of water in the water distribution network of Babol City with an emphasis on the HPC index. *PLOS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324186>
- Farooq, U., Hanumanthayya, M., & Haq, I. (2023). Emerging technologies in industrial microbiology: from bioengineering to CRISPR-CAS systems. *Salud Ciencia Y Tecnología*, 3, 406. <https://doi.org/10.56294/saludcyt2023406>
- Fontalvo, J. L. (2020). Métodos analíticos de microbiología general y aplicada. <https://doi.org/10.21676/9789587462487>
- Forbes, B. A., Sahm, D. F., & Weissfeld, A. S. (2016). *Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology* (13th ed.). Elsevier Health Sciences.
- Freese, T. (2024). The relevance of sustainable laboratory practices. PMC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11078267/>

- Freese, T., Elzinga, N., Heinemann, M., Lerch, M. M., & Feringa, B. L. (2024). The relevance of sustainable laboratory practices. *RSC Sustainability*, 2, 1300–1336. <https://doi.org/10.1039/d4su00056k>
- García, L., & López, S. (2022). Microbial growth control in refrigeration units: Engineering perspectives. *Chemical Engineering Journal*, 427, 131720. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.131720>
- Gautam, A. K., Sharma, A. K., & Kumar, S. (2022). Classification of fungi and their ecological role in industrial processes. *Fungal Ecology*, 50(4), 1057–1067. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2021.02.003>
- Gerassimov, D. S. (2025, May 14). Great short history of microbiology development as a science. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2505.09658>
- Gomez, M. R., Lopez, G., & Venter, T. (2022). Protist morphology and classification: From traditional methods to molecular advances. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 69(2), 45–51. <https://doi.org/10.1111/jeu.12900>
- González, A. M. M., Luque, V. B., Fernández, J. C. G., Casas, M. L., & Arroquia, E. Q. (2019). Microbiología: conceptos esenciales. Portal De Investigación de la Universitat Autònoma de Barcelona. <https://portalrecerca.uab.cat/es/publications/microbiolog%C3%ADa-conceptos-esenciales>
- González, J. M., & Aranda, B. (2023). Microbial growth under limiting conditions – future perspectives. *Microorganisms*, 11(7), 1641. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071641>
- Griffero, L., et al. (2024). Microbial communities indicate fine differences in pollution levels across aquatic environments. *Environmental Research*, 235, 115707. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.115707>

- Hafezi, A. (2024). The method and analysis of some biochemical tests in microbial identification procedures. *Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. <https://brieflands.com/journals/chbs/articles/160199>
- Hamal, D., Shrestha, R., Parajuli, S., Nayak, N., Bhatt, D. R., Subramanya, S. H., & Gokhale, S. (2022). Comparative evaluation of geneXpert MTB/RIF assay and Ziehl-Neelsen staining for the diagnosis of tuberculosis. *Journal of Kathmandu Medical College*, 160–164. <https://doi.org/10.3126/jkmc.v11i3.50787>
- Hardõ, G., et al. (2024). Quantitative microbiology with widefield microscopy: Artefacts and corrections. *Communications Biology*, 7, 178. <https://www.nature.com/articles/s44303-024-00024-4>
- Hartline, R. (2021). Media Preparation. En *Microbiology Laboratory Manual*. LibreTexts. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/MicrobiologyLaboratoryManual\(Hartline\)/01:Labs/1.02:MediaPreparation](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/MicrobiologyLaboratoryManual(Hartline)/01:Labs/1.02:MediaPreparation)
- Hartline, R. (2022). Media Preparation. En *Microbiology Laboratory Manual*. LibreTexts. <https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/MicrobiologyLaboratoryManual%28Hartline%29/01%3ALabs/1.02%3AMediaPreparation>
- Huffington Post. (2023, 23 de junio). Crean paracetamol a partir de residuos plásticos usando bacterias de E. coli modificadas. *Huffington Post*. <https://www.huffingtonpost.es/life/crean-paracetamol-partir-residuos-plasticos-usando-bacterias-modificadas.html>
- Indrasari, W., Kurniati, I., Dermawan, A., & Sufa, H. I. (2024). Confirmation of Mycobacterium tuberculosis culture results with Ziehl-Neelsen staining and MPT64 antigen test. *Current Biomedicine*, 3(1), 11–15. <https://doi.org/10.29244/currbiomed.3.1.11>
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA (2022). Guía para el control de calidad de medios de cultivo en laboratorios microbiológicos. <https://www.invima.gov.co>

- Işıl, C., Koydemir, H. C., Eryilmaz, M., de Haan, K., Pillar, N., Montesoglu, K., ... & Ozcan, A. (2025). Virtual Gram staining of label-free bacteria using dark-field microscopy and deep learning. *Science Advances*, 11(2), eads2757. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ads2757>
- Jagtap, G. A., Badge, A., Kohale, M. G., & Wankhade, R. S. (2023). The role of the biosafety cabinet in preventing infection in the clinical laboratory. *Cureus*, 15(12), e51309. <https://doi.org/10.7759/cureus.51309>
- Jamy, M., et al. (2023). Protist biodiversity and ecological roles: An updated framework. *Trends in Microbiology*, 31(6), 1245–1258. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2023.04.003>
- James, N. (2024). Top 7 trends in Petri dish innovations. *Verified Market Reports*. <https://www.verifiedmarketreports.com/es/blog/top-7-trends-in-petri-dish-innovations/>
- Jensen, M. M., & Scholz, C. F. P. (2020). Haemolytic patterns in *Streptococcus*. *Journal of Clinical Microbiology*, 58(3), e01234-19. <https://doi.org/10.1128/JCM.01234-19>
- Kaur, G., & Singh, P. (2023). Gram staining and microscopy in clinical microbiology: Current perspectives and challenges. *Journal of Laboratory Physicians*, 15(1), 5–12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37239814>
- Khodaparast, M., Sharley, D., Marshall, S., & Beddoe, T. (2024). Advances in point of care and molecular techniques to detect waterborne pathogens. *npj Clean Water*, 7, 74. <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00368-9>
- Kochanowski, J. A., Carroll, B., Asp, M. E., Kaputa, E., & Patteson, A. E. (2023). Bacteria colonies modify their shear and compressive mechanical properties in response to different growth substrates. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2309.15057>
- Konstantinou, L., Varda, E., Apostolou, T., Loizou, K., Dougiakis, L., Inglezakis, A., & Hadjilouka, A. (2024). Biosensor-Based Detection of *Salmonella* spp. in Food. *Biosensors*, 14(12), 582. <https://doi.org/10.3390/bios14120582>

- Kovács, M., et al. (2025). Detection and identification of food borne yeasts: A comprehensive review of nucleic acid based, culture dependent and culture independent molecular yeast identification techniques. *Microorganisms*, 13(5), 981. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13050981>
- Krishnan, C., Santhanam, M., Kumar, M., & Rangarajan, M. (2022). Iron oxide-modified pervious concrete filter for lead removal from wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102681. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102681>
- Kumakura, D., et al. (2023). Disentangling the growth curve of microbial culture. *Journal of General Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2023.03.001>
- Leclercq, A., Moura, A., & Lecuit, M. (2021). A practical guide to selective media for enteric bacteria. *Clinical Microbiology Reviews*, 34(2), e00084-20. <https://doi.org/10.1128/CMR.00084-20>
- Levinson, W. (2019). *Review of Medical Microbiology and Immunology* (15th ed.). McGraw-Hill Education. <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookID=2716>
- Li, B., et al. (2024). Strategy to mitigate substrate inhibition in wastewater treatment systems. *Nature Communications*, 15, Article 52364. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-52364-9>
- Li, H., Li, L., Chi, Y., Tian, Q., Zhou, T., Han, C., ... & Zhou, Y. (2020). Development of a standardized Gram stain procedure for bacteria and inflammatory cells using an automated staining instrument. *MicrobiologyOpen*, 9(9), e1099. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1099>
- Li, M. N., et al. (2024). 16S rRNA gene sequencing for bacterial identification and infectious disease diagnosis. *Biosystems*. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2024.10.14.618149>
- Liu, X., et al. (2023). Predicting microbial community compositions in wastewater treatment plants using artificial neural networks. *Microbiome*, 11, 119. <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01519-9>

- López-Goñi, I. (2020). Preparados para la próxima pandemia: Reflexiones desde la ciencia. Ediciones Destino. <https://www.planetadelibros.com/libro-preparados-para-la-proxima-pandemia/321159>
- López-Goñi, I. (2023). Salud global: La nueva estrategia frente a la amenaza medioambiental. Ediciones B. <https://www.planetadelibros.com/libro-salud-global/357147>
- Luna Fontalvo, J. A. (2020). Métodos analíticos de microbiología general y aplicada: (ed.). Editorial Unimagdalena. <https://0310w17x0-y-https-elibro-net.basesdedatos.utmachala.edu.ec/es/lc/utmachala/titulos/128443>
- Lv, X., et al. (2022). Progress of molds and yeasts in fermented food production. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1075162. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1075162>
- Machado, K. N., Santos, M. F. D., Missio, R. F., & Vendruscolo, E. C. G. (2024). Bacterial Quantification in Different Plating Methodologies. *Journal Of Advances In Biology & Biotechnology*, 27(8), 964-973. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i81217>
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2021). *Brock Biology of Microorganisms* (16th ed.). Pearson.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Bender, K. S. (2021). *Brock biology of microorganisms* (15th ed.). Pearson.
- Maselela, J. L., et al. (2024). The microbiological quality of bottled and tap water: Risks and standards compliance. *International Journal of Water and Health*. <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2415168>
- McDaniel, E. A., Wahl, S. A., Ishii, S., Pinto, A., Ziels, R., Nielsen, P. H., McMahon, K. D., & Williams, R. B. H. (2021). Prospects for multi-omics in the microbial ecology of water engineering. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2105.08856>
- McMahon, J., Tomita, N., Tatishev, E. S., Workman, A. A., Costales, C. R., Banaei, N., ... & Hassanpour, S. (2025). A novel framework for the automated characterization of

- Gram-stained blood culture slides using a large-scale vision transformer. *Journal of Clinical Microbiology*, 63(3), e01514-24. <https://doi.org/10.1128/jcm.01514-2>
- Meléndez, J. R., Mátyás, B., Hena, S., Lowy, D. A., & El Salous, A. (2022). Perspectives in the production of bioethanol: A review of sustainable methods, technologies, and bioprocesses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>
- Meneguetti, M. G., Laus, A. M., de Oliveira, R. F., Brancaglioni, A. C. A., & Basile-Filho, A. (2022). Biological safety cabinets: Performance evaluation and operator practices in hospital microbiology laboratories. *American Journal of Infection Control*, 50(5), 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.12.005>
- Milne Publishing. (2022). Preparation of Culture Media. En *Microbiology: A Laboratory Experience*. <https://milnepublishing.geneseo.edu/microbiology-lab/chapter/preparation-of-culture-media/>
- Miller, N. P., Khammixay, S., Chommanam, P., & Grant, B. D. (2019). Use of phase-change material for portable, electricity-free incubators for bacterial culture. *PLOS ONE*, 14(6), e0218162. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218162>
- Mohan, A., Kar, H. K., Sharma, P., & Narang, T. (2022). Modified Ziehl–Neelsen staining for *Mycobacterium leprae* in leprosy: Relevance in the present scenario. *Journal of Skin and Sexually Transmitted Diseases*, 4(2), 123–127. <https://doi.org/10.25259/jsstd342022>
- Molinaro, C., Da Cunha, V., Gorlas, A., Iv, F., Gallais, L., Catchpole, R., Forterre, P., & Baffou, G. (2020). Are bacteria claustrophobic? The problem of micrometric spatial confinement for the culture of micro-organisms. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2012.06130>
- Morales-Sánchez, D., Trejo-Hernández, M. R., Vázquez-Duhalt, R., & Martínez, A. (2012). Producción de biodiésel a partir de microalgas. En *Uso de la biodiversidad para bioenergía y biocombustibles en las zonas áridas de México* (pp. 1-20). Universidad de Sonora - CIAD, A. C.

https://www.researchgate.net/publication/340790198PRODUCCIONDEBIODIESEL_APARTIRDE_MICROALGAS

Morovati, H., et al. (2023). A comprehensive review of identification methods for pathogenic yeasts. *Frontiers in Microbiology*.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10492613/>

Mora, M., Carreño, A., & Barahona, S. (2020). Biorremediación microbiana de aguas residuales industriales: una revisión. *Microciencia*, 8 (1), 45–59.

<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/12595>

Mutegoa, E., et al. (2024). Efficient techniques and practices for wastewater treatment. *Sustainable Water Resources Management*. [https://doi.org/10.1007/s43832-024-00131-](https://doi.org/10.1007/s43832-024-00131-8)

[8](https://doi.org/10.1007/s43832-024-00131-8)

Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M. A. (2022). *Medical Microbiology* (10th ed.). Elsevier.

<https://www.elsevier.com/books/medical-microbiology/murray/978-0-323-67289-4>

Nápoles Vega, A. (2022). La bioseguridad en los laboratorios de las universidades de ciencias médicas. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 21(3), 1-11.

<https://revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/5419>

National Geographic España. (2024). Placa de Petri, el pequeño mundo de la microbiología.

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/placa-petri-pequeno-mundo-microbiologia_22598

Nazir, J., Manzoor, T., Saleem, A., Gani, U., Bhat, S. S., Khan, S., Haq, Z., & Jha, P. (2025). Combatting Salmonella: a focus on antimicrobial resistance and the need for effective vaccination. *BMC Infectious Diseases*, 25, 84.

<https://doi.org/10.1186/s12879-025-10478-5>

Nerome, S., Yokota, N., Ojima, Y., & Azuma, M. (2021). Evaluating β -1,3-glucan synthesis inhibition using emulsion formation as an indicator. *Journal Of Microbiological Methods*, 190, 106327.

<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2021.106327>

- Ochoa, M., Simmonds, P., & Johnston, S. (2022). A review on viral taxonomy: From morphology to genomics.
- Panizo, M. M., Ferrara, G., & Reviakina, V. (2021). Bioseguridad y buenas prácticas para los laboratorios de microbiología en el contexto de la pandemia causada por el SARS-CoV-2. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 40(2), 122–143. <https://doi.org/10.1234/abcd1234>
- Patel, A., Wolfram, A., & Desin, T. S. (2024). Advancements in Detection Methods for Salmonella in Food: A Comprehensive Review. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11728791/>
- Pereira, J. V., Gamage, H. K. A. H., Cain, A. K., Hayes, E., Paulsen, I. T., & Tetu, S. G. (2023). High-Throughput Viability Testing of Microbial Communities in a Probiotic Product Using Flow Cytometry. *Applied Microbiology*, 3(3), 1068-1082. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol3030074>
- Pluym, T., et al. (2024). Microbial drinking water monitoring now and in the future. *Environmental Microbiology Reports*. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14532>
- Pluym, T., Waegenaar, F., De Gussemé, B., & Boon, N. (2024). Microbial drinking water monitoring now and in the future. *Microbial Biotechnology*, 17, e14532. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14532>
- Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. (2020). *Microbiology* (11th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/microbiology-prescott-harley/M9781260546741.html>
- Rajpurohit, H., et al. (2022). Nutrient Limited Operational Strategies for the Microbial Culture. *Frontiers in Microbiology*, (Article). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9695796>
- Ransom, E. M., et al. (2025). Evaluation of two MALDI TOF MS systems and extraction methods for mold identification. [Journal]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11837564/>

- Reina, M., & Reina, A. (2021). Seguridad en el laboratorio: una aproximación práctica. *Educación Química*, 32(5), 45. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78772>
- Reiner, J., Azran, G., & Hyams, G. (2020, September 26). MicroAnalyzer: A Python Tool for Automated Bacterial Analysis with Fluorescence Microscopy. *arXiv.org*. <https://arxiv.org/abs/2009.12684>
- Rhoads, D. D., Zhang, Y., & Carruthers, M. (2020). Laboratory methods in microbiology: Bacterial morphology and gram staining techniques. *Journal of Microbiological Methods*, 167, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105827>
- Rodríguez-Maffiotte Martín, C. (2020, 8 de abril). Una pequeña historia de la lucha contra la infección. *Museos de Tenerife*. <https://www.museosdetenerife.org/blog/articulo-de-divulgacion-una-pequena-historia-de-la-lucha-contr-la-infeccion-por-conrado-rodriguez-maffiotte-martin/>
- Ruben.Casalic. (2024, September 6). Placas Petri: Todo lo que necesitas saber para el Cultivo y Análisis Microbiológico. *Labdescubre*. <https://labdescubre.com/placas-petri-todo-lo-que-necesitas-saber-para-el-cultivo-y-analisis-microbiologico/>
- Ryan, K. J., & Ray, C. G. (2020). *Sherris Medical Microbiology* (7th ed.). McGraw-Hill Education. <https://accessmedicine.mhmedical.com/book.aspx?bookid=2570>
- Ryu, H., et al. (2021). Understanding microbial loads in wastewater treatment: a meta analysis. *Water Research*, 200, 117524. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117524>
- Saini, S., Tewari, S., Dwivedi, J., & Sharma, V. (2023). Biofilm mediated wastewater treatment: a comprehensive review. *Materials Advances*, 4, 1234-1251. <https://doi.org/10.1039/d2ma00945e>
- Sandle, T. (2022). Best practices in environmental monitoring [White Paper]. *RSSL*. <https://www.rssl.com/media/ry4http1q/rssl-white-paper-environmental-monitoring-2022.pdf>

- Sandle, T. (2023). Lifting the Lid of the Petri Dish: The Science of Microbiological Culture Media. *IST Journal*, Winter 2023, 17–21.
- Santarpia, J. L. (2023). Environmental sampling for disease surveillance: air, surface and water/wastewater methods. *Journal of the Air & Waste Management Association*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10962247.2023.2197825>
- Sartorius. (2024). Preparation of Culture Media for Microbiological Testing. <https://www.sartorius.com/en/knowledge/science-snippets/preparation-of-culture-media>
- SciSols. (2024). Placas Petri estériles: Usos, importancia y ventajas. SciSols. <https://scisols.com/placas-petri-usos-importancia-ventajas/>
- Scientist Cindy. (2024). Microbial Nutrition and Growth. <https://www.scientistcindy.com/microbial-nutrition-and-growth.html>
- Semenov, M. V., Zhelezova, A. D., Ksenofontova, N. A., Ivanova, E. A., Nikitin, D. A., & Semenov, V. M. (2025). Microbiological indicators for assessing the effects of agricultural practices on soil health: A review. *Agronomy*, 15(2), 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020335>
- Serrano, L. V. F., Carvajal, N. a. G., & Del Rocío Yanchatipan Chiluita, V. (2022, October 21). Normas de bioseguridad en los laboratorios clínicos frente a la pandemia por COVID-19. <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/320>
- Sipiczki, M. (2023). Identification of antagonistic yeasts as potential biocontrol agents. *Food Microbiology*. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(23\)00276-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(23)00276-3)
- Skarstad, K. (2023). Bacterial growth and chromosome replication. In B. H. Frey (Ed.), *Microbial physiology and biochemistry* (pp. 107–132).
- Talaro, K. P., & Chess, B. (2019). *Foundations in Microbiology* (10th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/foundations-microbiology-talaro-chess/M9780073522609.html>

- Tamhai, S., et al. (2023). Growth and decay of fecal indicator bacteria and their attachment behavior in beach sand: Case study. *Microorganisms*, 11(4), 1074. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041074>
- Tessarolo, F., & Masè, M. (2025). Field assessment of a novel sensor for measuring noncondensable gases in steam sterilizers. *Scientific Reports*, 15(1), 9836. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94798-1>
- Tiwari, N. V. D., Maqusood, N. M., Ramakrishna, N. G., & Rastogi, N. R. (2020). To Compare the Diagnostic Sensitivity of ZN (Ziehl-Neelsen) Staining, CBNAAT (Cartridge Based Nucleic Acid Amplification Test) and Mycobacterium Culture of BAL (Bronchoalveolar Lavage) Fluid among Sputum Smear Negative or Non- Sputum Producing Patients wi. *Asian Journal of Medical Research*, 9(1), PM14–PM19. <https://doi.org/10.47009/ajmr.2020.9.1.pm4>
- Toombs, J. T., Luitz, M., Cook, C. C., Jenne, S., Li, C. C., Rapp, B. E., Kotz-Helmer, F., & Taylor, H. K. (2022). Volumetric additive manufacturing of silica glass with microscale computed axial lithography. *Science*, 376(6590), 308–312. <https://doi.org/10.1126/science.abm6459>
- Torres, M., Rodríguez, E., & Lara, V. (2021). Impact of refrigeration on food safety and microbiological stability. *International Journal of Food Microbiology*, 337, 108956. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.108956>
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2016). *Microbiología* (11.^a ed.). Pearson Educación.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2018). *Microbiology: An Introduction* (13th ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/microbiology-an-introduction/P100000785180>
- Tsvetanova, Z., et al. (2024). Antimicrobial resistance of waste water microbiome in an urban wastewater treatment plant. *Water*, 17(1), 39. <https://doi.org/10.3390/w17010039>

- Ullah, I., Khan, A., & Rho, S. (2023). Artificial intelligence-assisted microscopy for microbiological image analysis: A comprehensive review. *Sensors*, 23(4), 1915. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/1915>
- Vázquez, C. A. S. (2021). Preparación y manejo de medios de cultivo en microbiología: Placas Petri y tubos de ensayo. Docsity. <https://www.docsity.com/es/docs/trabajos-microbiologia-y-bioquimica/7758062/>
- Viales Hurtado, R. J., & Rodríguez Sánchez, C. (Eds.). (2021). Historia de la microbiología en contexto global: Estudios de caso de Costa Rica, Argentina y España. Universidad de Costa Rica. <https://digital.csic.es/handle/10261/263410>
- Volf, G., et al. (2025). Explaining and Predicting Microbiological Water Quality for Sustainable Management of the Butoniga Drinking Water Treatment Facility in Istria (Croatia). *Sustainability*, 17(15), 6659. <https://doi.org/10.3390/su17156659>
- Waegenaar, F., et al. (2024). Impact of temperature and water source on drinking water microbiome and microbial growth. *npj Clean Water*, 7, 371. <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00371-0>
- Wang, Y., et al. (2021). Metabolism Characteristics of Lactic Acid Bacteria and the Metabolites in the Food Fermentation Industry. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 612285. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612285>
- Weber, D. J., Rutala, W. A., Anderson, D. J., & Sickbert-Bennett, E. E. (2023). Biofilms on medical instruments and surfaces: Do they interfere with instrument reprocessing and surface disinfection. *American Journal of Infection Control*, 51(11), A114–A119. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.04.158>
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., Jia, Z., & Yuan, Z. (2020). Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality—A Review. *Sustainability*, 12(6), 2249. <https://doi.org/10.3390/su12062249>

- Wight, G. D., Ochoa, J., & Dorevitch, S. (2020). Microbiology in the field: Construction and validation of a portable incubator for real-time quantification of coliforms and other bacteria. *PLOS ONE*, 15(12), e0243705. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243705>
- Willey, J. M., Sherwood, L. M., & Woolverton, C. J. (2017). *Prescott's Microbiology* (10th ed.). McGraw-Hill Education. <https://www.mheducation.com/highered/product/prescott-s-microbiology-willey-sherwood/M9780078021046.html>
- Woese, C. R., Kandler, O., & Wheelis, M. L. (1990). Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(12), 4576–4579. <https://doi.org/10.1073/pnas.87.12.4576>
- World Health Organization. (2022). *Laboratory biosafety manual* (4th ed.). WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011311>
- Wu, K.-Y., & Yang, T.-X. (2020). A novel improved Gram staining method based on the capillary tube. *Polish Journal of Microbiology*, 69(4), 503–508. <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-059>
- Xu, J., Lee, R., & Sbaraglia, G. (2023). Recent advances in the molecular classification of fungi. *Microorganisms*, 11(3), 123. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030123>
- Yadav, J., Marwah, H., & Kumar, C. (2025). Synthetic biology and metabolic engineering paving the way for sustainable next-gen biofuels: a comprehensive review. *Energy Advances*, 4(10), 1209–1228. <https://doi.org/10.1039/d5ya00118h>
- Yang, M. Q., et al. (2024). Research progress on the application of 16S rRNA gene sequencing and machine learning in bacterial identification. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1360457. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1360457>
- Yang, M. Q., et al. (2025). Research progress on the application of 16S rRNA gene sequencing and machine learning in bacterial identification. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1360457. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1360457>

- Yao, X., Pathak, V., Xi, H., Chaware, A., Cooke, C., Kim, K., Xu, S., Li, Y., Dunn, T., Konda, P. C., Zhou, K. C., & Horstmeyer, R. (2021). Increasing a microscope's effective field of view via overlapped imaging and machine learning. *Optics Express*, 30(2), 1745. <https://doi.org/10.1364/oe.445001>
- Yeboah, P. J., Ibrahim, S. A., & Krastanov, A. (2023). A review of fermentation and the nutritional requirements for effective growth media for lactic acid bacteria. *Food Science and Applied Biotechnology*, 6(2), 215-240. <https://doi.org/10.30721/fsab2023.v6.i2.269>
- Yin, Q., He, K., & Collins, G. (2024). Microbial strategies driving low concentration substrate degradation for sustainable remediation solutions. *npj Clean Water*, 7, 52. <https://doi.org/10.1038/s41545-024-00348-z>
- Yook, S., et al. (2023). Recent advances in genetic engineering and chemical production in yeasts. [Journal]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40082732/>
- Yu, X., Zhang, Q., Deng, X., Liang, J., Hao, S., Chen, J., & Du, H. (2020). A comparative study of four Bowie-Dick test under the condition of pressure steam sterilizer simulating gas leakage. *Medicine*, 99(50), e23653. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000023653>
- Zabala, J. P., & Rojas, N. F. (2019). Historia de la microbiología en América Latina desde la perspectiva de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología. *Diálogos Revista Electrónica*, 21(1), 138–165. <https://doi.org/10.15517/dre.v21i1.39376>
- Zabala, J. P., & Rojas, N. F. (2019b). Historia de la microbiología en América Latina desde la perspectiva de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología. *Diálogos Revista Electrónica*, 21(1), 138–165. <https://doi.org/10.15517/dre.v21i1.39376>
- Zamorska, J., Karwowska, E., & Przysaś, W. (2023). Assessment of Microbiological Quality of Water Using Culture Methods, Flow Cytometry and Luminometry. *Water*, 15(23), 4077. <https://doi.org/10.3390/w15234077>

- Zhang, H. (2022). The role of glassware in microbiology: A historical review and modern perspectives. *Journal of Applied Microbiology*, 133(4), 1622–1630. <https://doi.org/10.1111/jam.15123>
- Zhang, L., et al. (2023). Advances in bioprocessing: Glass reactors for bioengineering applications. *Chemical Engineering Journal*, 441, 136347. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136347>
- Zhou, W., et al. (2021). Microbial diversity in full scale water supply systems through sequencing technology. *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/d1ra03680g>
- Zieliński, B., Sroka-Oleksiak, A., Rymarczyk, D., Piekarczyk, A., & Brzywczy-Włoch, M. (2020). Deep learning approach to describe and classify fungi microscopic images. *PLoS ONE*, 15(6), e0234806. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234806>
- Zwi, S. (2021). Bacterial metabolism and regulation. In *Microbial Biochemistry* (pp. 67-92). Academic Press.

PDF

International Publication Technical Data

Title: MICROBIOLOGÍA GENERAL APLICADA A LA INGENIERIA QUÍMICA

Publisher: Editorial Hambatu Sapiens

Authors: Ofelia Alexandra Granda Morocho; Juliana Lisbeth Criollo Feijoo; Luisa Gabriela González González; Mayra Isabel Calva Luzón; Ana Lucia Guamán Guamán

Format: PDF

Pages: 121 pág.

Size: A4 21x29.7cm

System Requirements: Adobe Acrobat Reader

Access Mode: World Wide Web

ISBN: 978-9907-805-02-4

DOI: <https://doi.org/10.63862/ehs-978-9907-805-02-4>

