

## TEMA 2. ORGANIZACIÓN CELULAR PROCARIOTA

Prof. Marleny Chavarri

Células Procariotas. Características de las células procariotas (tamaño, forma, motilidad y estructura celular). Diferencias entre las células Gram+ y Gram-. Principios de taxonomía bacteriana. Algunas familias bacterianas de interés en agronomía y salud pública.

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Tecnología, Laboratorio de Microbiología. Maracay. 2024.

### Características de las células procariotas

#### Morfología de las bacterias

La morfología es la parte de la microbiología que estudia la forma y tamaño de los microorganismos. No hay duda de que el estudio morfológico de los microorganismos se inició desde el momento en que el hombre pudo reproducirlos en medios de cultivo artificiales preparados en el laboratorio, de otra manera hubiera sido imposible llegar a estudiar y conocerlos en la forma como se los conoce en la actualidad.

En el caso específico de las bacterias, la morfología puede estudiarse desde dos aspectos principales: a) morfología de las colonias (crecimiento bacteriano: número de celular) que forman las bacterias cuando desarrollan en medios de cultivos sólidos (estudio macroscópico). Esas colonias son observables a simple vista y a) morfología de la célula aislada, observable solo con ayuda del microscopio (estudio microscópico).

Los medios de cultivo tienen una importancia fundamental en la morfología de las bacterias, pues, los ingredientes que los componen actúan de una u otra manera sobre el desarrollo microbiano y en la composición química del protoplasma celular. En este tema se discutirá las características morfológicas de la célula y las agrupaciones que forma al momento de dividirse.

**Tamaño.** La célula bacteriana presenta dimensiones sumamente pequeñas, pero perfectamente medible. La unidad de medida que se utiliza es el micrómetro ( $\mu\text{m}$ ), el cual equivale a  $10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$ . Aunque el tamaño de las bacterias es variable, generalmente, su rango está entre 1-1,5  $\mu\text{m}$  de diámetro por 3-10  $\mu\text{m}$  de longitud. Algunas formas filamentosas alcanzan 100  $\mu\text{m}$  de longitud. El promedio frecuente del tamaño de la célula bacteriana oscila entre 1x5  $\mu\text{m}$ .

**Forma.** La forma de las bacterias no es siempre constante, al igual que sus dimensiones. Presentan

cuatro formas características:

- Esféricas o redondeada se denominan cocos.
- Alargadas, cilíndricas llamadas bacilos o bastones.
- Curvas llamadas espiraladas u onduladas. En la forma espiralada se presentan tres variantes dependiendo del número y tipo de ondulación:
  - Vibrión: presenta una sola ondulación, semejando una coma.
  - Espirilo: presenta más de una ondulación.
  - Espiroqueta: presenta más de una ondulación, en forma de zigzag.
- Filamentosas parecidas a los hongos en la forma, pero son procariotas.

#### Otras formas bacterianas

Las bacterias pueden presentar una serie de variaciones y entre estas se pueden presentar en forma de estrella (género *Stella*), también se presentan bacterias de formas rectangulares y planas pertenecientes al género *Haloarcula* y ciertas células alargadas en forma de pera (género *Hyphomicrobium*).

La forma de las bacterias se mantiene relativamente constante cuando los cultivos son jóvenes y están desarrollándose en condiciones óptimas. En cultivos viejos o cuando las condiciones de crecimiento son adversas (temperaturas muy altas, excesiva concentración de sales, presencia de sustancias antibacterianas, etc.) la célula bacteriana puede sufrir cambios en la morfología. Es por ello que los estudios microbiológicos deben hacerse siempre en cultivos jóvenes mantenidos en condiciones óptimas.

La forma de la célula bacteriana afecta su funcionamiento y estabilidad. Los cocos, por ser redondos, se distorsionan menos y son más resistentes a la desecación que los bacilos y espirilos; sin embargo, los bacilos, al tener expuestas mayor superficie por unidad de volumen que los cocos, toman con más rapidez los nutrimentos en las disoluciones. Las formas espiraladas son móviles y se desplazan por un movimiento de sacacorchos, lo

cual hace que encuentren menor resistencia por parte del agua que los rodea, que los bacilos móviles.

**Agrupaciones.** Las células bacterianas con excepción de las que tienen forma espiriladas, filamentosas y otras formas, pueden formar diferentes agrupaciones dependiendo de los planos en que ocurre la división celular y de la tendencia de las células hijas de permanecer unidas. En el caso de los cocos se tienen las siguientes agrupaciones:

- **Micrococcos.** Independientemente de cuál sea el plano de división, las células hijas permanecen aisladas o colocadas en forma desordenada.
- **Diplococcos.** Cuando la división celular ocurre en un solo plano y las células hijas permanecen unidas de dos en dos.
- **Streptococcos.** Cuando la división celular ocurre en un solo plano y las células hijas se mantienen unidas formando cadenas, las cuales pueden ser cortas de dos a cuatro células o largas de más de veinte células. Muchas veces tienen aspecto de diplococcos unidos en serie.
- **Estafilococcos.** Cuando la división celular ocurre en dos o más planos y las células hijas se mantienen unidas, pero de una forma irregular, en forma de racimo.
- **Tetrada.** Cuando la división ocurre en dos planos situados perpendicularmente permaneciendo cuatro células unidas.
- **Sarcina.** Cuando la división celular ocurre en los tres planos del espacio perpendiculares entre sí, permaneciendo ocho, dieciséis o más células unidas formando un cubo.

Las únicas agrupaciones que forman las células que tienen forma de bacilo son: diplobacilo y estreptobacilo.

### Estructura de la célula bacteriana

La estructura de la célula bacteriana es muy parecida a la de las células que se encuentran en las plantas superiores; sin embargo, existen algunas diferencias que las caracterizan, las cuales permiten reconocer que las bacterias son células en estado más primitivo. La célula bacteriana presenta estructuras externas y estructuras internas.

### Estructuras externas

**Flagelos.** Es un largo apéndice que se origina de un granulo basal ubicado en la pared celular en la membrana citoplasmática. Es de naturaleza filamentosos y su longitud es variable (15 a 25  $\mu\text{m}$ ). Estos apéndices bacterianos son largos, delgados, libres por un extremo y por el otro unidos a la célula. Debido a su diámetro extremadamente pequeño (100 nm) no es posible observarlo con las técnicas

corrientes de laboratorio. Mediante técnicas especiales de tinción el colorante se deposita en la superficie del flagelo, aumentando su grosor y posibilitando su observación con el microscopio de luz.

Los flagelos están constituidos por una proteína llamada flagelina. No todas las bacterias presentan flagelos. Generalmente se presentan en las formas bacilares. La función de los flagelos es facilitar el desplazamiento de la bacteria de un lugar a otro, lo cual representa una ventaja ecológica puesto que le permite a la bacteria que los posee explorar nuevos ambientes en busca de alimento o evitar la presencia de agentes nocivos.

El número de flagelos varía con la especie bacteriana, puede ir desde 1 hasta 100. No todas las formas móviles tienen la misma disposición flagelar y de acuerdo con la presencia o no de flagelos y su disposición alrededor del cuerpo bacteriano la célula recibe diferentes denominaciones:

- **África:** carecen de flagelos, son las formas inmóviles.
- **Monótricas:** presentan un flagelo polar.
- **Lofótricas:** presentan un penacho de flagelos en uno de los extremos de la célula bacteriana o en ambos.
- **Anfítricas:** presentan un único flagelo, en cada extremo de la célula bacteriana.
- **Anfilofótricas:** presentan un penacho de flagelos en ambos extremos de la célula bacteriana.
- **Perítricas:** los flagelos se encuentran rodeando el cuerpo bacteriano.

En cuanto a su morfología se ha visto que estas estructuras no poseen forma estirada, sino helicoidal y cuando están en posición aplanada muestran una longitud de onda constante entre dos curvas adyacentes. El valor de esta longitud de onda es una constante típica de cada especie.

**Fimbrias o pili.** Estas estructuras son parecidas a los flagelos en su morfología y composición química, pero no en su función y sirven como medio de adhesión a las superficies internas. Son una especie de apéndices que se presentan únicamente en algunas bacterias Gram negativas. Son una especie de pelitos anudados en la pared celular. Las fimbrias no las presentan todos los organismos, pues es un carácter hereditario. Su número es variable dependiendo de la especie (desde 1 a 5 por célula hasta cientos de ellos por célula). Su composición química es de naturaleza proteica (pilina), la cual se puede disgregar y reorganizar espontáneamente. Todos los tipos de pili son huecos. Sus funciones son: De adhesión por lo que una célula se mantiene adherida a la otra pudiendo formar películas coherentes sobre la superficie de medios líquidos no

agitados o en el caso de bacterias patógenas, facilitar su adherencia al hospedante.

Las fimbrias confieren a la célula la capacidad para actuar como donador genético en los fenómenos de conjugación; es decir, sirven de conducto para el paso del ADN de la célula donadora a la célula receptora.

**Cápsula.** Es una cubierta de material gelatinoso que rodea el cuerpo bacteriano, la cual se forma debido a la síntesis de polímeros orgánicos que son depositados fuera de la pared celular. Cuando el material se dispone en forma ordenada alrededor de la célula se denominada cápsula, mientras que, si es laxo, de forma tal que solo forme una capa difusa, se le denomina capa mucosa. La cápsula, al igual que los flagelos y las fimbrias, no es esencial para el funcionamiento celular. En efecto, muchas bacterias no la tienen y aquellas que la tienen pueden perder esa capacidad por mutación sin ningún efecto sobre el crecimiento.

La presencia de la cápsula brinda cierta protección a la célula porque aumenta su resistencia contra la fagocitosis, aumentando por tanto la virulencia de la bacteria.

La cápsula y las capas mucosas están compuestas normalmente por polisacáridos, polipéptidos o complejos polisacáridos y proteínas. La propiedad de un organismo de formar cápsula es un carácter hereditario, pero esta propiedad no es esencial para la vida del microorganismo, ya que cepas mutantes sin cápsulas son capaces de vivir normalmente en cultivo puro. Además, existen enzimas que hidrolizan el material capsular sin dañar la célula.

### Estructuras internas

**Pared celular.** Es una estructura fuerte y rígida que le confiere la forma a la célula bacteriana y protege al citoplasma del ambiente externo. Tanto en las bacterias Gram positivas como en las Gram negativas, la pared celular tiene similar composición química: dos derivados de azúcares (N-acetilglucosamida y ácido N-acetilmurámico) y un pequeño grupo de aminoácidos (l-alanina, d-alanina, ácido d-glutámico y lisina o ácido diaminopilémico). Todos estos constituyentes forman una unidad estructural denominada peptidoglucano. Este no se encuentra en la pared celular de los organismos eucariotas.

La pared celular parece continúa; sin embargo, presenta una serie de poros que permiten el paso del agua y diversas sustancias químicas. Constituye una barrera física para sustancias de elevado peso molecular: enzimas líticas, anticuerpos, proteínas de

elevado peso molecular, ácidos nucleicos, partículas virales, etc.

**Membrana citoplasmática.** Se encuentra adosada a la superficie interna de la pared celular, tiene un grosor promedio de 7,5 nm; está compuesta especialmente de lípidos (15-20 %) y proteínas (60-70 %). La membrana no tiene ninguna influencia sobre la forma que adopte la célula bacteriana y eso se ha demostrado mediante digestión enzimática de la pared celular de bacterias bacilares con lisozimas. Cuando la pared celular se destruye, la porción remanente de la célula que adquiere la denominación de protoplasto se hace esférica.

La función principal de la membrana citoplasmática es la de actuar como barrera osmótica para sustancias de peso molecular más bajo. Actúa como cualquier membrana semipermeable, presentando permeabilidad selectiva y permitiendo el paso de sustancias contra un gradiente de concentración; es decir, permite el transporte activo de sustancias nutritivas, lo que es debido a la acción de unas enzimas denominadas permeasas.

Por otra parte, como las bacterias son células procariotas, éstas no contienen ni mitocondrias ni cloroplastos, las funciones de respiración en las bacterias aeróbicas y las funciones fotosintéticas en algunas bacterias que realizan fotosíntesis, se llevan a cabo en la membrana citoplasmática (la cadena de citocromos y los tilacoides están en la membrana), en las algas verde azules los tilacoides están en el citoplasma.

**Citoplasma.** Conforman la porción central de la célula bacteriana, donde se encuentran los ribosomas, el material nuclear y los gránulos citoplasmáticos. Visto al microscopio electrónico tiene una apariencia finamente granular, debido a la presencia de los ribosomas. En él se encuentran la mayor parte de las enzimas que catalizan las reacciones de degradación y síntesis y las cuales participan junto con los ácidos ribonucleicos y los ribosomas en la síntesis de las proteínas.

**Nucleoplasma.** Las bacterias son organismos procariotas y como tal no tienen un núcleo definido como las eucariotas, sino una especie de nucleóide (nucleoplasma) segregado a partir del citoplasma, es de naturaleza fibrilar con contornos irregulares y no presenta una membrana que lo separe del citoplasma. El núcleo está constituido por el ADN que es el material genético de la célula.

**Gránulos citoplasmáticos.** Son otras inclusiones que pueden presentarse en el citoplasma de algunas bacterias y las cuales actúan generalmente como

reserva, la energía y/u otros elementos. Dentro de esos gránulos se pueden mencionar:

- Los metacromáticos o de Babe Ernst que tiñen con colorantes básicos (azul de metileno) y contienen elevadas cantidades de polifosfatos, por lo que son una buena reserva de fósforo.
- Gránulos de naturaleza lipídica o de polisacáridos, los cuales pueden considerarse como productos finales del metabolismo bacteriano y no parecen tener una función activa en los procesos fisiológicos de la célula.

**Plásmidos.** Los plásmidos son moléculas de ADN circular que se encuentran en las bacterias y algunos otros organismos microscópicos. Son independientes del ADN cromosómico y se replican de manera independiente.

Los plásmidos tienen una gran importancia en biología molecular y en la producción de fármacos, terapias génicas. Son esenciales para la clonación molecular, una técnica que permite producir copias idénticas de fragmentos de ADN. Además, le permiten a la célula sobrevivir a factores estresantes y colonizar diferentes ambientes.

**Pigmentos.** La producción de pigmentos por la célula bacteriana se pone de manifiesto durante el desarrollo de colonias en medios agarificados, ya que la colonia se desarrolla con coloraciones características. Los pigmentos pueden ser de naturaleza pirrólica, carotenoide o de antocianos. Los pigmentos ejercen una acción protectora contra los rayos de la luz visible y la ultravioleta y en las bacterias autótrofas son los fotoreceptores de la luz solar. Por otra parte, muchos pigmentos tienen funciones antibióticas que le pueden conferir a la bacteriana que lo posee ventajas ecológicas en situaciones de escasez de alimento.

**Esporas.** La espora bacteriana es una estructura característica de algunas formas bacilares y redondeadas, específicamente de los géneros *Bacillus*, *Clostridium*, *Desulfotomaculum*, *Sporosarcina*, etc.

La espora es un cuerpo refringente oval que se forma dentro de la célula vegetativa. En algunas especies el tamaño de la espora es mayor que el de la célula que le da origen por lo que la célula vegetativa sufre deformaciones durante el proceso de esporulación o esporogénesis. Los dos tipos de esporulación que ocasiona deformaciones son:

- **Esporulación clostridial.** En este tipo de esporulación el bacilo se deforma en su posición central adquiriendo una forma parecida a la de un limón.

- **Esporulación plectridial:** Se da esta denominación cuando la deformación de la célula ocurre en el extremo del bacilo, adquiriendo la forma de una chupeta o un palillo de fósforo.

La estructura de la espora es más compleja que la de la célula vegetativa. La espora presenta además de las estructuras de la célula vegetativa, una serie de envolturas o capas bien definidas: la más externa se denomina exosporio, la interna se llama cutícula o cubierta de la espora y la más interna córtex. Debajo del córtex se encuentran los componentes normales de una célula vegetativa: pared celular, membrana citoplasmática, región nuclear, etc.

La espora bacteriana es una estructura bastante resistente al calor. Esa alta resistencia es conferida por un compuesto denominado dipicolinato de calcio, el cual se forma por combinación del ácido dipicolínico (que es una sustancia química que no se sintetiza en la célula vegetativa) y los iones de calcio que asimila la célula esporulante, y además por proteínas acidosolubles y por la misma espora perse.

**Función.** No se sabe exactamente cuál es la función de la espora bacteriana, pero definitivamente no es de multiplicación por cuanto cada célula vegetativa se forma una sola espora. Debido a que generalmente las esporas se presentan cuando existen condiciones adversas para el desarrollo, muchos investigadores piensan que la espora puede tener alguna influencia en la conservación de la especie.

### Esporas (endosporas)

**Tinción o coloración Gram.** Esta coloración o tinción, descubierta en 1884 por Christian Gram, consiste en lo siguiente: las bacterias se fijan y tiñen con un colorante básico (cristal violeta o violeta de genciana), después es tratada con una solución de lugol (yodo + yoduro de potasio), luego, con alcohol acetona y finalmente con un colorante ácido (safranina ácida) que contrasta con el primer colorante. Después de este tratamiento, algunas bacterias quedan intensamente teñidas de violeta, debido al colorante básico y son llamadas bacterias Gram positivas (Gram+), mientras que otras se decoloran con el alcohol o alcohol-acetona, tomando el color rosado o rojo, según el colorante de contraste usado, y a este grupo se les denomina bacterias Gram negativas (Gram-).

La Gram positividad es un carácter absoluto en las bacterias, sino que existen variaciones entre las diferentes especies Gram positivas. La coloración Gram puede alterarse si se introducen variaciones en la técnica; por eso es necesario describir el proceso usado y seguir con rigor los detalles que se recomiendan. Los resultados dependen considerablemente de la apropiada preparación del

extendido y en empleo de una técnica uniforme en la ejecución de la coloración, así como de la edad de las células a teñir y de otros factores, como el pH del medio, etc.

Las células Gram+, al morir tienden a hacerse Gram- este mismo fenómeno se observa a medida que envejecen. De aquí la conveniencia de usar cultivos jóvenes (18-24 horas) al realizar esta coloración. Por el contrario, las células Gram- no muestran ninguna tendencia a hacerse Gram+.

A continuación, se exponen algunas de las explicaciones existentes en relación a la coloración Gram.

Unas de las últimas teorías para explicar este comportamiento, son: la composición química y la estructura de la pared celular de las bacterias.

Varios autores han demostrado que la pared de las bacterias Gram+ interpone una barrera que evita el acceso del agente decolorante (alcohol o alcohol acetona) al citoplasma y, por lo tanto, evita el lavado del complejo colorante.

La capacidad de la pared de las bacterias Gram- para permitir el acceso de los agentes decolorantes al citoplasma teñido, es una de la consecuencia de su elevado contenido de lípidos (10 – 20%) en la pared celular. Estos lípidos son rápidamente disueltos por el alcohol o la acetona, los cuales pueden penetrar libremente hasta el citoplasma, que se encuentra detrás de la pared celular y lavar el complejo colorante. En cambio, el contenido de lípidos en la pared celular de las bacterias Gram+, en muy pequeño (0 - 2%), no hay evidencias que se disuelvan.

La pared celular de las Gram + y las Gram-, poseen una característica molecular común en ambas: el rígido entramado estructural, constituido por cadenas polisacáridas paralelas unidas cóncavamente por medio de cadenas peptídicas transversales. Este retículo constituye más del 50% del peso de la pared celular; a él se hallan ligados componentes accesorios característicos, que son diferentes en las células Gram+ y en las Gram-. La rígida armazón trabada por covalencias de la pared celular recibe el nombre de péptidoglucano o mureína. La unidad básica que se repite en la estructura del péptidoglucano es el muropéptido, el cual es un disacárido constituido por N. acetil-D glucosamina y ácido N-acetilmurámico con enlaces  $\beta$  (1 - 4).

El péptido glucano está constituido por N-acetil D-glucosamina, N-acetil-murámico y unido al grupo carbonílico del N-acetil murámico está una cadena de polipéptidos que contiene D-alanina ac. D-glutámico,

L-alanina, L-lisina etc., según la especie de bacteria de que se trate.

La pared celular de las bacterias Gram+ son mucho más gruesas y porosas. El contenido de capas de péptido glucano es aproximadamente de 20, encontrándose entrecruzadas. Además de este entramado de péptidoglucano, las paredes celulares de las bacterias contienen cierto número de polímeros accesorios que es aproximadamente del 50% del peso de la pared, esto diferencia una especie de otra. Existen tres tipos de polímeros accesorios: a) ácido teicoico, b) polisacáridos, c) proteínas o polipéptidos. Los ácidos teicoicos, los cuales constituyen del 20 – 40% del peso seco de la pared celular de las Gram+.

La pared celular de las Gram- es mucho más compleja. Sus componentes accesorios están constituidos por polipéptidos, lipoproteínas y sobre todo lipopolisacáridos muy complejos. Estos lipopolisacáridos forman una membrana lipídica exterior y contribuye a la compleja especificidad antigénica de las células Gram-. La pared celular de las bacterias Gram- carecen de ácido teicoico. La pared de las Gram+ puede considerarse como una capa rígida y quebradiza, mientras que la pared de las Gram- posee cutícula exterior rica en lípidos, con el esqueleto de péptidoglucanos rígido sepultado debajo.

En cuanto al grosor de la pared celular de las Gram-, es aproximadamente 8  $\mu\text{m}$ , como en *Escherichia coli*, en cambio las Gram+ como *Bacillus megaterium* es de 22 nm y en *Staphylococcus aureus* de 15 nm para algunos autores, este es otro factor que influye en la Gram positividad y negatividad de las bacterias.

Recientes trabajos han demostrado que la coloración de Gram se fundamenta en la diferencia de las bacterias. En las bacterias Gram+, el complejo cristal-violeta, después de aplicar el mordiente parece estar atrapado en la pared, luego del tratamiento con etanol o alcohol-acetona el cual presumiblemente produce una reducción en el diámetro de los poros de la pared de péptidoglucano, en las células Gram- los poros se mantienen de mayor tamaño después del tratamiento con etanol o alcohol-acetona, el cual permite que el complejo cristal-violeta-yodo pueda ser extraído.

Otros autores consideran que la reacción de Gram positividad, depende de la reacción de un complejo proteico de ribonucleato de Mg (una sal magnésica del ARN) en la capa superficial de la célula.

### Principios de taxonomía bacteriana

La taxonomía se encarga de la clasificación, nomenclatura e identificación los organismos.

Clasificación: estructura los organismos en grupos (taxones) en base a su similitud.

Nomenclatura: asigna nombres a los taxones

Identificación: determina a que taxones pertenece un organismo que se aisló.

### Rangos taxonómicos en la clasificación bacteriana:

#### Taxones

Dominio  
Phylum  
Clase  
Orden  
Familia  
Género  
Especie  
Sub-especie  
Importancia en estudios clínicos y ecológicos

Los criterios para la clasificación taxonómica de bacterias son:

- Fenotípicas
- Genotípicas
- Molecular
- Polifásico

### Las características fenotípicas clásicas de valor taxonómico son:

- Morfología: forma, tamaño, tinción, morfología de la colonia.
- Nutrición y fisiología: autótrofos, quimioautótrofos, aerobio o anaerobio, temperatura y pH óptimos, fuentes alternativas de C, N y S.
- Movilidad: tipo y disposición de flagelos.
- Endospora: localización de la endospora.
- Otros: pigmentos, inclusiones celulares, sensibilidad a antibióticos, patogenicidad, etc.

### Las características genotípicas clásicas de valor taxonómico son:

Contenido G+C

$$\% \text{ G+C} = \frac{\text{G} + \text{C}}{\text{G} + \text{C} + \text{A} + \text{T}} \times 100$$

Guanina (G), Citosina (C), Timina (T), Adenina (A)

Permite distinguir dos organismos, si tienen diferente % G+C, entonces son de diferente especie (diferencia es más del 10%)

Si presentan similar G+C no se puede afirmar nada

### La taxonomía molecular comprende:

a. Caracteres Fenotípicos (marcadores quimiotaconómicos):

- Pared: composición, membrana externa de las células Gram- (lipopolisacáridos).
- Membrana citoplasmática: ácidos grasos, lípidos polares, ácidos micólicos en un grupo de bacterias (Actinomicetes o bacterias filamentosas), pigmentos carotenoides.
- Cadena de transporte electrónico: citocromos, quinonas.
- Sistema fotosintético: bacterioclorofilas.
- Citoplasma: poliaminas en metanogénicas y Gram-.

b. Caracteres genotípicos

c. Moleculares: hibridación DNA-DNA

### Los caracteres Polifásica

#### Comprenden:

- Fenotípicos:** clásicos (morfología, nutrición, etc) y caracteres fenotipos moleculares (marcadores quimiotaconómicos) y perfil de proteínas totales y enzimas.
- Filogenéticos:** basados en el gen del ARNr 16S
- Genotípicos:** clásicos: % G+C y Moleculares: hibridación DNA-DNA

### ACTUALMENTE HAY DOMINIOS: DOMINIO BACTERIA Y DOMINIO ARCHAEA

Dominio bacteria

Actualmente con más de 50 divisiones (phylum)

Más de 400 géneros

Phylum mejores caracterizados:

**Proteobacteria ( $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ ) con 270 géneros**

**Gram positivos (bajo GC y alto GC) con 170 géneros**

**Gram positivos bajo GC**

G+C < 50%

Clostridiaceae, Bacillaceae, Lactobacillaceae, Streptococcaceae, Staphylococaceae, Listeriaceae

**Gram positivos alto GC**

G+C > 50-55%

Actinomycetaceae, Micrococcaceae

Mycobacteriaceae, Nocardiaceae, Bifidobacteriaceae

Dominio Archaea

40 géneros

4 linajes separados:

- Euryarchaeota (termoacidófila, hiperhalófila y metanogénicas).

- Crenarchaeota (hipertermófilos y sulfatos reductores).
- Korarchaeota (hipertermófilas).
- Nitrososphaeria ó Thaumarchaeota (oxidantes del amonio, nitrificantes).

### Familias de importancia agrícola

**Rhizobiaceae:** bacilos, Gram-, aerobios, motiles por flagelos peritricos o por fagelo polar, no forman esporas. Aerobios. Forman nódulos cuando se asocian con las raíces de las leguminosas y fijan nitrógeno atmosférico.

**Enterobacteriaceae:** bacilos, Gram-, aerobios, anaerobios facultativos, motiles, no forman esporas. Aerobios y anaerobios facultativos. Quimioorganótrofos, metabolismo respiratorio o fermentativo. Reducen nitratos a nitritos. Patógenos de animales, plantas y humanos.

**Pseudomonadaceae:** bacilo, Gram-, aerobios estrictos, motiles por flagelos polares, no forman esporas. Habitan en el suelo y agua, mineralizan la materia orgánica y causan enfermedades en las plantas y los animales.

**Cytophagaceae:** bacilos, Gram-, aerobios o anaerobios facultativos, motiles por deslizamiento, no forman esporas. Quimioorganótrofos, metabolismo respiratorio o fermentativo. Son pigmentógenas. Habitan en el suelo y aguas marinas, mineralizan la materia orgánica y utilizan la celulosa como fuente de energía (son celulolíticos).

**Azotobacteriaceae:** Células en forma de bacilos, a veces cocos, formas quistes de forma redondeadas con doble pared. Es móvil por flagelos peritricos o polares e inmóviles. Gram-, en su mayoría. No producen esporas, son heterótrofos. Aerobios estrictos y habitan normalmente en los suelos y de agua. Fijan nitrógeno atmosférico en forma de vida libre.

### Referencias bibliográficas

- Billane K, Harrison E, Cameron D, Brockhurst MA. Why do plasmids manipulate the expression of

bacterial phenotypes? Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2022 Jan 17;377(1842):20200461.

- Brock T. 1973. Biología de los microorganismos. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. pp. 19-29.
- Dawnes I y Sutherland I. 1978. Fisiología de los microorganismos. H. Blume Ediciones. Madrid. 236 p.
- Fisher JF, Mobashery S. Constructing and deconstructing the bacterial cell wall. Protein Sci. 2020 Mar;29(3):629-646.
- Leal-Morales A, Pulido-Sánchez M, López-Sánchez A, Govantes F. 2021. Transcriptional organization and regulation of the Pseudomonas putida flagellar system. Environmental Microbiology. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15857>.
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 1998. Brock Biología de los microorganismos. Prentice Hall, Madrid. 986 pp.
- Prescott L, Harley P, Klein D. 2000. Microbiología. McGraw-Hill-Interamericana, España, 1005 pp.
- Richard P. Agrios' Plant Pathology\_2024. [www.elsevier.com/permissions](http://www.elsevier.com/permissions).
- Strahl H, Errington J. Bacterial Membranes: Structure, Domains, and Function. Annu Rev Microbiol. 2017 Sep 8;71:519-538.
- Tan J, Zhang X, Wang X, Xu C, Chang S, Wu H, Wang T, Liang H, Gao H, Zhou Y, Zhu Y. Structural basis of assembly and torque transmission of the bacterial flagellar motor. Cell. 2021 May 13;184(10):2665-2679.e19.
- Thomson NM, Rossmann, FM, Ferreira JL, Matthews-Palmer TR, Beeby M, Pallen MJ. Bacterial Flagellins: Does Size Matter? Trends Microbiol. 2018 Jul;26(7):575-581.
- Woese CR, Kandler O, Wheelis ML. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. Proc Natl Acad Sci U S A. 1990 Jun;87(12):4576-9.