

CURSOS INSTITUCIONALES

***MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL
Y SANITARIA***

Del 07 al 18 de Octubre de 2002

APUNTES GENERALES

CI-358

Instructora: Q.F.B. Sabrina Cortes Zayas
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS URBANOS
OCTUBRE DEL 2002

CONTENIDO

OBJETIVOS D EL CURSO

INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

1. MICROBIOLOGIA GENERAL

1.1. SIGNIFICADO DE LOS MICROORGANISMOS EN EL AMBIENTE

1.1.1. El suelo

1.1.2 Análisis microbiológico del suelo:

1.2. LOCALIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EN EL SUELO

1.3 DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA MICROFLORA DEL SUELO:

2. CICLOS BIOGEOQUIMICOS

1.1. DEFINICIONES

1.2. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS REPRESENTATIVOS

- 1.3. CICLO DEL H HÍDRÓGENO Y DEL OXÍGENO**
- 1.4. CICLO DEL NITRÓGENO**
- 1.5. CICLO DEL AZUFRE**
- 1.6. OTROS CICLOS**

3.- INTERACCIONES ENTRE POBLACIONES

- 3.1 Relaciones positivas y negativas**
- 3.2 Relación de neutralismo**
- 3.3 Relación de comensalismo**
- 3.4 Relación de sinergismo**
- 3.5 Relación de mutualismo o simbiosis**
- 3.6 Relación de competencia**
- 3.7 Relación de amensalismo**
- 3.8 Relación de parasitismo**
- 3.9 Relación de depredación**

4.- GRUPOS DE BACTERIAS

4.1 Bacterias Gram-negativas anaerobias

4.2 Bacterias Gram-negativas anaerobias facultativas

4.3 Bacterias entericas

4.4 Bacterias Gram negativas anaerobias estrictas

4.5 Bacterias gram-positivas fermentadoras y lácticas

4.6 Bacterias gram positivas esporulantes aerobias

4.7 Bacterias gram positivas esporulantes anaerobias

4.8 Bacterias corineformes, proactinomicetos y actinomicetos

4.9 Otros microorganismos procarioticos

5 OTROS MICROORGANISMOS Y SU RELACION CON EL MEDIO AMBIENTE

5.1 VIRUS

5.2 RICKETTSIAS

5.3 HONGOS MICROSCOPICOS Y LEVADURAS

5.4 ALGAS MICROSCÓPICAS

5.5 PROTOZOARIOS

- 6.- ECOLOGÍA MICROBIANA Y SU APLICACIÓN EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN DE AIRE**
- 7.- TRATAMIENTO AEROBIOS Y ANAEROBIOS DE AGUAS RESIDUALES**
- 8.- PRINCIPIOS ECOLÓGICOS DE LA RESTAURACION**
- 9.- BIORREMEDIACION DE SUELOS**
- 10.- PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTES**
- 11.- INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS ACTUALES PARA DETECCIÓN DE MICROORGANISMOS**
 - 11.1 DETECCIÓN DE TOXINA ESTAFILOCOCCICA**

11.2 TÉCNICAS DE EPIFLUORESCENCIA DIRECTA

11.3 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN BACTERIANA

11.4 TÉCNICAS DE BIOLOGÍA MOLECULAR

12.- LOS EFECTOS DE LOS MICROORGANISMOS EN LA SALUD PÚBLICA: LA BIOSEGURIDAD

BIBLIOGRAFIA

OBJETIVOS DEL CURSO

1. Preparar profesionales que, siendo parte de un equipo multidisciplinario, posean amplios conocimientos sobre la Microbiología Ambiental y Sanitaria en el campo de su especialización;
2. Colaborar en la aplicación de soluciones para resolver problemas ambientales;

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental constituye una seria preocupación y una alta prioridad debido a que los problemas actuales a los que se enfrenta el reto de conservar y recuperar el ambiente del territorio nacional perturbado y dañado debido a la inadecuada planeación ambiental, a que la legislación ambiental a nivel global es muy posterior a los procesos de industrialización de un país, a que la Ciudad de México se constituye en una de las metrópolis superpobladas y a la necesidad de aplicar todo tipo de tecnologías como herramientas de búsqueda de soluciones. cada vez más sofisticadas, más precisas y con mayores requerimientos de calidad total, requieren la formación de profesionales con alto nivel de competencia y preparados con profundidad en su área.

1. MICROBIOLOGÍA GENERAL

1.2. SIGNIFICADO DE LOS MICROORGANISMOS EN EL AMBIENTE

El papel de los microorganismos en el ambiente es doble: (1°) suministran los compuestos inorgánicos con una valencia adecuada para que las plantas superiores puedan utilizarlos (ciclos del nitrógeno y del azufre) y (2°) contribuyen a la continua descomposición y mineralización de la materia orgánica en putrefacción.

La actividad de los microorganismos descomponedores es fundamental para permitir el reciclaje de materia orgánica fijada en las plantas superiores: los herbívoros consumen una parte muy limitada de

esta materia orgánica porque la relación C:N de esta materia orgánica (alrededor de 200:1) es mucho mayor que la conveniente para los animales (en torno a 20:1).

Otra ventaja adicional de los microorganismos es que ellos mismos se incorporan a los detritus mejorando así la relación C:N (para los microorganismos oscila entre 6:1 y 12:1)

Por otra parte, los microorganismos son indispensables para la descomposición de materia orgánica en ausencia de aire y para la fijación de CO_2 en condiciones de metanogénesis, lo que determina cambios globales importantes en los niveles de oxidación del material orgánico en ambientes anóxicos..

1.2 HABITATS DE LOS MICROORGANISMOS

1.2.1. EL SUELO

Aspectos físicos del suelo: el suelo está compuesto principalmente por (1°) minerales (primarios o secundarios) derivados de la roca madre, que suponen en torno al 50% del volumen; (2°) materia orgánica que representa en torno al 30% del volumen, aunque dependiendo del tipo de suelo puede variar; (3°) aire y agua, que ocupa la mayor parte del volumen restante, y (4°) microorganismos, que pueden representar el 1% del volumen total.

La contribución de los microorganismos a las características físicas del suelo final es importante: los microorganismos ayudan al proceso de fragmentación y transformación química de los suelos y se establecen con rapidez en las superficies recientemente erosionadas con lo que contribuyen al

desgaste de la roca. Por otra parte, los microorganismos pueden liberar compuestos químicos al suelo (ácidos orgánicos, agentes quelantes, fenoles, etc.) que contribuyen a incrementar la erosión.

Los procesos naturales de formación de suelo producen horizontes en que se diferencian los estratos.

Aspectos químicos del suelo: la materia orgánica del suelo sufre procesos de oxidación que llevarán a la producción de CO_2 y H_2O . Sin embargo, una parte de la materia orgánica escapa a este proceso de oxidación y se transforma en grandes macromoléculas que no son solubles y constituyen la fracción denominada húmica (o humus). En los suelos que no son totalmente maduros pueden extraerse fracciones solubles por tratamientos suaves; estas fracciones representan probablemente pasos intermedios en el proceso de humificación.

En ciertos suelos puede detectarse una actividad enzimática no despreciable, a pesar de que el contenido proteico del suelo es muy bajo. Esto es más frecuente en ciertos suelos de alto componente arcilloso y probablemente se debe a que la arcilla, debido a su carga eléctrica neta, actúa como un intercambiador iónico reteniendo enzimas procedentes de la descomposición de tejidos y células. Estas actividades enzimáticas son más frecuentes en suelos ricos desde el punto de vista agrícola en los que la composición de arcillas es también favorable.

La fracción orgánica estable de los suelos contiene prácticamente el 90% del fósforo de los mismos, este fósforo no es directamente asimilable por las plantas y quizá se encuentra fuertemente unido a los componentes arcillosos del suelo.

La mayor parte de los polisacáridos del suelo se encuentra en una forma no fácilmente extraíble y probablemente se encuentre asociada a macromoléculas en fase de humificación. Del resto extraíble tiene especial importancia la fracción correspondiente a los exopolisacáridos bacterianos porque su alta resistencia a la degradación les hace especialmente interesantes a la hora de formar los microhábitats porosos en los que viven los microorganismos edáficos.

Humus: es el producto orgánico insoluble en agua que la parte más estable del suelo. Se compone de tres fracciones separables por su solubilidad en ácidos y bases (ácido fúlvico), en ácidos pero no en álcalis (ácido húmico) o insolubilidad en ambos (humina). Probablemente estos productos representan tres grados de polimerización diferentes de la misma molécula que, por otra parte, presenta características químicas que recuerdan a la de la lignina.

El origen del humus es, probablemente, mixto: (1°) ciertos microorganismos producen sustancias pardas similares a los ácidos húmicos (*Azotobacter spp.*, *Streptomyces spp.*), (2°) ciertos hongos pueden producir polímeros fenólicos y (3°) la presencia de arcilla puede ayudar en el proceso de polimerización de los compuestos anteriores.

El humus es extraordinariamente estable y el periodo de degradación de los compuestos húmicos (que varían entre los distintos tipos de suelos) oscila entre los 5 y los 2000 años.

1.1.2 Análisis microbiológico del suelo:

Los microorganismos edáficos se distribuyen en el suelo de manera no homogénea ocupando microhábitats producidos en los poros de las partículas del suelo. Por consiguiente, los resultados de

los estudios de microbiología del suelo representan los promedios de los efectos de los microorganismos que ocupan los diferentes microhábitats.

Los microorganismos del suelo pueden estudiarse utilizando una batería de procedimientos de microbiología clásica que comprenden procesos de enriquecimiento para facilitar la detección de microorganismos poco frecuentes, sistemas de enumeración directa realizando preparaciones microscópicas de cantidades conocidas de suelo que se tiñen con colorantes o agentes fluorescentes específicos, técnicas de siembra en masa, determinación del número más probable, determinación de coliformes y cualquier otro método clásico. Por otra parte, resulta útil la determinación de la biomasa total del suelo por métodos como recuento total y corrección por el volumen celular, pruebas de ATP del suelo (sensible hasta el nivel de 10^{-14} g de ATP), método de la fumigación de cloroformo (basado en una eficiencia del 40% para la transformación de materia orgánica en CO_2 , y determinación de substancias de grupos específicos. Es también relevante el estudio de la distribución de los microorganismos en el suelo tomando muestras a diferentes niveles.

Hasta ahora no se han empleado todas las técnicas de manera coordinada de forma que no se tienen muchos resultados completamente coherentes sobre los procesos microbiológicos del suelo. En cualquier caso, los estudios preliminares realizados permiten realizar predicciones simples sobre las dinámicas de las poblaciones microbianas del suelo y sobre su influencia en los procesos de descomposición de material orgánico.

Detección de microorganismos no cultivables: todos los métodos anteriores se basan en la identificación y aislamiento de los microorganismos del suelo. Esto es sólo posible cuando dichos microorganismos sean cultivables. Se ha observado que la fracción de microorganismos cultivables

representa una fracción muy pequeña del total de microorganismos. Esto puede deberse a dos causas (1°) ciertos microorganismos normalmente cultivables entran en fase en las que no lo son más (por ejemplo: ciertas *Pseudomonas* que son sometidas a tratamientos con frío o con desecación pasan por fases de no cultivabilidad) y (2°) hay microorganismos que no son cultivables en absoluto con las técnicas actuales.

Cuando se estudia microscópicamente un suelo puede observarse una gran cantidad de formas microbianas que luego no aparecen en los cultivos finales. Cuando los microorganismos son claramente identificables mediante microscopía gracias a tinciones diferenciales o a morfologías características dichos microorganismos pueden ser estudiados *in situ*, sin embargo, en la mayoría de los casos las variaciones morfológicas son demasiado leves para que los diferentes grupos sean identificables y su estudio individualizado no es factible.

Para estos casos, se ha desarrollado una tecnología basada en el aislamiento de ADN o ARN del suelo y posterior amplificación del material genético correspondiente al ARN ribosomal. Este tipo de estudio permite identificar muchos más microorganismos lo que ha permitido valorar la complejidad real de la microbiología del suelo.

1.2 LOCALIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EN LOS EL SUELO

Los microorganismos edáficos no se encuentran ocupando todo el volumen interparticular en el suelo sino que se localizan adheridos a la superficie de las partículas del suelo. Esto supone una fracción relativamente pequeña (<1%). El proceso de adsorción de los microorganismos a la superficie de las partículas es complejo y no completamente comprendido: parece ser que las interacciones electrostáticas entre las partículas de arcilla y las paredes celulares bacterianas son de gran importancia; pero no siempre pueden explicarse por interacción electrostática simple la retención de las bacterias por el suelo y hay que considerar otras fuerzas débiles como las interacciones de van der Waals. Por otra parte, en ciertos casos se producen estructuras de los microorganismos que coadyuvan a su fijación al substrato, estas estructuras son del tipo de fimbrias y Pili en las bacterias.

En cualquier caso, la organización de los microorganismos en biopelículas («biofilms») en los suelos es de importancia capital para entender la biología de estos ecosistemas. En las biopelículas se alcanzan concentraciones elevadas de nutrientes fijados que en disoluciones se encuentran demasiado diluidos como para permitir el crecimiento normal de los microorganismos.

Un aspecto importante de la adsorción de los microorganismos por interacciones electrostáticas con los materiales del suelo (lo que explica que suelos orgánicos o arcillosos puedan presentar recuentos microbianos muy superiores a los de suelos arenosos, por ejemplo) es el efecto de tampón que desempeñan las arcillas. Las superficies fuertemente cargadas, como la arcillosa, desempeña un doble papel: (1º) aporta nutrientes para el crecimiento de los microorganismos actuando como intercambiador iónico, lo que incrementa la concentración efectiva de los nutrientes; y (2º) actúa como tampón que permite eliminar o disminuir los efectos nocivos de una excesiva acidificación del microambiente bacteriano del suelo producido por la excreción de ácidos por las bacterias. En este

sentido, se ha relacionado en ciertos suelos el predominio de hongos patógenos (*Fusarium oxysporum* var. *cubana*, causante de la roña de la banana; e *Histoplasma capsulatum* causante de la histoplasmosis humana) con los bajos niveles de arcillas de forma que las poblaciones bacterianas estaban desfavorecidas en estos suelos como consecuencia de la acidificación del microambiente, mientras que en suelos más arcillosos el efecto tampón de la arcilla permite que las poblaciones bacterianas predominen y controlen la proliferación de estos hongos indeseables.

La atmósfera del suelo: La difusión del oxígeno está muy limitada por lo que se produce rápidamente una situación de, al menos, microaerofilia en el suelo. Como consecuencia de las actividades respiratorias de los microorganismos las concentraciones de CO_2 pueden ser suficientemente altas para dificultar el crecimiento de ciertas formas bacterianas aerobias al mismo tiempo que estimulan el crecimiento de ciertas especies fúngicas que crecen mejor en estas tensiones de CO_2 relativamente elevadas que en las más bajas de la atmósfera normal.

Existen otros gases en el suelo cuyo efecto puede ser variado sobre los microorganismos. Por otra parte, ciertos microorganismos pueden producir gases que tienen importancia agrícola: así, ciertas bacterias y hongos son capaces de producir etileno (C_2H_4) que es un regulador del crecimiento vegetal y a concentraciones relativamente altas (>5ppm) puede inhibir el desarrollo y crecimiento de los nódulos radiculares.

1.3 Distribución y composición de la microflora del suelo:

Como se ha indicado anteriormente, el aislamiento, recuento e identificación de los microorganismos del suelo plantea problemas de gran complejidad, Por esto, los resultados de los estudios de

recuentos de poblaciones microbianas del suelo son de difícil interpretación desde el punto de vista estadístico y, con seguridad, olvidan muchos tipos de microorganismos no cultivables en absoluto.

Se ha intentado en muchas ocasiones realizar estudios sistemáticos de la relación entre la abundancia microbiana y las características del suelo. Como era de esperar, los suelos neutros, húmedos y con gran contenido en materia orgánica presentan recuentos microbianos superiores a los de suelos menos propicios para organismos quimioorganotrofos. Sin embargo, no debemos olvidar que, probablemente, nuestros sistemas de cultivo y enumeración seleccionen preferentemente el tipo de microorganismos que podemos encontrar en estos tipos de suelos. Dentro de un suelo determinado se ha comprobado que los estratos superiores de cada horizonte (A, húmico; B húmico inferior) presentan recuentos bacterianos superiores a los estratos inferiores de cada horizonte. Actualmente no es posible delimitar un límite inferior para la aparición de formas microbianas; por debajo de los estratos profundos, en situaciones de presiones muy elevadas se han podido detectar bacterias y arqueobacterias; asimismo se han podido detectar arqueobacterias en depósitos petrolíferos, aunque la interpretación de estos resultados es complicada por la posibilidad de contaminaciones con organismos de estratos superiores arrastrados a los más profundos durante la perforación.

Se han observado variaciones estacionales en los niveles de las poblaciones bacterianas: en general, los niveles son mayores durante el verano que durante el invierno; lo que es explicable en términos de efecto de la temperatura sobre el crecimiento. Asimismo, se han encontrado incrementos importantes del número de microorganismos durante el periodo de deshielo primaveral. Esto puede ser debido a la accesibilización de los restos orgánicos que han estado congelados durante el invierno y que se liberan a causa de la disgregación física del suelo producida por el deshielo. Un efecto

similar a este lo produce el arado del terreno y, presumiblemente, efectos similares se produzcan en cualquier tipo de tratamiento que suponga una mezcla de los componentes de los diferentes estratos edáficos puesto que, de esta forma, las atmósferas anaerobias creadas por la respiración y el agotamiento de los nutrientes orgánicos quedan eliminados o notablemente reducidos. En este sentido, a modo de ejemplo, considérese que la fermentación producida durante un proceso de compostaje puede dirigirse hacia procesos aerobios (bacilos) o anaerobios (enterobacterias) alterando el régimen de volteo del compost, lo que, al variar la disponibilidad de oxígeno, determina las poblaciones bacterianas predominantes.

Desde el punto de vista de los tipos de microorganismos predominantes hay que estudiar varios aspectos: (1°), si consideramos la biomasa, el grupo principal de microorganismos lo constituyen los hongos (*Penicillium*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Aspergillus*). Este tipo de microorganismos no es fácilmente cuantificable en recuentos estándar puesto que, en este caso, se enumeran únicamente las esporas y no la biomasa total y, por otra parte, existe un número importante de especies fúngicas no aislables (hongos micorriza no cultivables). (2°) La mayor riqueza en biodiversidad la presentan las bacterias que incluyen un número muy grande de especies. Como ya se ha indicado en otra parte, hay que considerar que, además de las especies actualmente conocidas (en torno a las 5000) probablemente existe un número aún mayor de especies no cultivables que forman parte de la microflora edáfica. Los grupos principales pertenecen a bacterias Gram-positivas de los géneros *Bacillus*, *Micrococcus* y a diversos tipos de bacterias corineformes de los que puede ser un ejemplo *Arthrobacter* y *Nocardia*. Son muy importantes en el suelo los estreptomicetos productores del típico olor a tierra húmeda e importantes industrialmente como fuente de metabolitos secundarios entre los que destacan antibióticos. Por último, hay que considerar importante la presencia en

estratos anaerobios de bacterias del género *Clostridium*. Las bacterias Gram-negativas están representadas principalmente por el género *Pseudomonas* que coloniza una gran variedad de microambientes debido a su versatilidad nutricional. A pesar de su número no excesivamente alto tienen importancia ecológica dos grupos de bacterias Gram-negativas: las cianobacterias, colonizadoras primarias de nuevos suelos y las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), los grupos oxidantes de azufre, bacterias fijadoras de nitrógeno, etc. Finalmente, (3°) se pueden detectar en el suelo especies de algas y de protozoos que no difieren notablemente de las encontradas en medios acuáticos. Sin embargo, en el caso de las algas, su identificación puede ser especialmente difícil debido a que presentan morfologías aberrantes con frecuencia..

Es importante valorar los ritmos de crecimiento microbiano en el suelo. Los estudios más finos realizados sobre la tasa de crecimiento bacteriano en el suelo permiten suponer que, en promedio, el tiempo de generación ronda los diez días. De hecho, se considera que en la mayor parte de los casos las bacterias se encuentran en una fase de latencia permanente (que sería relativamente equivalente a la fase estacionaria o al periodo de adaptación previo al crecimiento exponencial) durante largos periodos de tiempo. Es más: en algunos casos se ha podido estimar que la absorción de nutrientes por los microorganismos del suelo no les permite crecer sino que toda la energía se dirige hacia las reacciones de mantenimiento. En este sentido, el crecimiento de los microorganismos en el suelo se produciría por fases de «estallido» que seguirían inmediatamente a los aportes de elementos nutritivos limitantes.

2.- CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Definiciones. Ciclos biogeoquímicos representativos. Ciclo del carbono. Movilización e inmovilización microbiana del carbono. Ciclo del hidrógeno y del oxígeno. Actividades microbianas y oxígeno. pH y actividades microbianas. Ciclo del nitrógeno. Fijación del nitrógeno. Amonificación. Nitrificación. Desnitrificación. Ciclo del azufre. Drenaje ácido de las minas. Otros ciclos. Fósforo. Hierro. Calcio. Metales pesados.

La integración de las actividades metabólicas de todos los microorganismos de un ecosistema es la causa de una gran parte de los cambios que se producen tanto en sus componentes bióticos como en los abióticos.

2. 1.- Definiciones

Ecología microbiana: examen de las interacciones dinámicas de los microorganismos con su ambiente, tanto con el vivo (biótico) como con el abiótico.

Las interacciones son dinámicas porque cambian con el tiempo mientras las diferentes poblaciones se van adaptando al ambiente (en sentido amplio) para lograr un equilibrio en el conjunto.

Ecosistema: unidad ecológica básica, funcionalmente autosuficiente, autorregulable y estructurada, en la que cada población ocupa un nicho ecológico.

Nicho: papel que desempeña una comunidad de organismos (población) en un ecosistema.

Hábitat: lugar ocupado por un ecosistema

Biosfera: porción de la tierra ocupada por los seres vivos. En ella se integran todos los ecosistemas en los que los microorganismos desempeñan funciones diversas.

Ciclo biogeoquímico: movimientos de materiales a través de reacciones químicas en toda la biosfera.

Supone un cambio de materiales entre las partes bióticas y abióticas de la biosfera. Los microorganismos, a través de sus actividades metabólicas, desempeñan un papel importante en el intercambio de materiales entre los diversos apartados de la biosfera.

Los principales elementos integrantes de la materia viva son los más intensamente ciclados por los microorganismos: el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre.

La actividad humana que origina una liberación de elementos alterando los equilibrios de las etapas de los ciclos biogeoquímicos pueden tener gran importancia en el desarrollo de las poblaciones microbianas, de plantas y de animales y en la productividad de los ecosistemas particulares.

2. 2.- Ciclos biogeoquímicos representativos

Ciclo del carbono

El ciclo comprende la transferencia del bióxido de carbono y el carbono orgánico entre la atmósfera, donde está principalmente en forma de CO_2 , y la hidrosfera y litosfera donde está en forma de carbono orgánico e inorgánico. El proceso de fijación del carbono atmosférico se produce por microorganismos fotolitotrofos y quimiolitotrofos. El carbono fijado (reducido) vuelve a la atmósfera como resultado de la respiración.

La formación de metano (CH_4) por bacterias metanógenas es una desviación del ciclo llevada a cabo por arqueobacterias. El metano no es utilizable por otros organismos. La principal fuente de metano atmosférico es la biógena y, dentro de ella, la producción de este gas durante el proceso de fermentación que tiene lugar en el rumen de los herbívoros.

Relaciones tróficas

El carbono fijado por los productores primarios (producción primaria bruta) comienza a ser consumida por los propios productores primarios y mineralizado por ellos a CO_2 . Sólo una parte de la producción primaria (producción primaria neta) sirve de alimento para los productores secundarios y así se forman las cadenas tróficas.

La mayor parte del carbono se pierde de forma en forma de CO_2 por lo que conforme se asciende en la cadena trófica la cantidad de biomasa es menor. Por otra parte, el balance entre el carbono fijado por la fotosíntesis y el consumido durante la respiración da lugar a una acumulación o reducción de la biomasa total del ecosistema. Normalmente, entre el 85% y el 90% de la energía acumulada en forma de carbono orgánico en un nivel trófico es consumida por la respiración durante la transferencia al siguiente nivel. Por esto, la cantidad de biomasa en niveles tróficos superiores es cada vez menor.

Se pueden establecer cadenas tróficas de materia viva (organismos depredadores) y cadenas tróficas de materia muerta (detritus) en la que la actividad de los microorganismos conduce a la mineralización (producción de CO_2) o la reinserción en el ciclo (formación de biomasa por los microorganismos consumidores de detritus) biológico del material inutilizable.

Los microorganismos son los principales responsables de la mineralización de la materia orgánica de los detritus. Los distintos productos orgánicos tienen diferentes tasas de mineralización por los microorganismos. Así mismo, en la velocidad de mineralización microbiana tiene una gran influencia el pH, temperatura, humedad y grado de aireación del suelo; factores que influyen también en los tipos de poblaciones microbianas que van a desarrollar los respectivos procesos.

Movilización e inmovilización microbiana del carbono

La actividad microbiana puede hacer el carbono inaccesible a los consumidores mediante transformaciones que lleven a la formación de humus (restos de material vegetal difícilmente metabolizable) o a la producción de metano. Así mismo, la conversión de formas de carbono no digestibles (celulosa, materia fecal) en biomasa utilizable es resultado de la actividad microbiana.

2.3.- Ciclo del hidrógeno y del oxígeno

Son ciclos íntimamente relacionados con el del carbono.

El sitio de reserva principal de ambos elementos es el agua y el ciclo comprende reacciones de oxidorreducción componentes de los procesos respiratorios y de fotólisis del agua.

Actividades microbianas y oxígeno

El metabolismo microbiano está condicionado por la disponibilidad y tolerancia al oxígeno. El nivel de oxígeno en un ambiente puede medirse por el potencial de oxidorreducción del mismo. La actividad microbiana (excepto en el caso de la fotosíntesis oxigénica) tiende a reducir el potencial redox y a dificultar la vida aerobia. Muchos microorganismos pueden continuar su actividad en condiciones anaerobias; pero esto no es posible en el caso de animales.

pH y actividades microbianas

La actividad microbiana causa cambios en el pH del suelo o agua en la que se produzca. Estos cambios en el pH pueden tener efectos selectivos fuertes sobre otras bacterias (no suficientemente acidófilas para tolerar ambientes extremos cuando éstos se produzcan) y tiene efectos químicos sobre la solubilidad de gases en el agua, la disponibilidad de nutrientes cuya solubilidad varía y la concentración de metales pesados en los ecosistemas.

2.4.- Ciclo del nitrógeno

Fijación del nitrógeno

Proceso de reducción del N_2 atmosférico, no asimilable, a NH_4^+ asimilable por las plantas y, a través de ellas, por toda la cadena trófica.

La fijación de nitrógeno se produce únicamente por bacterias en condiciones anaerobias y requiere el consumo de una gran cantidad de energía.

La fijación de nitrógeno supone unos 2×10^8 Tm al año (unas 8 veces la producción anual de abonos nitrogenados).

Amonificación

Consiste en la liberación del NH_4^+ de las moléculas iorgánicas. Es un proceso microbiano producido por microorganismos ureolíticos y por especies que posean desaminasas.

Nitrificación

Proceso en el que ciertos quimiolitotrofos utilizan la energía liberada en la oxidación del NH_4^+ para sus reacciones metabólicas. Este proceso es muy poco eficiente, por lo que es necesaria la oxidación de una gran cantidad de substrato para que pueda producirse un crecimiento apreciable de este tipo de microorganismos. Por otra parte, el proceso es obligadamente aerobio.

La nitrificación produce un cambio notable en el estado de oxidación del nitrógeno fijado al pasar de forma catiónica (NH_4^+) a aniónica (NO_3^-). En suelos arcillosos de gran carga negativa, el NH_4^+ queda retenido con más facilidad, mientras que el NO_3^- no se retiene y pasa a aguas subterráneas con lo que sale del sistema. Un efecto colateral negativo de la nitrificación es que los nitratos son tóxicos para animales ya que pueden dar lugar, entre otros efectos indeseables, a la producción de nitrosaminas y de otros agentes cancerígenos. En ciertas ocasiones, se han utilizado inhibidores de la nitrificación para reducir estos efectos en el suelo.

Desnitrificación

Se produce por la actividad de microorganismos que, en condiciones de anaerobiosis, son capaces de utilizar NO_3^- y NO_2^- como aceptores finales de electrones en procesos de respiración anaerobia. Los productos finales son diferentes estados de oxidación del nitrógeno (NO , N_2O , N_2) dependiendo de la disponibilidad de materia orgánica, de la concentración de nitratos y del pH del suelo.

Este proceso cierra el ciclo del nitrógeno: es una reducción desasimiladora.

2.5.- Ciclo del azufre

El ciclo comprende varios tipos de reacciones redox desarrolladas por microorganismos:

- 1.- Ciertos tipos de bacterias son capaces de extraer el azufre de compuestos orgánicos (proceso de desulfuración) que rinde SO_4^- en condiciones aerobias y H_2S en condiciones anaerobias.
- 2.- Bacterias anaerobias respiradoras de SO_4^- que producen la acumulación de H_2S hasta alcanzar concentraciones tóxicas.
- 3.- Bacterias fotosintéticas anaerobias pueden usar el H_2S como donador de electrones en sus procesos metabólicos dando lugar a depósitos de azufre elemental (S^0).

4.- Bacterias quimiolitotrofas que utilizan el H_2S como fuente de energía para la producción de ATP.

En muchos casos se producen asociaciones entre bacterias formadoras y consumidores de H_2S en un sistema balanceado. En todos los casos, el S^0 es la forma no asimilable y sólo puede entrar en el ciclo por la acción de algunas bacterias que son capaces de oxidarlo a SO_4^{2-} .

Drenaje ácido de las minas

En minas de carbón en muchas ocasiones hay una contaminación con piritita (Fe_2S) que se oxida rápidamente en contacto con el aire y por acción microbiana. La oxidación de estos sulfuros puede dar lugar a la producción de grandes cantidades de SO_4H_2 que acidifica el suelo impidiendo todo crecimiento posterior de plantas o de bacterias no acidófilas extremas. Este ácido puede alcanzar el agua de los ríos al escurrir de las pilas de carbón que están sufriendo el proceso.

2.6.- Otros ciclos

Fósforo

Este ciclo no está sometido a procesos redox porque la forma esencial del fósforo (tanto orgánico como inorgánico) es el fosfato. La actividad microbiana reside en la capacidad de producción de otros ácidos orgánicos que aumenten o disminuyan la

solubilidad de los fosfatos en el ecosistema haciéndolos más o menos accesibles a otros organismos.

El fosfato suele ser limitante del crecimiento. Una entrada masiva de fosfatos en el sistema (como ocurre debido al empleo masivo de detergentes fosfatados) aumenta la productividad del ecosistema con lo que la materia orgánica aumenta considerablemente. Cuando esta materia orgánica comienza a descomponerse, se incrementan los procesos de respiración y, por consiguiente, el consumo de oxígeno, lo que genera un incremento de anaerobiosis conocido como proceso de eutrofización.

Hierro

El ciclo de este elemento está asociado a la conversión entre sus formas Fe^{2+} más solubles que las Fe^{3+} . Los microorganismos que oxidan hierro (quimiolitotrofos) producen cambios en la accesibilización del elemento a otros miembros del ecosistema.

Calcio

El ciclo biogeoquímico del calcio consiste en variaciones de su solubilidad debido a la formación de compuestos carbonatados más ($Ca(CO_3H)_2$) o menos ($CaCO_3$) como consecuencia de la liberación por microorganismos de ácidos orgánicos que desplacen el equilibrio entre ambas formas.

Metales pesados

Los microorganismos pueden cambiar el estado de oxidación o de modificación (metilación, por ejemplo) de metales pesados de manera que aumenten o disminuyan su toxicidad o su adsorción a las membranas y estructuras biológicas, lo que influye determinantemente en su acumulación a lo largo de la cadena trófica.

3.- INTERACCIONES ENTRE POBLACIONES

3.1 Relaciones positivas y negativas

Relaciones positivas

permiten ocupar nuevos nichos

Relaciones negativas:

eliminar poblaciones poco adaptadas

mantener equilibrio entre poblaciones

proteger las poblaciones de la llegada de especies intrusas

3.2.- Relación de neutralismo

Resultado: 0/0

Dos poblaciones se encuentran simultáneamente en el ambiente sin que exista relación entre ellas

Ttipo de relación poco frecuente

Se puede producir cuando la densidad de población es baja

no siempre que es baja la densidad de población se produce neutralismo

relaciones a distancia: por ejemplo H_2S

Las fases de latencia favorecen el neutralismo

la baja actividad metabólica de la fase de latencia favorece el neutralismo

las excepciones son entre cuando existen organismos capaces de atacar las fases de latencia de otros

la fase de latencia favorece que no ocupen el mismo nicho dos comunidades diferentes simultáneamente, sino que lo hagan de forma separada en el tiempo

3.3.- Relación de comensalismo

Resultado +/-0

Una primera población modifica el ambiente y favorece el crecimiento de la segunda que, a su vez, no ejerce acción ninguna sobre la primera

ejemplo 1: anaerobios facultativos cuya actividad respiratoria baja los niveles de O_2 y favorece el crecimiento de anaerobios estrictos

ejemplo 2: una infección debilita al huésped de manera que se facilita el establecimiento de una infección secundaria por un oportunista

ejemplo 3: liberación de factores de crecimiento

ejemplo 4: oxidaciones gratuitas de nutrientes: (sinergismo entre *Mycobacterium vaccae* y *Pseudomonas*)

ejemplo 5: hongos coprófagos

ejemplo 6: eliminación de sustancias tóxicas por bacterias (ejemplo H_2S)

ejemplo 7: flora de la piel y flora epífita

3.4.- Relación de sinergismo

Dos poblaciones se favorecen mutuamente de forma no obligatoria

Se denomina también protocooperación.

Resultado +/-

Ejemplo 1: sintropismo (alimentación cruzada) entre *E. coli* y *S. faecalis*

Ejemplo 2: formación de la rizosfera en las plantas

efecto de rizosfera

bacteria ® planta: eliminación de H_2S

solubilización de nutrientes

suministro de vitaminas y aminoácidos

antagonismo frente a patógenos vegetales

planta ® bacteria: libreación de factores de crecimiento

Substancias **alelopáticas**: evitan la invasión del hábitat por especies **alóctonas**.

3.5.- Relación de mutualismo o simbiosis

Resultado +/-

Su establecimiento es obligatorio para la adquisición de nuevas propiedades

Motor evolutivo

ejemplo: protozoos en simbiosis con espiroquetas

Ejemplos de simbiosis microorganismo-microorganismo:

ejemplo 1: formación de líquenes por hongos y algas

ejemplo 2: *Paramecium aurelia* en simbiosis con bacterias para formar las cepas asesinas

Ejemplos de simbiosis microorganismo-planta:

ejemplo 1: fijación de nitrógeno

ejemplo 2 micorrizas

simbiosis entre hongo y planta

el 95% de las plantas forman micorrizas

tipos:

ectomicorrizas: en robles, hayas y coníferas

endomycorrizas: en plantas herbáceas (patata, trigo, maíz, soja, etc.)

estructuras vesicular-arbuscular

Ejemplos microorganismo-animal

ejemplo 1: insectos que cultivan hongos

ejemplo 2: rumiantes

ejemplo 3: bioluminiscencia

3.6.- Relación de competencia

Resultado -/-

Exclusión competitiva

3.7.- Relación de amensalismo

Resultado -/(0+)

Un microorganismo excluye al otro por inhibición

antibióticos

ácido láctico (antagonismo láctico)

3.8.- Relación de parasitismo

Resultado -/+

Son específicas

Larga duración

3.9.- Relación de depredación

Resultado +/-

Ejemplo: apacentamiento de los protozoos

4. GRUPOS DE BACTERIAS

Microorganismos Gram-negativos aerobios

Características generales del grupo de *Pseudomonas*. Grupos de bacterias del género *Pseudomonas*. Importancia de las *Pseudomonas* en la agricultura y en tecnología de alimentos. Aplicaciones de las bacterias del grupo *Pseudomonas*. Bacterias del grupo *Neisseria-Moraxella-Acinetobacter*. Características generales del género *Azotobacter*. Bacterias del ácido acético.

1.- Características generales del grupo de *Pseudomonas*

Las bacterias del grupo al que pertenecen *Pseudomonas* está constituido por microorganismos Gram-negativos, siempre móviles con flagelación polar. Se encuentran normalmente en el suelo, aunque pueden ser patógenos oportunistas en animales (*Ps. aeruginosa*) y patógenos de plantas (*Ps. syringae*).

Su metabolismo es siempre respiratorio, o bien aerobio (la mayoría usa como aceptor de electrones O_2) o anaerobio (algunos usan NO^-). Presentan una versatilidad metabólica muy grande que se traduce en su capacidad de utilizar como fuente de carbono substratos muy variados (hay especies, como *Ps. cepacia*, que pueden utilizar como nutrientes más de 100 compuestos químicos diferentes). Por otra parte, hay algunos individuos del grupo que son quimiolitotrofos usando H_2 o CO como donadores de electrones.

El metabolismo central de azúcares en este grupo se desarrolla por la vía de Etner-Doudoroff, y disponen de un ciclo de Acidos Tricarboxílicos normal.

Algunas *Pseudomonas* (p.ej. *Ps. aeruginosa*) son capaces de llevar a cabo procesos de desnitrificación ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$) con lo que se empobrecen los suelos de nitrógeno utilizable desde el punto de vista agrícola. Este proceso de reducción del nitrógeno (que actúa como aceptor de electrones en un proceso de respiración anaerobia) se denomina reducción disimilatoria del nitrógeno.

La versatilidad metabólica del grupo se debe a la presencia de un gran número de plásmidos que contienen operones inducibles para la síntesis de enzimas específicas que permitan catabolizar los compuestos presentes en el medio. Esto confiere una importancia grande a las bacterias del género *Pseudomonas* como digestores aerobios de materiales animales y vegetales, lo que contribuye al reciclaje biológico de materia orgánica.

Algunas bacterias de este grupo producen pigmentos fluorescentes de colores amarillo-verdosos fácilmente solubles en agua. Estos pigmentos actúan como sideróforos: moléculas cuya función es capturar el hierro del medio necesario para el metabolismo del microorganismo.

2.- Grupos de bacterias del género *Pseudomonas*

El grupo de bacterias relacionadas con el género *Pseudomonas* es muy amplio y comprende especies patógenas para humanos *Pseudomonas cepacia* (patógeno oportunista que puede causar infecciones

muy serias con alta tasa de mortalidad en pacientes comprometidos, especialmente han aumentado los datos de infecciones producidas en los pulmones de pacientes con fibrosis cística) y *Ps. aeruginosa*. Hay especies patógenas vegetales como *Ps. solanacearum* que produce marchitación, *Ps. syringae* causante de manchas cloróticas en ciertas plantas y *Ps. marginalis* causante de pudriciones blandas en las raíces de las plantas.

Por otra parte, existen varios géneros bacterianos estrechamente relacionados con el de *Pseudomonas* que también tienen una importancia especial: el género *Xanthomonas* comprende varias especies patógenas vegetales que producen necrosis del follaje. El género *Zooglea* comprende varias especies capaces de producir agregados celulares de gran tamaño que intervienen de forma importante en la digestión de las aguas orgánicas de ciudades e industrias, y los géneros *Acetobacter* y *Gluconobacter*, de los que hablaremos más adelante, que son capaces de oxidar alcoholes y tienen importancia industrial en la fabricación de vinagre.

3.- Importancia de las *Pseudomonas* en la agricultura y en tecnología de alimentos

La importancia aplicada de las bacterias del grupo de *Pseudomonas* se debe a una serie de factores entre los que destacan:

Su actividad como patógenos de animales

Las patologías asociadas a *Pseudomonas* suelen presentarse en animales afectados por algún tipo de disminución, permanente o transitoria, del sistema de defensa inmune. Por esto, se denominan patógenos oportunistas. El tratamiento de estas infecciones suele ser difícil debido a la alta resistencia de estas bacterias a la mayoría de los antibióticos usados normalmente en clínica. Desde el punto de vista humano, el patógeno principal es *Ps. aeruginosa*. La especie *Ps. mallei* es la causante de la enfermedad conocida como muermo en los caballos y *Ps. pseudomallei* es causante de la melioidosis humana.

Su actividad como patógenos vegetales

La especie *Ps. syringae* es un verdadero parásito vegetal. Las especies del género *Xanthomonas* también son todas patógenos vegetales.

Su actividad como agentes alterantes de alimentos

Las *Pseudomonas* son el grupo de bacterias más frecuente en los alimentos frescos. Debido a su gran potencial metabólico, las bacterias de estos grupos son agentes importantes en la alteración de alimentos. Sin considerar los aspectos de deterioro de vegetales producidos por especies antes citadas, las *Pseudomonas* son uno de los principales grupos responsables de la alteración de productos cárnicos almacenados incorrectamente en condiciones de aerobiosis. Algunas bacterias del grupo son

psicrófilas por lo que la alteración de los alimentos que producen también tiene lugar durante la conserva en refrigeración. Cuando piezas de alimentos cárnicos son conservadas en refrigeración en ambientes impermeables al gas o en vacío, las *Pseudomonas* pueden producir H_2S que reacciona con la hemoglobina dando lugar a la aparición de manchas verdes.

Su aplicación como agentes descontaminantes ambientales

La gran versatilidad metabólica de las bacterias del género *Pseudomonas* las han hecho candidatas para el tratamiento de contaminaciones ambientales producidas por la acumulación de metales pesados o por la acumulación de compuestos xenobióticos.

Varias especies del *Pseudomonas* contienen plásmidos en los que se encuentran codificadas enzimas capaces de degradar, al menos parcialmente, compuestos orgánicos derivados del petróleo o compuestos organoclorados u organofosfatados. Estas enzimas suelen ser inducibles y la selección de las cepas adecuadas puede permitir reducir los niveles de contaminación por estos compuestos xenobióticos.

La biodegradación de hidrocarburos y de otros compuestos orgánicos es realizada con eficiencia variable dependiendo de la estructura del hidrocarburo (lineal o ramificado, alifático o aromático) y de la presencia de átomos sustituyentes. Algo similar ocurre con la biodegradación de compuestos insecticidas, herbicidas y detergentes y emulgentes.

Por otra parte, el tratamiento de la contaminación originada por la acumulación de metales pesados también es posible mediante la utilización de bacterias de este género. El efecto tóxico de los metales pesados suele estar asociado a la presencia de formas ionizadas (cationes) de los metales en cuestión. Ciertas bacterias de este género presentan enzimas capaces de reducir los cationes metálicos a las formas neutras que son mucho menos tóxicas. Los operones que controlan la producción de estos enzimas reductores suelen ser inducibles por la presencia del metal pesado.

Otra forma de intervención en la eliminación de metales pesados por bacterias de este grupo la desarrollan las bacterias del género *Zooglea* que son capaces de acumular los metales pesados y formar agregados de gran tamaño que precipitan mediante floculación.

La utilización dirigida de bacterias para la descontaminación de ambientes naturales se denomina biorremediación.

4.- Bacterias del grupo *Neisseria-Moraxella-Acinetobacter*

Las bacterias de este grupo presentan gran similitud entre sí y una cierta similitud con las *Pseudomonas*. Su importancia desde el punto de vista aplicado está en su actividad como agentes alterantes de productos alimenticios.

Las bacterias del grupo *Neissera* son, prácticamente, los únicos cocos Gram-negativos y son agentes causantes de enfermedades en humanos tales como un tipo de meningitis (*N. meningitidis*) y la gonorrea (*N. gonorrhoeae*).

5.- Características generales del género *Azotobacter*

Las bacterias del género *Azotobacter* forman un grupo especial de microorganismos fijadores de nitrógeno por cuanto se trata de los únicos que son unicelulares y, aparentemente, pueden fijar nitrógeno en condiciones aerobias.

La fijación de nitrógeno se produce por la actividad de una enzima denominada nitrogenasa que debe actuar siempre en condiciones de ausencia de oxígeno por ser rápidamente inhibida por este elemento (en el tema referente a la biología de *Rhizobium* se desarrollará más el funcionamiento de la nitrogenasa). La mayoría de los microorganismos fijadores de nitrógeno o bien lo hacen formando grupos de células en los que se produce una especialización que permite la generación de microambientes anaerobios (caso de las cianobacterias), o lo hacen en condiciones de anaerobiosis. *Azotobacter* es capaz de generar este ambiente microaerobio mediante su alta tasa de respiración que consume el O_2 en el entorno de la bacteria.

6.- Bacterias del ácido acético

Las bacterias del ácido acético (*Acetobacter* y *Gluconobacter*) presentan las características comunes del grupo de bacterias similares a *Pseudomonas* que se presentaron anteriormente. Viven en la superficie de las plantas donde constituyen una microflora secundaria que utiliza los productos de desecho de la microflora primaria (bacterias lácticas y levaduras). Esto es así porque presentan la capacidad de utilizar alcoholes como fuente de carbono y energía produciendo su oxidación a ácido (bacterias suboxidantes como *Gluconobacter*) o a CO_2 y H_2O (bacterias superoxidantes como *Acetobacter*). La producción de ácido acético por estas bacterias las hace extremadamente acidófilas.

Las bacterias suboxidantes carecen de un ciclo de los ácidos tricarboxílicos completo por lo que oxidan de forma estequiométrica el etanol a acético. Las bacterias superoxidantes realizan una primera oxidación a acético; pero la presencia de ciclo de ácidos tricarboxílicos permite la oxidación total mucho más lenta. Otra particularidad del grupo es que la utilización de azúcares se produce únicamente por la ruta de las pentosas.

Además de por su diferente capacidad de oxidación de alcoholes las dos bacterias del ácido acético pueden diferenciarse por su flagelación polar en *Gluconobacter* y peritrica en *Acetobacter*.

Ciertos grupos de *Acetobacter* son capaces de producir una gran cantidad de celulosa extracelular que llega a formar verdaderas películas de este polímero.

Proceso industrial de fabricación del vinagre

Las bacterias del ácido acético tienen una aplicación industrial importante en la fabricación del vinagre, aunque también intervienen de forma relevante en la producción de ácido ascórbico (vitamina C) por oxidación del sorbitol y de la sorbosa.

La producción del ácido acético tiene lugar por un proceso estrictamente aerobio en el que se suministra alcohol etílico (etanol) a bacterias del ácido acético fijadas sobre soportes diversos. Las bacterias van oxidando el alcohol y se recoge finalmente el ácido.

Aunque el ácido acético puede prepararse por oxidación química del etanol, el vinagre es un producto distinto porque su sabor depende de otros compuestos que acompañan la bebida fermentada de la que se parte para la producción del mismo.

Hay tres métodos de producción industrial del vinagre:

Método Orleans

En este método se llena la cuarta parte de una barrica con vinagre fresco elaborado recientemente que proporciona el inóculo de *Acetobacter* y *Gluconobacter* y, a continuación, se añade la bebida fermentada de la que se desea preparar vinagre. La barrica se deja abierta para que pueda producirse un intercambio de oxígeno suficiente. El proceso dura varias semanas y la eficiencia depende de la disponibilidad de oxígeno.

Método de goteo

En este método se permite el contacto de las bacterias con el alcohol haciendo circular éste por una cámara de madera rellena con viruta de madera laxamente empaquetada. El proceso se desarrolla en continuo y el aparato se conoce como generador de vinagre. La aireación se consigue mediante la entrada de aire por la parte inferior del generador. La vida útil de un generador de vinagre puede ser muy larga.

El producto final carece de bacterias porque éstas quedan fijadas al lecho de virutas.

Método de burbujeo

Se trata de un proceso de fermentación sumergida en el que el oxígeno se suministra mediante un proceso de burbujeo de aire. La velocidad de adición del alcohol se regula de manera que se permite una conversión muy eficiente del alcohol al ácido (llega a 98%). Este proceso presenta la desventaja frente al anterior de que es necesario filtrar el vinagre para eliminar las bacterias.

Bacterias Gram-negativas anaerobias facultativas

1.- Características principales del grupo

Bacilos cortos y cocobacilos Gram-negativos

Quimioorganotrofos.

Presentan, por lo general, muy pocos requerimientos nutricionales y son capaces de sobrevivir en medios relativamente simples

Anaerobios facultativos

Algunos miembros del grupo son capaces de respirar NO_3^- aunque esta no es una característica general del grupo.

Algunos miembros del grupo (algunas *Klebsiella*) pueden fijar nitrógeno aunque esta no es característica general del grupo.

Hábitats: comprende bacterias

Bacterias intestinales: grupo entérico:

Bacterias de agua o ambientes exteriores: bacterias anaerobias facultativas capaces de colonizar ambientes intestinales en situaciones patológicas.

2.- Particularidades metabólicas

Glucólisis usando la ruta de Embden-Meyerhoff

Ciclo de Krebs en condiciones aerobias

Diferentes rutas fermentativas en condiciones anaerobias.

Importancia de taxonómica y permiten realizar la identificación bioquímica

Escherichia, *Salmonella*, *Yersinia* y *Vibrio* fermentación ácido-mixta

Cantidades variables de ácido succínico, acético, fórmico, etanol, CO_2 y H_2 .

Dependiendo de

actividades enzimáticas relativas

presencia de la hidrogenolasa fórmica (CO_2 y H_2)

Escherichia, *Salmonella* y otras coliformes fermentan lactosa dependiendo de la presencia de β -galactosidasa.

Enterobacter, *Erwinia* y *Serratia* (en general, las bacterias del grupo entérico no coliformes) fermentación butanodiólica.

Producción de acetoina detectable por la reacción de Voges-Proskauer que permite la identificación de bacterias de este grupo.

3.- Subdivisión del grupo entérico

Grupo entérico:

Coliformes:

Bacterias intestinales: Grupo de *Escherichia-Salmonella-Shigella*

Habitantes habituales comensales de los intestinos de animales superiores, reptiles, pájaros y, ocasionalmente, insectos; aunque no son las bacterias predominantes en estos hábitats.

En algunos rumiantes se han encontrado bacterias del grupo en compartimentos del estómago no sometidos a pH excesivamente bajos.

Se incluyen especies intestinales y patógenas responsables de los brotes epidémicos transmitidos a través de los alimentos

Escherichia coli

Habitante habitual en individuos sanos, no patógena aunque puede haber cepas que causan problemas intestinales serios (mortalidad infantil, serotipo O157:H7)

Relación probablemente, simbiótica porque la bacteria proporciona al animal la vitamina K que éste no puede sintetizar.

Salmonella

Vinculada a procesos patológicos

Tres divisiones dependiendo de su relación con los animales superiores:

Bacterias que infectan sólo a humanos (*S. typhi* y *S. paratyphi*)

Bacterias adaptadas a un huésped animal (*S. gallinarum*, *S. abortus-equi*, *S. abortus-ovis*, *S. choleraesuis*)

Bacterias que no presentan preferencia de huésped y son patógenas tanto para hombres como para animales.

Shigella

vinculadas a procesos patológicos intestinales serias (disentería bacilar).

Bacterias no-entéricas relacionadas con el grupo entérico: bacterias cuyo hábitat natural es el agua o el suelo pero que ocasionalmente pueden encontrarse en ambientes intestinales. Las características metabólicas de las bacterias del grupo de no-coliformes son muy similares a las del

grupo de coliformes y la diferenciación se basa principalmente en su hábitat.

Grupo de Enterobacter-Serratia-Erwinia

Bacterias patógenas para humanos (*Enterobacter*)

Bacterias patógenas vegetales (*Erwinia*).

Grupo de Proteus-Providencia

Grupo de Yersinia

Microorganismos patógenos para humanos que viven en hábitats animales (*Yersinia*)

Grupo de Vibrio-Aeromonas-Photobacterium

Microorganismos acuáticos tanto de agua dulce (*Vibrio* y *Aeromonas*)

Patógenas para animales de piscifactoría (*Aeromonas salmonicida*)

Bacterias de agua salada (*Vibrio* y *Photobacterium*).

Patógenas para el hombre (*Vibrio cholerae* y *V. parahemolyticus*).

4.- Técnicas de serotipificación

Utilidad de la serotipificación

Antígenos:

K: capsular

H: flagelar

O: lipopolisacárido

Serotipificación

Otras técnicas de tipificación

5.- Concepto de Exclusión competitiva de patógenos

Flora normal

Alteraciones de la flora normal

Exclusión competitiva

Principios de control microbiológico de los alimentos

1.- Los alimentos como vehículos de propagación de enfermedades

Infecciones alimentarias

Intoxicaciones alimentarias

Alergias alimentarias

Es necesario que el microorganismo haya producido:

Suficiente número para colonizar el intestino.

Suficiente número para intoxicar el intestino.

Cantidades de toxina significativas.

2.- Los microorganismos como agentes de deterioro de alimentos

Resistencia a la colonización de un alimento

Factores intrínsecos :

composición del alimento

actividad de agua (a_w)

pH

potencial redox

nutrientes

estructura del alimento

agentes antimicrobianos presentes, etc.

Tratamientos tecnológicos:

Procesado del alimento.

Factores extrínsecos

Condiciones de almacenamiento el alimento

Factores implícitos

Relaciones entre los microorganismos establecidas como consecuencia de los factores a, b y c.

3.- Puntos críticos: análisis y tratamiento

Definición

Aumento de la calidad controlando los puntos críticos

4.- Función del control microbiológico de los alimentos

5.- Cálculo de los valores microbiológicos de referencia

Estudios previos

Cálculo del valor

Significado del valor de referencia

BACTERIAS DEL GRUPO ENTÉRICO Y RELACIONADAS CON ELLAS

Características generales de las bacterias del grupo. Importancia de las bacterias del grupo entérico en agronomía. Grupo de *Escherichia-Salmonella*. Grupo de *Enterobacter-Erwinia*. Grupo de *Proteus*. Grupo de *Yersinia*. Grupo de *Aeromonas-Vibrio*. Microorganismos indicadores e índices de higiene alimentaria. Las bacterias coliformes en los análisis sanitarios. Prevención de la contaminación y eliminación de microorganismos coliformes.

1.- Importancia de las bacterias del grupo entérico en agronomía

Las bacterias entéricas son habitantes habituales del intestino de los animales y, en ciertos casos, son causantes de patologías graves. Las bacterias de este grupo pueden contaminar con facilidad alimentos en su inicio (casos de huevos contaminados por *Salmonella* adquirida de forma intraovárica, carne contaminada por heridas causadas en el intestino durante la evisceración del animal sacrificado) o durante su procesamiento (contaminación del alimento por el operador o por agua, superficies, etc. contaminadas con restos de contenido intestinal de animales enfermas). Por consiguiente, la detección y eliminación de los microorganismos patógenos de este grupo es muy importante en higiene alimentaria.

Por otra parte, algunas bacterias del grupo entérico son patógenos vegetales causantes de grandes pérdidas en la producción de frutales

Por último, las bacterias de este grupo intervienen de forma activa en los procesos de tratamiento de aguas residuales y de residuos sólidos urbanos consumiendo la materia orgánica presente en estos residuos y formando parte inicial de la cadena conducente hacia su mineralización.

2.- Características generales de las bacterias del grupo.

2.1.- Características principales del grupo

Las bacterias del grupo entérico forman un conjunto de microorganismos muy heterogéneo (el contenido de G+C del grupo varía del 40 al 60%) cuya característica común más relevante es ser anaerobios facultativos: desarrollan un metabolismo respiratorio en condiciones aerobias y un metabolismo

fermentativo en anaerobias. Sólo algunos miembros del grupo son capaces de respirar NO_3^- aunque esta no es una característica general del grupo.

Son todos microorganismos quimioorganotrofos con pocos requerimientos nutricionales por lo que pueden crecer en medios de cultivo relativamente simples.

Morfológicamente son bacilos cortos y cocobacilos Gram-negativos.

Las bacterias entéricas pueden separarse en dos grandes grupos: (1) el llamado **grupo entérico** formado por bacterias que presentan características comunes con las bacterias intestinales; y (2) el **grupo de bacterias relacionadas** cuyos componentes presentan en común con los primeros su metabolismo anaerobio facultativo y la capacidad de colonizar ambientes intestinales en situaciones patológicas.

El **grupo entérico** puede subdividirse, a su vez, en dos: (1) el grupo de bacterias **coliformes** en el que se encuentran los géneros *Escherichia* y *Salmonella* y está formado por bacterias intestinales (estas bacterias tienen un tiempo de supervivencia en agua u otros ambientes extracorporales reducido); y (2) el grupo de **no-coliformes** de bacterias cuyo hábitat natural es el agua o el suelo pero que ocasionalmente pueden encontrarse en ambientes intestinales. Las características metabólicas de las bacterias del grupo de no-coliformes son muy similares a las del grupo de coliformes y la diferenciación se basa principalmente en su hábitat.

En el grupo entérico se incluyen especies patógenas responsables de los brotes epidémicos transmitidos a través de los alimentos. En el grupo no-entérico hay algunas bacterias patógenas para humanos y bacterias patógenas vegetales.

El grupo de bacterias relacionadas comprende microorganismos patógenos para humanos que viven en hábitats animales (*Yersinia*) y microorganismos acuáticos tanto de agua dulce (*Vibrio* y *Aeromonas*) como de agua salada (*Vibrio* y *Photobacterium*). Algunas bacterias son patógenas para animales de piscifactoría (*Aeromonas salmonicida*) y hay especies patógenas para el hombre (*Vibrio cholerae* y *V. parahemolyticus*).

Las bacterias del grupo entérico presentan, por lo general, muy pocos requerimientos nutricionales y son capaces de sobrevivir en medios relativamente simples. Hay algunos miembros del grupo (algunas bacterias del género *Klebsiella*) capaces de fijar nitrógeno atmosférico en condiciones de anaerobiosis; aunque esta no es una característica general del grupo.

2.2. - Particularidades metabólicas

Las bacterias del grupo entérico desarrollan la glucólisis usando la ruta de Embden-Meyerhoff utilizando el piruvato en el ciclo de Krebs cuando están en condiciones aerobias o por diferentes rutas fermentativas cuando se encuentran en condiciones anaerobias. con excepción de *Erwinia* (ver más adelante) no degradan azúcares complejos.

Las diferentes posibilidades de fermentación de las bacterias del grupo tienen importancia de taxonómica y permiten realizar la identificación bioquímica de las especies del grupo.

Las bacterias *Escherichia*, *Salmonella*, *Yersinia* y *Vibrio* llevan a cabo una fermentación ácido-mixta en la que se forman cantidades variables de ácido succínico, acético y fórmico; así como compuestos neutros como etanol, CO₂ y H₂. Las cantidades de cada uno de los productos depende de las

actividades relativas de los diferentes enzimas de utilización del piruvato y la formación de ácido fórmico o de CO_2 y H_2 depende de la presencia de la hidrogenoliasa fórmica.

Las bacterias del grupo de *Enterobacter*, *Erwinia* y *Serratia* (en general, las bacterias del grupo entérico no coliformes) llevan a cabo una variante de la fermentación ácido mixta denominada fermentación butanodiólica porque se forma éste producto final. En el caso de producirse la fermentación butanodiólica se genera, como paso intermedio, acetoína detectable por la reacción de Voges-Proskauer que permite la identificación de bacterias de este grupo.

Por último, también tiene importancia taxonómica en este grupo la capacidad de fermentación de lactosa que presenta *Escherichia*, *Salmonella* y otras bacterias coliformes. La capacidad de fermentación de lactosa depende de la presencia de la enzima β -galactosidasa en las bacterias.

2.3. - Subdivisión del grupo entérico

2.3.1.- Grupo de *Escherichia-Salmonella-Shigella*

Las bacterias de este grupo son habitantes habituales de los intestinos de animales superiores, reptiles, pájaros y, ocasionalmente, insectos; aunque no son las bacterias predominantes en estos hábitats (*Escherichia coli* viene a representar el 0.1% de las bacterias intestinales en un individuo sano). En algunos rumiantes se han encontrado bacterias del grupo en compartimentos del estómago no sometidos a pH excesivamente bajos.

De las bacterias del grupo *Escherichia* es un habitante habitual en individuos sanos mientras que *Salmonella* y *Shigella* están más vinculadas a procesos patológicos

En el caso de *Escherichia coli* la relación con los animales huésped es, probablemente, simbiótica porque la bacteria proporciona al animal la vitamina K que éste no puede sintetizar.

En condiciones normales *E. coli* no es patógena aunque pueden presentarse variantes de esta bacteria que sí causan problemas intestinales serios. Ejemplos de esto son las diarreas infantiles en zonas deprimidas que constituyen una de las primeras causas de mortalidad infantil en el tercer mundo, y la reciente aparición de un serotipo de *E. coli* (O157:H7) causante de brotes epidémicos de patologías intestinales en países desarrollados.

Las bacterias del género *Salmonella* pueden agruparse en tres divisiones dependiendo de su relación con los animales superiores: (1) bacterias que infectan sólo a humanos (*S. typhi* y *S. paratyphi*); (2) bacterias adaptadas a un huésped animal (*S. gallinarum*, *S. abortus-equi*, *S. abortus-ovis*, *S. choleraesuis*) y (3) *Salmonellas* que no presentan preferencia de huésped y son patógenas tanto para hombres como para animales. En todos los casos puede haber individuos portadores sanos (que no desarrollan la enfermedad) que son agentes importantes de la dispersión del patógeno

Salmonella es habitante habitual del tracto intestinal de humanos, animales de granja, aves y, ocasionalmente, reptiles. Como patógeno para humanos suele adquirirse normalmente por la ingestión de alimentos contaminados, principalmente huevos, pollo carne y sus derivados.

En el caso de *Shigella* la bacteria principal del género es causante de patologías intestinales serias (disentería bacilar).

2.3.1.1.- Técnicas de serotipificación

Debido a la importancia de las bacterias del grupo entérico como patógenos en animales superiores se han desarrollado muchos procedimientos de detección de estos microorganismos en alimentos y, una vez detectados, de identificación de las cepas a las que pertenecen.

No todas las especies de bacterias intestinales son patógenas. De hecho, sólo lo es una minoría de ellas que se encuentran, en muchos casos, en números muy bajos. Por esto, la detección de bacterias potencialmente patógenas es muy difícil al encontrarse en muy baja proporción en las muestras y esta es la razón de que se recurra a microorganismos índice de contaminación a la hora de hacer la detección del patógeno (ver más adelante).

Por otra parte, dentro de una especie determinada, no todas las cepas (variedades de la especie) son patógenas. En muchos casos la patogenicidad depende de la presencia de plásmidos que codifican toxinas u otros factores de virulencia.

La serotipificación es un procedimiento de detección e identificación de microorganismos basado en las características de las moléculas que se encuentran en la superficie de los microorganismos. Para ello se utilizan anticuerpos que se unen específicamente a un tipo determinado de una molécula dada; de forma que si se producen mutaciones puntuales que alteren la secuencia o la estructura de la molécula

en cuestión esta ya no es reconocida por el anticuerpo inicial y pasa a ser reconocida por otro anticuerpo diferente.

Hay tres grupos de moléculas que se pueden usar para la identificación serológica: las que forman parte de la cápsula de aquellas bacterias que la poseen (antígenos K también denominados Vi en algunas ocasiones), las que forman parte de los flagelos de las bacterias (antígenos H) y las que forman parte del lipopolisacárido de la bacteria (antígeno O). Según el tipo de antígeno de cada uno de estos grupos que tiene una bacteria determinada pertenecerá a uno u otro serotipo. Así, por ejemplo, la "bacteria de la hamburguesa" que está causando problemas de infecciones intestinales graves en Inglaterra (y que ya ha producido infecciones similares transmitidas por los alimentos en otras partes del mundo) es una *Escherichia coli* perteneciente al serotipo O157:H7. La detección de este tipo de bacteria en un alimento es indicativo de una contaminación que puede causar graves problemas sanitarios.

2.3.1.2.- Técnica de Exclusión competitiva de patógenos

Todos los organismos contienen una gran cantidad de flora microbiana saprófita o simbiote con la que convive de forma inocua. Esta flora no es patógena mientras se encuentre en el compartimento adecuado del organismo (por ejemplo, *Escherichia coli* es inocua normalmente en el intestino pero patógena en los riñones).

Los números de microorganismos de la flora habitual pueden ser muy altos en la flora intestinal. En el final del colon puede haber del orden de 10^{11} bacterias por mililitro. La composición de esta flora depende en gran medida de la alimentación (se produce una sucesión de flora conforme los niños van cambiando de alimentación, por ejemplo) y está formada en adultos principalmente por anaerobios estrictos.

Como la carga microbiana es tan alta, se produce una competencia efectiva por los nutrientes y por el espacio entre los diferentes tipos de microorganismos, de forma que si se altera el equilibrio por causas nutritivas (cambio en el tipo de alimentación, ingestión de antibióticos, etc.) o por causas biológicas (ver más adelante) se produce un cambio en las poblaciones.

Se denomina exclusión competitiva el procedimiento de eliminación de la flora intestinal patógena (especialmente *Salmonella* y *Campylobacter*) del intestino de un animal de granja mediante el suministro a este de mezclas de floras de animales sanos que compitan por los nutrientes y espacio con la patógena y la desplacen. Este proceso parece que está mediado por los sistemas de adherencia de las bacterias a las paredes intestinales y a los conductos de puesta de huevos en las gallinas.

2.3.2.- Grupo de *Enterobacter-Serratia-Erwinia*

Son bacterias normalmente del suelo y del agua aunque pueden encontrarse en hábitats intestinales y del tracto respiratorio (*Klebsiella pneumoniae*, por ejemplo).

Algunas como *Enterobacter* y *Klebsiella* pueden fijar nitrógeno en condiciones anaerobias.

Hay algunas patógenas vegetales. *Erwinia* es una excepción en el grupo de las bacterias entéricas porque es capaz de degradar fermentativamente polisacáridos complejos como la pectina, pudiendo de esta forma causar enfermedades en plantas. Se pueden citar tres especies de *Erwinia* de importancia en patología vegetal: *Erwinia amylovora* (causante del llamado "fuego bacteriano" en el peral), *E. carotovora* (causante de podredumbres en las raíces de plantas) y *E. herbicola* (causante de manchas en las hojas de las plantas infectadas y cuyo potencial patogénico no está muy claro).

2.3.3.- Grupo de *Proteus-Providencia*

Son habitantes del suelo especializados en la descomposición de la materia orgánica. Pueden ser fácilmente identificados por la presencia de la enzima ureasa.

2.3.4.- Grupo de *Yersinia*

Patógeno de roedores que puede pasar a humanos causando enfermedades serias (peste bubónica o peste neumónica causada por *Yersinia pestis*) y procesos diarreicos (*Yersinia enterocolitica*).

2.3.5.- Grupo de *Vibrio-Aeromonas-Photobacterium*

Son bacterias del agua que presentan flagelación polar. Su hábitat es aguas dulces y saladas y pueden vivir en el intestino de los peces.

Algunas especies son patógenas para peces o ranas (*Aeromonas salmonicida* causante de epidemias en hábitats naturales y en piscifactorías) y en humanos (*Vibrio cholerae* causante del cólera y *V. parahaemolyticus* causante de gastroenteritis). En todos los casos las infecciones que producen son intestinales y se transmiten a través del agua utilizada para beber o lavar alimentos (cólera) o por la ingestión de alimentos contaminados en los que se encuentre la bacteria o la toxina (*V. parahaemolyticus*).

Las bacterias del género *Photobacterium* son interesantes por la producción de bioluminiscencia debida la presencia de una enzima denominada luciferasa que, en presencia de oxígeno y ATP da lugar a luz



para que se produzca la inducción de los genes de síntesis de luciferasa es necesario que se alcance un número de bacterias suficientemente alto. Este número lo detectan las bacterias midiendo la concentración de una señal (*quorum sensing signal*) que cada una emite y cuya concentración es función de la concentración de bacterias presentes.

BACTERIAS GRAM-NEGATIVAS ANAEROBIAS

ESTRICTAS

1.- Microorganismos pertenecientes a este grupo

Hay dos grandes grupos de microorganismos Gram-negativos anaerobios estrictos: los fermentadores y los reductores del azufre. Aunque en ciertas ocasiones pueden encontrarse microorganismos reductores del azufre en la flora gastrointestinal de animales superiores, por lo general los microorganismos fermentadores aparecen como miembros de esta flora o de depósitos relacionados con ella (procesos de digestión anaerobia de aguas residuales), mientras que los microorganismos reductores del azufre aparecen en ecosistemas acuáticos anaerobios.

2.- Características principales del grupo de microorganismos fermentadores

Anaerobios estrictos que mueren rápidamente en presencia de bajas concentraciones de oxígeno y que requieren para crecer bajos potenciales redox. La presencia de oxígeno es tóxica debido a la carencia de sistemas de protección frente a peróxidos; el potencial redox, sin embargo, sólo es requerimiento para que los procesos metabólicos puedan tener lugar.

Obtienen la energía únicamente mediante procesos de fermentación. Son capaces de fermentar gran número de azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos.

Generalmente son simbioses en tracto gastrointestinal apareciendo en la cavidad oral, rumen e intestino

Desarrollan varios tipos de fermentación : (1) Fermentación de tipo clostridial (procesamiento paralelo de aminoácidos mediante la reacción de Stickland), (2) fermentación homoláctica, (3) fermentación del propionato, (4) fermentación del butirato, (5) fermentación del succinato

Por otra parte, ciertos elementos del grupo son capaces de desarrollar procesos respiratorios anaerobios basados en la respiración de fumarato acoplada a la reducción del succinato. En estos casos se encuentra una cadena de transporte de electrones más corta que en los microorganismos respiratorios aerobios. Así mismo, hay algunos microorganismos capaces de respirar nitrato ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NH}_3$) en el proceso denominado reducción disimilativa de nitratos.

3.- Ejemplos del grupo de microorganismos fermentadores

Las bacterias Gram-negativas fermentativas del tracto gastrointestinal de animales homeotermos, son muy variadas. Para citar algunos ejemplos, y clasificándolas morfológicamente, se pueden distinguir: (1)

bacterias esféricas como *Veillonella*, (2) bacilos como *Bacteroides* (microorganismos predominantes en el tracto gastrointestinal de los no rumiantes. También son importantes en el proceso de digestión anaerobia de aguas residuales), *Selenomonas*

4.- Características principales del grupo de microorganismos reductores del azufre.

Microorganismos que se encuentran principalmente en sedimentos acuáticos anaerobios, aunque hay algunos tipos que aparecen en el tracto gastro-intestinal (principalmente en el rumen, en bajo número en el intestino).

Su principal característica metabólica es que respiran SO_4^- dando lugar a la producción de sulfhídrico H_2S . En el proceso de respiración de los sulfatos, éstos actúan como aceptores finales de los electrones de los procesos de oxidación de los nutrientes. Durante este proceso se produce una pérdida de sulfatos biológicamente utilizables y, por consiguiente, se conoce el proceso como reducción disimilativa de los sulfatos.

Hay algunas son bacterias de este grupo que son quimiolitotrofas.

Gran importancia geoquímica y ecológica. Son los últimos miembros de la cadena de mineralización anaerobia de materia orgánica. Por otra parte, están muy distribuidas y son productoras de gran cantidad de H_2S cuando se encuentran en condiciones adecuadas. Esto causa la muerte de gran número de peces y aves en ciertos ecosistemas acuáticos y puede dar lugar a problemas cuando se utilizan ecosistemas de cultivos anegados (caso del arroz). Este tipo de bacterias es también causante de una gran cantidad de corrosiones de tuberías que están en condiciones anaerobias.

Ej: *Desulfovibrio*

BACTERIAS GRAM-POSITIVAS FERMENTADORAS:

BACTERIAS DEL ÁCIDO LÁCTICO

Género *Staphylococcus*. Características generales de las bacterias lácticas. Patrones de fermentación de carbohidratos por las bacterias lácticas. Grupos principales de bacterias lácticas. Importancia de las bacterias lácticas en la producción de alimentos. Aplicaciones de las bacterias lácticas en agronomía.

1.- Características generales del grupo de bacterias Gram-positivas fermentadoras

Bacterias Gram-positivas

Metabolismo generalmente fermentativo

En algunos casos respiratorio (*Staphylococcus*)

Algunos tipos forman micelios (se estudiarán dentro del grupo de las Corinebacterias)

Fisiológicamente las bacterias no corineformes son parecidas al grupo de las bacterias entéricas.

2.- Género *Staphylococcus*.

Cocos Gram-positivos de 0,5 a 1 μ m de diámetro.

Aerobios o anaerobios facultativos: presentan metabolismo mixto.

Se diferencian de las bacterias lácticas por la presencia de catalasas y de pigmentos carotenoides (que dan color a las colonias por ejemplo en *S. aureus*) y porque su metabolismo es más versátil.

En preparaciones para el microscopio aparecen formando racimos o parejas.

Inmóviles

Son las especies más resistentes a agentes físicos (deshidratación, temperatura) y químicos (alcohol) de entre las bacterias no esporulantes.

Forman parte de la flora normal en piel y cavidades

Causa de infecciones e intoxicaciones transmitidas a través de los alimentos

Intoxicación alimentaria causada por enterotoxina termoestable de la que no se sabe si actúa sólo a nivel intestinal o si también a nivel de sistema nervioso central una vez absorbida.

La intoxicación no es grave aunque puede ser severa

La toxina no se produce cuando el alimento se conserva a 4°C.

Los síntomas de la intoxicación aparecen entre 1 y 7 horas después de la comida y duran unas 12 horas con vómitos, náuseas y, a veces, diarrea; raramente fiebre.

El alimento contaminado puede ser carne o pasteles con crema. También puede transmitirse por productos lácteos.

Puede causar infecciones en la piel (forúnculos y otras heridas infectadas); de ahí puede pasar a los alimentos cuando la higiene del manejo de éstos no es completa.

Puede producir enfermedades en animales: mastitis ovina y vacuna posteriores al destete o durante los periodo de reposo del ordeño.

3.- Características generales de las bacterias lácticas.

Bacterias cocoides o bacilares inmóviles.

En preparaciones para el microscopio aparecen aisladas o formando cadenas de cocos o de bacilos

Hábitats muy variados:

Flora normal de la superficie de material vegetal (frutas y verduras)

Alimentos ricos en azúcares

Leche y derivados

Tracto naso-faríngeo (donde viven algunas especies patógenas) y gastrointestinal.

Obtienen energía exclusivamente por fermentación de azúcares

Carecen de ciclo de Krebs funcional

El rendimiento de su cultivo es muy bajo: forman colonias muy pequeñas.

En ciertos casos pueden usar azúcares para formar polímeros extracelulares de dextrano

Requieren una gran cantidad de factores nutritivos (aminoácidos, bases nitrogenadas, algunas vitaminas): tienen unas posibilidades anabólicas muy limitadas lo que contribuye a reducir el rendimiento de su crecimiento.

Toleran bien concentraciones relativamente altas de ácidos y valores de pH más bajos que el resto de las bacterias por lo que pueden desplazarlas de los hábitats que colonizan.

Anaerobios aerotolerantes.

Incapaces de respirar porque no pueden sintetizar compuestos porfirínicos y, por tanto, formar una cadena de transporte de electrones.

Los citocromos son compuestos porfirínicos: al no sintetizarlos, estas bacterias forman colonias de color blanco-lechoso.

La catalasa (enzima que destruye el H_2O_2) necesita un grupo porfirínico y, por tanto, este tipo de bacterias no tiene este enzima, lo que permite la identificación del grupo.

La tolerancia al oxígeno puede conseguirse porque acumulan gran cantidad de Mn^{2+} que actúa como una superóxido dismutasa.

En ciertas condiciones, algunas bacterias son capaces de tomar grupos hemo externos para formar una enzima denominada pseudocatalasa.

Bacterias muy importantes en la producción de alimentos fermentados y en el deterioro por fermentación de alimentos.

4.- Patrones de fermentación de carbohidratos por las bacterias lácticas.

Rutas de producción de la glucosa

Desdoblamiento de azúcares complejos por enzimas específicas o por enzimas inespecíficas.

Procesamiento de la glucosa:

Bacterias homofermentadoras

Ruta de Embden-Meyerhoff y producción final exclusiva de ácido láctico

Bacterias heterofermentadoras

Carecen de la enzima aldolasa.

Procesamiento por ruta de las pentosas con formación de ácido láctico, etanol y CO_2

El rendimiento de la fermentación homoláctica (2 mol ATP/ mol de glucosa) es más alto que el de la heteroláctica (1 mol ATP / mol de glucosa)

Es característica la estereoquímica del tipo de ácido láctico que se produce durante la fermentación.

Sobre este esquema básico hay variaciones que rentabilizan alguno de los productos primarios de la fermentación o que aumentan el rendimiento de la producción de ATP.

5.- Grupos principales de bacterias lácticas.

Se diferencian por la morfología, agrupamiento y el tipo de fermentación:

Cocos:

Formadores de tétradas:

Homofermentadora: *Pediococcus*.

Formadores de cadenas:

Homofermentadores: *Streptococcus* (*Enterococcus*, *Vagococcus*, *Lactococcus*)

Heterofermentadores: *Leuconostoc*

Bacilos:

Grupo de *Lactobacillus*:

Homofermentadores:

Thermobacterium

Streptobacterium

Heterofermentadores

Betabacterium

Grupo de *Carnobacterium*

Otras bacterias relacionadas que no pertenecen al grupo láctico pero que comparten con él muchas características:

Listeria: bacteria móvil por flagelos peritricos (esta características puede depender de la temperatura de cultivo) capaz de multiplicarse a bajas temperaturas y con algunas especies patógenas.

6.- Importancia de las bacterias lácticas en la producción de alimentos.

El descenso del pH debido a la formación de lactato durante la fermentación de azúcares protege a los alimentos del deterioro causado por otros tipos de bacterias.

La acumulación de ácido láctico también produce sabor en el alimento

Las bacterias heterofermentativas son más importantes que las homofermentativas en la producción de sabor porque acumulan acetaldehído diacetilo, que dan aroma al alimento.

Las características del alimento a fermentar determinan el tipo de microorganismo que va a modificarlo

La presencia de azúcares simples y de pH ácido dará lugar a una fermentación por bacterias lácticas que modificarán el ambiente impidiendo el crecimiento de otros microorganismos.

Los azúcares grandes no son directamente fermentables; pero pueden hacerse fermentables mediante la adición al alimento de enzimas sacarolíticas de otros orígenes como las producidas por la germinación de la cebada durante la producción de la cerveza o las producidas por hongos como *Aspergillus* durante la fermentación del arroz para producir el Koji)

Productos lácteos

Producción del queso: se elabora en tres etapas en las que las bacterias tienen un papel importante:

Cuajada: la bajada del pH como consecuencia de la fermentación láctica produce la precipitación (cuajado) de las proteínas de la leche.

Esta precipitación puede acelerarse añadiendo renina que se obtiene del rumen de herbívoros.

Una vez producido el cuajado se puede modificar este añadiéndole sal, reduciendo la humedad, etc.

Maduración: serie de cambios químicos producidos en la cuajada por acción de bacterias lácticas y de hongos.

Básicamente estos cambios son debidos a actividades proteasas y lipasas exportadas por las bacterias o liberadas al medio cuando la bacteria muere y lisa.

Algunas bacterias de otros grupos (por ejemplo *Propionibacterium*) tienen actividades secundarias en la maduración (por ejemplo: la formación de los ojos en el queso suizo).

Los quesos se clasifican en curados o no curados según se haya producido o no la fermentación del cuajado por parte de las bacterias deseadas. Por su parte, en los

quesos curados el grado de dureza depende del grado de metabolización de la caseína por las bacterias responsables de la fermentación.

Producción de la mantequilla: en el agriamiento inicial de la mantequilla interviene la actividad de ciertos estreptococos.

En algunos casos hay fermentaciones mixtas que dan lugar a ácido láctico y a alcohol (por ejemplo, la producción de kéfir) llevadas a cabo conjuntamente por bacterias lácticas y levaduras.

Fermentación láctica de materias vegetales

Fermentación en la producción de encurtidos, col fermentadas («sauerkraut») y aceitunas españolas.

Pueden distinguirse una serie de etapas en este proceso:

- 1.- Fase inicial: hay una mezcla de bacterias aerobias, anaerobias facultativas y anaerobias junto con mohos y levaduras. Se inicia la fermentación y se produce una bajada inicial del pH que impide el crecimiento de Gram-negativos y de esporulantes.
- 2.- Fermentación primaria: las bacterias lácticas y las levaduras consumen todo el azúcar fermentable o lo suficiente para que la bajada del pH

sea de suficiente entidad como para que se detenga el crecimiento de las LAB.

- 3.- Fermentación secundaria: por levaduras ácido-resistentes que utilizan los restos de azúcar no fermentado.
- 4.- Etapa de postfermentación (crecimiento de mohos y de levaduras oxidativas en la superficie del alimento fermentado):

Fermentación de la paja en los ensilados.

Otras fermentaciones lácticas

En muchos tipos de alimentos, las bacterias lácticas modifican las características químicas dando lugar a una pequeña fermentación (maduración) que baja el pH y libera productos que dan sabor.

En general, la presencia de bacterias lácticas vivas y su ingestión parece ser beneficiosa por el aporte vitamínico que suponen, porque facilitan la digestión de la lactosa y controlan otras poblaciones intestinales

Producción de dextrano

Las bacterias del género *Leuconostoc* son productoras de dextrano cuando crecen utilizando como fuente de carbono azúcares de bajo peso molecular. Esta producción

causa problemas en las industrias de refinado de azúcar y, por otra parte, puede ser aprovechada para la fabricación de sustancias utilizadas como filtros moleculares (por ejemplo, Sephadex).

7.- Antagonismo láctico

Actividad de las bacterias lácticas por la que matan o inhiben el crecimiento de otras bacterias estrechamente relacionadas con ellas.

Esta actividad de competición puede existir, incluso, entre bacterias de la misma especie.

Causas del antagonismo láctico:

Producción de bacteriocinas

Antibióticos peptídicos de síntesis ribosomal producidos por distintos tipos de bacterias. (No sólo lácticas, aunque las más interesantes industrialmente en la actualidad son las producidas por bacterias lácticas).

Estos antibióticos peptídicos están muy distribuidos en la naturaleza. Fueron aislados por primera vez en *Escherichia coli* y desde entonces se han aislado en muchos otros microorganismos. En bacterias del suelo también se producen y podrían ser los responsables de fenómenos como la competitividad de los rizobios para inocular semillas de leguminosas: se ha

visto que algunas cepas de *Rhizobium* producen el antibiótico denominado trifolitoxina.

Suelen tener un espectro de acción muy reducido.

Normalmente plasmídicas (prescindibles, transmisibles), aunque se han encontrado algunas genómicas.

Algunas son muy termorresistentes, aunque otras son termosensibles.

Algunas poseen antibióticos muy modificados (por ejemplo: los denominados «lantibióticos» presentan el aminoácido modificado denominado lantionina).

Las bacteriocinas se pueden usar directamente como aditivo alimentario (caso de la Nisina) o indirectamente (cuando son producidas por las bacterias lácticas que intervienen en la producción de un alimento).

Para que uno de estos antibióticos pueda ser usado como conservante debe cumplir:

- 1.- No debe afectar la flora intestinal
- 2.- No debe ser inactivado por componentes de los alimentos
- 3.- No debe inducir la aparición de formas resistentes.
- 4.- No debe usarse en medicina ni en veterinaria

La bacteriocina más usada es la nisina

Producida por *Lactococcus lactis* subespecie *lactis*.

Lantibiótico termoestable que cumple las condiciones anteriores.

Utilizado como aditivo para productos lácteos y para conservas porque inhibe las primeras fases de la germinación de las esporas.

La subtilina es otra bacteriocina producida por *Bacillus subtilis* cuya estructura y modo de acción es similar al de la nisina.

Producción de ácidos láctico y acético

Los ácidos orgánicos de cadena corta son muy tóxicos para los microorganismos porque atraviesan la membrana bacteriana en la forma no ionizada y se acumulan en la forma ionizada en el interior

Producción de peróxidos

Ciertas cepas de bacterias lácticas son capaces de tomar oxígeno para formar peróxidos mediante flavoproteína-oxidasa o mediante peroxidasas. El H_2O_2 producido y liberado al medio resulta extremadamente tóxico para otras bacterias que comparten el hábitat y que son así eliminadas,

La formación de peróxidos puede tener consecuencias indeseables en alimentos cárnicos donde puede producirse una coloración verdosa en condiciones de anaerobiosis (lo que distingue esta alteración de la producida por *Pseudomonas* que tiene lugar en condiciones aerobias).

Bacterias Gram-positivas esporulantes aerobias

Características generales de las bacterias esporulantes. Desarrollo y propiedades de la endospora. Concepto de criptobiosis. Productos secundarios simultáneos a la esporulación. Principales bacterias del género. Importancia de las bacterias de este grupo en agronomía. Aplicaciones de las bacterias de este grupo.

1.- Características generales de las bacterias Gram-positivas formadoras de endosporas

Bacterias del suelo

Forma bacilar en todas las especies menos *Sporosarcina*.

Quimioorganotrofas

Gram-positivas que pueden aparecer como Gram-negativa en la fase estacionaria.

Respiración aerobia, anaerobia o fermentación

Pueden ser móviles por flagelos peritricos

Productoras de formas de resistencia (endosporas) que desarrollan criptobiosis.

Generalmente termorresistentes en forma de endosporas, algunas especies son termófilas
(*B. stearothermophilus*, *Thermoactinomyces spp.*)

Pueden aislarse del suelo mediante tratamiento de las muestras a 80°C durante un tiempo para destruir todas las otras células vegetativas.

2.- Desarrollo y propiedades de la endospora

Momento y causas de la esporulación

Se forma dentro de la célula vegetativa

Se forma al final de la fase exponencial de crecimiento como consecuencia de la limitación de nutrientes

Propiedades de la espora

Criptobiosis

Resistencia a temperatura, desecación, ultravioleta, etc.

Etapas de la formación de la endospora

Condensación del material nuclear

Formación del septo transversal

Recubrimiento de la preespora por varias membranas

Formación del córtex

Peptidoglicano modificado

Formación de la cubierta externa

Formación del exosporio

Lisis de la célula y liberación de la espora

Estructura de la endospora

Productos de acumulación en la endospora

Acumulación de dipicolinato cálcico que confiere termorresistencia y refringencia.

Activación de las endosporas

Proceso previo necesario para la germinación

Proceso reversible por choque térmico

Proceso rápido reversible por un choque de frío.

Proceso irreversible por exposición (almacenamiento) a baja temperatura o en condiciones de alta desecación.

Proceso irreversible pero muy lento.

Liberación de compuestos que favorecen la germinación de la espora en condiciones favorables

Señal química que desate la germinación.

Productos secundarios simultáneos a la endosporulación

Producción de proteínas tóxicas

Toxina de *Bacillus thuringiensis* (cristal parasporal bipiramidal)

Toxina de *Clostridium botulinum* y de *C. tetanii*

Producción de antibióticos peptídicos de síntesis enzimática

Edeína

Bacitracina

Polimixina

3.- Principales bacterias del género

Género *Bacillus*

Características principales

Pocos requerimientos nutricionales

Quimioorganotrofos versátiles (respiradores y fermentadores)

Desarrollan fermentación butanodiólica

Identificación de *Bacillus*

Pruebas bioquímicas

Pruebas serológicas (Serotipos H [flagelares])

Forma y posición de la espora

Importancia de las bacterias de este grupo en agronomía

Microbiología de alimentos

Agentes de contaminación de alimentos ricos en hidratos de carbono y de baja actividad de agua (cereales, pastas, arroz mal tratado térmicamente, etc) causantes de brotes de intoxicación aguda.

Agentes de lucha contra plagas de insectos fitófagos

Bacillus thuringiensis

Patógenos para humanos y animales

Bacillus cereus

Bacillus anthracis

Aplicaciones de las bacterias de este grupo.

Fuente de exoproteínas naturales

Herramientas en ingeniería genética

Producción de proteínas recombinantes en *B. subtilis*

Género *Thermoactinomyces*

Agentes causantes de la elevación de la temperatura en materiales vegetales en fermentación. La alta temperatura puede llegar a producir la ignición espontánea de la pila de heno.

BACTERIAS GRAM-POSITIVAS ESPORULANTES

ANAEROBIAS ESTRICTAS

El género *Clostridium*. Rutas fermentativas de las bacterias del género *Clostridium*. Importancia de las bacterias del género *Clostridium* en la tecnología de alimentos. Aplicaciones de las bacterias del género.

Género *Clostridium*.

Características principales

Bacterias anaerobias estrictas

No producen catalasa y sólo poca cantidad de S.O.D.

Pueden ser patógenas por

Producción de toxinas (*C. tetanii*, *C. botulinum*)

Destrucción de tejidos (*C. perfringens*)

Algunas bacterias del género son capaces de fijar nitrógeno

Son los agentes causantes de la «putrefacción de la carne» (descomposición anaerobia de las proteínas).

Rutas fermentativas de las bacterias del género *Clostridium*.

Presentan una gran variedad de rutas de fermentación

Fermentación de azúcares polimerizados

Fermentación del butanol

Fermentación acoplada de aminoácidos (disimilación anaerobia de aminoácidos).

Fermentación no acoplada de aminoácidos (producción de piruvato)

Fermentación de compuestos cíclicos que tienen N₂ (por ejemplo: bases nitrogenadas).

Fermentación de productos del metabolismo secundario

Importancia de las bacterias del género *Clostridium* en la tecnología de alimentos.

Agentes responsables de intoxicaciones alimentarias agudas

C. botulinum: intoxicación por neurotoxina termosensible

C. perfringens: intoxicación por toxina acumulada debido a tratamiento defectuoso de alimentos.

Generación de ambientes anaerobios (reductores) en alimentos.

Aplicaciones de las bacterias del género

Fermentaciones industriales (fermentación butanólica para producir disolventes).

Productores de exopeptidasas y otras exoenzimas.

Bacterias corineformes, proactinomicetos y actinomicetos

Características principales de las corinebacterias. Características e importancia del género *Propionobacterium*. Características e importancia del género *Corynebacterium*. Características

generales de los actinomicetos. Bacterias nocardiformes. Estreptomicetos. Importancia de las bacterias de estos géneros. Aplicaciones industriales.

1.- Características de los actinomicetos.

Bacterias Gram-positivas que presentan crecimiento micelial durante parte de su ciclo biológico (actinomicetos) o bajo determinadas condiciones fisiológicas y de crecimiento (pro-actinomicetos).

La movilidad es poco frecuente, se limita a algunos grupos y se produce por flagelos.

Los micelios de los actinomicetos son inmóviles y sólo las esporas pueden ser móviles.

Paredes celulares: mucha variabilidad en la en la composición del peptidoglicano, lo que tiene valor taxonómico.

Modelos de desarrollo en los actinomicetos miceliales: el crecimiento se efectúa normalmente por elongación de las células que forma la hifa del micelio.

Este micelio puede estar introducido en el substrato o ser aéreo; en éste último caso, cuando se agotan los nutrientes del medio se produce por tabicación de las puntas de las hifas la esporulación.

En una colonia pueden coexistir partes con crecimiento activo, partes en esporulación y partes en lisis por el agotamiento de nutrientes.

2.- Grupos importantes de *Actinomicetes*.

- Actinobacterias.
- Nocardias.
- *Dermatophilus*.
- Streptomicetos.
- Actinoplanetes.

2.1.- Grupo de actinobacterias.

Bacterias aisladas con una ligera tendencia a formar agregados tras su división.

No forman micelio aéreo ni esporas en ningún caso.

Morfológicamente van desde cocos (*Micrococcus*) hasta bacilos permanentes (actinomicetos) aunque pueden presentar diferentes morfología durante su desarrollo (*Arthorbacter*, nutricionalmente análogas a los pseudomonas, y *Cellulomonas*).

Son habitantes del suelo, piel y cavidad bucal.

La mayoría son aerobios respiradores aunque hay algunos anaerobios aerotolerantes.

2.2.- Grupo Nocarida (nocardiformes)

Grupo de microorganismos indentificable por las características hidrofóbicas de su pared debidas a la presencia de compuestos lipídicos: bacterias ácido-alcohol resistentes.

No se conocen mecanismos de transparencia horizontal de genes naturales, la transformación ha de hacerse a través de protoplastos.

Forman normalmente micelios substrato y aéreos sólo en ciertas ocasiones.

No forman nunca esporas.

Son bacterias del suelo (*Nocardia*), parásitos de animales superiores (*Mycobacterium tuberculosis*, *M. leprae*) o de plantas (*Corynebacterium fascians*).

Tanto en la tuberculosis (*M. tuberculosis*) como en la lepra (*M. leprae*) se produce el crecimiento del micelio en los pulmones o en la piel causando una afección crónica en la que el tratamiento con antibióticos es muy complicado.

Las corinebacterias son importantes por la producción de metabolitos secundarios, por su acción mineralizadora de algunos productos orgánicos y como productores de enfermedades.

Las bacterias corineformes han venido utilizándose en la industria por ser el grupo más importante de productores de aminoácidos tales como triptófano, lisina, ácido aspártico y treonina.

2.3.- Grupo *Dermatophilus*.

Grupo de bacterias formadoras de esclerocio (talo de células), y esporas móviles.

Pueden ser bacterias del suelo (*Geodermatophilus*), parásitos sobre la piel de animales superiores (*Dermatophilus*) o simbioses con algunas plantas no leguminosas (*Frankia*).

La invasión de pelos radiculares por *Frankia* suele inducir la formación de una raíz adventicia que se transforma en una estructura coraloide donde se produce la fijación de N_2 . A veces se induce getropismo negativo en la raíz adventicias. Se ha detectado la presencia de hemoglobina en módulos de las no leguminosas infectadas.

Las bacterias del género son capaces de infectar y nodular específicamente específicos de genero plantas del tipo de los Alisos (*Alisus*) y de otras familias

entre las que se encuentran *Rhamanales* (donde está *Vitis*) y *Rosales* (donde está la frambuesa). En estos módulos se produce fijación de nitrógeno de una forma similar a la de *Rhizobium*. Las plantas suelen ser arbustivas usadas en establecimiento de dunas, forrajeras y en algún caso, madera.

2.4.- Estreptomicetos.

Bacterias que forman micelio substrato y luego aéreo donde forman esporas por fisión de las puntas de las hifas.

Muy versátiles nutricionalmente que tienen gran importancia como agentes mineralizadores de materia orgánica del suelo y como productores de metabolitos secundarios de interés industrial.

Los productores de antibióticos más importantes cualitativa y clínico cuantitativamente desde el punto de vista.

Bacterias productoras de más del 60% de los antibióticos, además de otras sustancias de interés. También son productores de herbicidas.

2.5.- Actinoplanetes.

Similares en algunas cosas a los Estreptomicetos.

Forman esporas al final de la hifa que se enrolla sobre si misma y se divide dando lugar a las esporas.

Algún grupo fermenta celulosa.

3.- Concepto de antibiótico. De síntesis enzimática.

Son sustancias de síntesis química o biológica que destruyen o inhiben el crecimiento de microorganismos. Esto incluye:

Agentes antibacterianos

Agentes antivirales

Agentes antifúngicos

Agentes antiparasitarios (anti-protozoos y anti-helminetos)

Son productos del metabolismo secundario microbiano que presentan acción letal sobre otros microorganismos.

Ecológicamente su función consiste en dar ventaja al microorganismo productor para que pueda colonizar ambientes con más eficacia que sus competidores.

Esta acción ha de producirse a bajas concentraciones.

Son producidos en fases tardías del crecimiento, no son esenciales, su estructura química es compleja, se producen como familias de compuestos y son producidas por un rango limitado de organismos (*hongos, Bacillus, Streptomyces*).

Por su estructura química pueden agruparse en varias clases:

Moléculas orgánicas:

Compuestos de mayor o menor complejidad sintetizados enzimáticamente por el microorganismo productor.

En este grupo se encuentran los principales antibióticos de uso clínico: penicilinas, estreptomicina, cloranfenicol, etc.

Antibióticos peptídicos:

Compuestos formados por una cadena peptídica de corta longitud. dependiendo de cómo se produce su síntesis podemos distinguir:

Antibióticos peptídicos de síntesis enzimática:

La secuencia de aminoácidos es el resultado de la unión enzimática ordenada de aminoácidos que forman la cadena.

A este grupo pertenecen antibióticos como la bacitracina y polimixina.

Antibióticos peptídicos de síntesis ribosomal:

Son el resultado de la transcripción y traducción de un gen plasmídico o genómico del microorganismo productor.

A este grupo pertenecen las bacteriocinas y las colicinas.

En ciertos casos este tipo de antibióticos se ha utilizado como aditivo alimentario (la nisina producida por *Streptococcus lactis* es añadido a los productos lácteos para prevenir su deterioro).

Por su sitio de acción pueden clasificarse en:

Antibióticos que interfieren con la síntesis de peptidoglicano:

Causan la lisis de la bacteria.

Ejemplo: la penicilina

Antibióticos que actúan despolarizando la membrana celular:

Producen la muerte del microorganismo al impedir la fosforilación oxidativa.

Ejemplos: la polimixina y muchas bacteriocinas, entre ellas, la nisina.

Antibióticos que impiden la síntesis de proteínas:

Inhiben el funcionamiento del ribosoma.

Ejemplo: el cloranfenicol.

Antibióticos que impiden la replicación (ej.: Ácido nalidíxico) o la transcripción (ej.: Rifampicina) del ADN.

Otros microorganismos procarióticos

Microorganismos bacteriolíticos y celulolíticos: mixobacterias y citófagas. Espiroquetas. Rickettsias. Clamidias. Micoplasmas. El Reino de las Arqueobacterias.

1.- Eubacterias Deslizantes.

Grupo complejo de microorganismos que se mueven por deslizamiento sobre el substrato.

Pueden agruparse en tres tipos: las mixobacterias, las citófagas y las bacterias deslizantes filamentosas.

Mixobacterias

Quimioheterotrofos edáficos aerobios estrictos.

Hay dos grupos organismos bacteriolíticos y celulolíticos.

En general, su actividad fundamental está en la mineralización de materia orgánica: madera, residuos animales y vegetales, etc.

Las mixobacterias bacteriolíticas produce antibióticos que matan las células de las que se alimentan.

Estos microorganismos suele clasificarse por las características de sus cuerpos fructíferos.

Citófagas

Microorganismos deslizantes edáficos que no forman cuerpos fructíferos.

Están especializados en la degradación de polímeros de azúcares de alto peso molecular como celulosas y quitina.

2.- Espiroquetas.

Bacterias Gram-negativas que tiene una estructura denominada "flagelo periplásmicos".

El número de flagelos es variables entre las especies.

El movimiento de las Espiroquetas es muy rápido en los substratos de alta viscosidad como fangos y mucosas.

A este grupo pertenecen microorganismos patógenos como:

Treponema pallidum, causante de la sífilis

Su único hospedador es el hombre.

Borrelia, causante de la fiebre recurrente, transmitidas de animales a personas por piojos y garrapatas.

3.- Riquettsias.

Microorganismos que viven como parásitos de células eucarióticas de las que usan intermediarios del CAT como nutrientes.

Pueden usar también el ATP externa.

Pasan de un mamífero a otro a través de insectos.

4.- Clamidas.

Bacterias Gram-negativas parásitos obligados que parecen carecer de cualquier sistemas de producción de ATP por lo que tienen que usarlo siempre exógeno.

Como patógenos son productores de tracoma, algunas enfermedades de transmisión sexual y psitacosis.

5.- Los molicutes: Micoplasmas.

Eubacterias carentes de pared celular por lo que son pleomórficas, osmosensibles y resistentes a penicilinas.

Son parásitos de organismos eucarióticos produciendo patologías en animales (neumonías, agalaxia contagiosa de ganado vacuno y ovino) y en vegetales.

6.- Archeobacterias

Microorganismos procarióticos diferentes de las bacterias por varias características: estructura de la pared, composición de las membranas, estructura de los ribosomas y polimerasas, etc.

Hay tres grandes grupos de arqueobacterias: metanógenas, halófilas y termoacidófilas (también denominadas por algunos autores como Sulfolobales).

Sus características metabólicas son muy diferentes en cada uno de los grupos citados.

NOTA: HASTA AQUÍ LA PRIMERA ENTREGA DE APUNTES DE ESTE CURSO