

METABOLISMO

La energía requerida para el mantenimiento de la vida y la síntesis de los componentes celulares es obtenida por la transformación ordenada de las sustancias que ingresan a la célula. Éstas son modificadas por una serie de reacciones enzimáticas sucesivas, a través de rutas específicas.

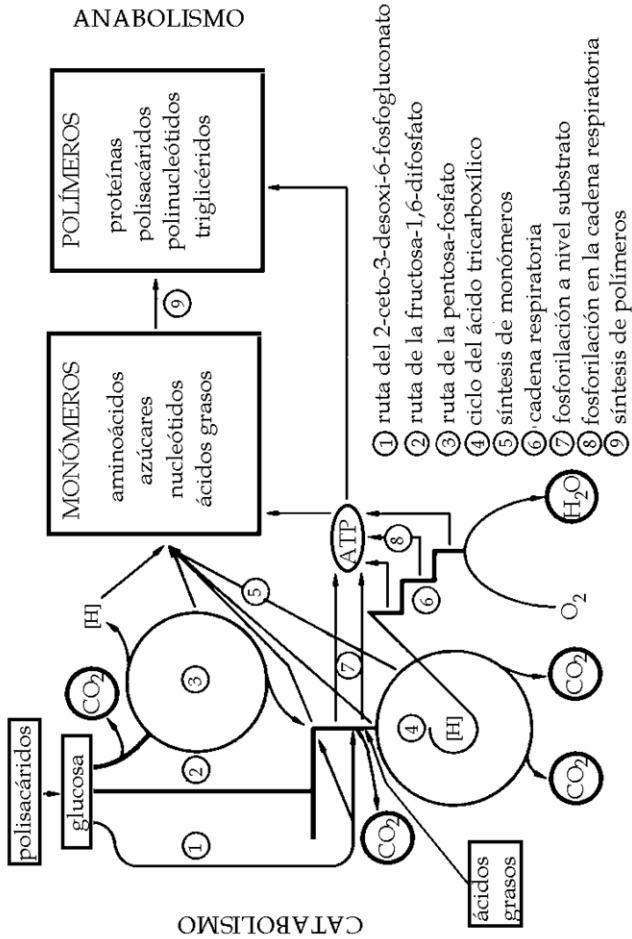


Figura 3.1. Metabolismo de los microorganismos aerobios (10)

Las vías metabólicas tienen la función de proveer los precursores para los componentes celulares y obtener energía para los procesos de síntesis y otros que la requieran. Primero los nutrientes son rotos en pequeños fragmentos durante el catabolismo y luego convertidos por las reacciones del metabolismo intermediario en ácidos orgánicos y ésteres de fosfato. La mayoría de los compuestos de bajo peso molecular que representan las unidades para sintetizar la célula, son aminoácidos, bases púricas y pirimidínicas, fosfatos de azúcares, ácidos orgánicos y otros metabolitos, algunos producidos al final de largas cadenas de reacciones. Estas sustancias sirven para la síntesis de las macromoléculas (ácidos nucleicos, proteínas, materiales de reserva, polímeros de la pared celular) durante el anabolismo (1).

METABOLISMO PRODUCTOR DE ENERGÍA

Los microorganismos llevan a cabo diversos procesos metabólicos destinados a obtener energía y nuevo material celular para su crecimiento y multiplicación. Los fototróficos son capaces de utilizar la energía de la luz para convertir el CO₂ en materia orgánica celular. Los microbios autotróficos fijan el CO₂ con una fuente química de energía y los heterotróficos necesitan sustratos orgánicos para sus actividades metabólicas.

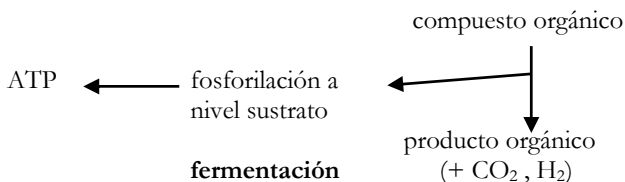
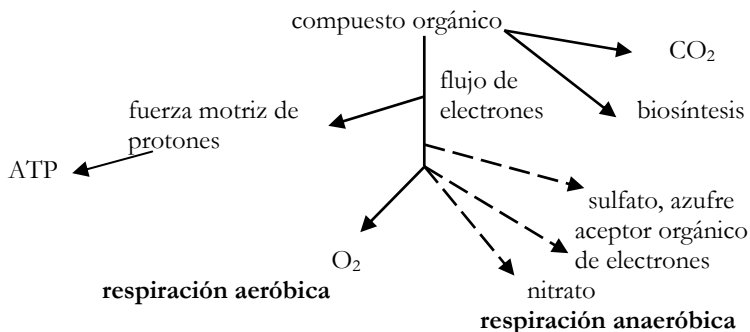
Los microorganismos pueden dividirse de acuerdo a su metabolismo energético en tres grupos: los que únicamente pueden respirar, los que sólo fermentan y los que respiran o fermentan adaptándose al ambiente donde se hallan (1).

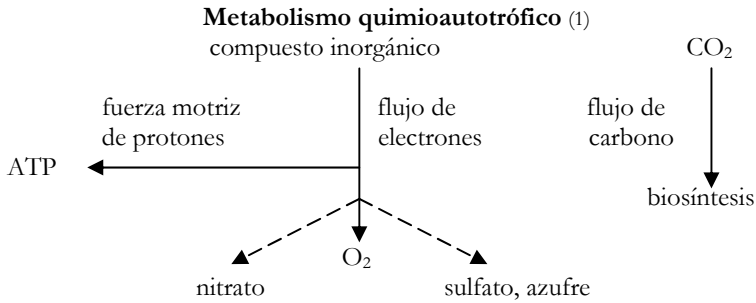
Dentro de los organismos aeróbicos estrictos están muchas bacterias y casi todos los mohos y las actinobacterias. Los anaeróbicos estrictos están representados por miembros del género *Clostridium*, por ejemplo *C. pasteurianum* que es un fijador de nitrógeno. Las levaduras y las bacterias coliformes, que pueden respirar o fermentar ciertos sustratos, son organismos facultativos. Las bacterias lácticas pertenecen al grupo que obtiene su energía exclusivamente de la fermentación y no sufren lesión por parte de una reducida presión parcial de oxígeno.

El metabolismo anaeróbico es siempre menos eficiente que la respiración, ya que la fermentación no aprovecha toda la energía del sustrato orgánico (por ejemplo, un azúcar) para la producción del combustible universal de la célula (el ATP) ni, por tanto, para la síntesis de material celular. Las células excretan el producto de degradación que, a su vez, podría ser oxidado a CO_2 y H_2O por otros organismos.

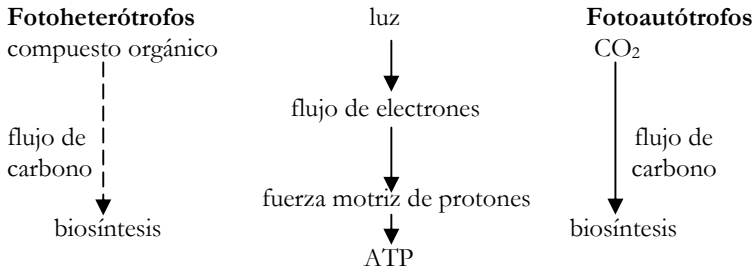
El crecimiento aeróbico, por otra parte, capacita a algunos organismos para oxidar completamente una cierta fracción del sustrato y extraer así la máxima energía para convertir el resto del sustrato en masa celular. Si el objetivo del cultivo microbiano es aumentar la biomasa, por ejemplo en la producción de levadura de panadería, resulta una ventaja obvia tener un crecimiento aeróbico con utilización completa del sustrato por respiración (5).

Metabolismo heterotrófico (1)





Metabolismo fototrófico (1)



RESPIRACIÓN

PRODUCCIÓN DE PIRUVATO

La glucosa es fosforilada a glucosa-6-fosfato cuando ingresa a la célula. Luego es convertida en piruvato, uno de los compuestos intermedios más importantes del metabolismo. La principal vía metabólica es la ruta de la fructosa-1,6-difosfato o glicólisis, cuyo balance muestra la formación de dos moléculas de ATP (energía química almacenada por fosforilación a nivel de sustrato) y dos de NADH_2 (transportador de hidrógeno). Otra es la ruta oxidativa de la pentosa-fosfato, la cual además provee ribosa-fosfato para la síntesis de nucleótidos. Estas vías también son utilizadas por los microorganismos fermentadores.

La ruta del ceto-desoxi-fosfogluconato se observa en una variedad de bacterias Gram-negativas. La oxidación del piruvato

se produce, por caminos distintos según los organismos, dando acetil-CoA, que entra en ciclo del citrato (10).

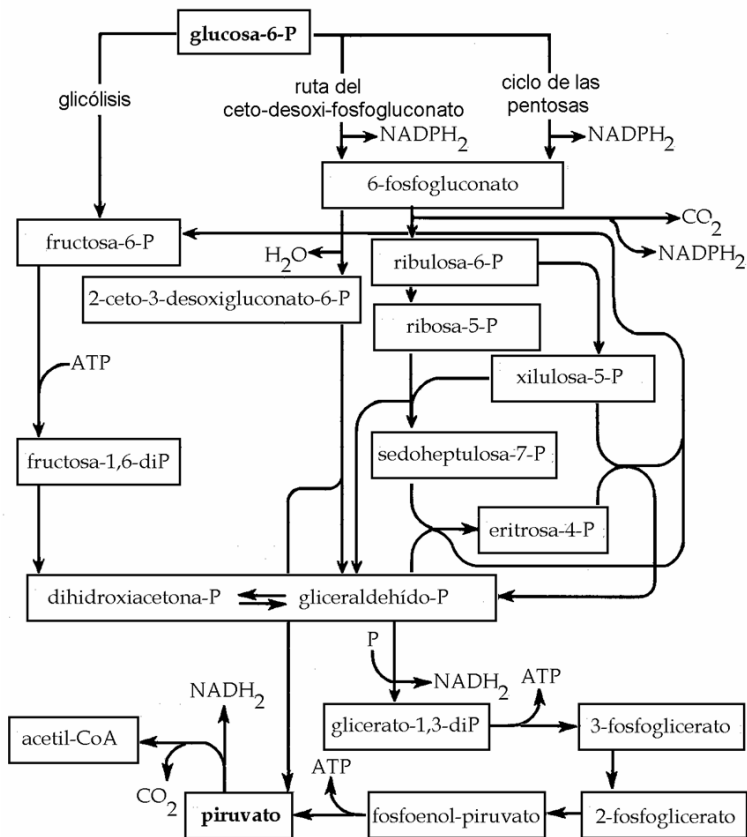


Figura 3.2. Rutas para la producción de piruvato (6)

CICLO DEL CITRATO

Este ciclo completa la oxidación de los nutrientes generando CO₂ e hidrógeno, transportado por NADH₂, NADPH₂ ó FADH₂, y también forma precursores de la biosíntesis. Si algunos intermediarios del ciclo se derivan por otra ruta, deja de funcionar y entonces entra en juego la secuencia de reacciones anapleróticas para reaprovisionar los intermediarios faltantes. Este ciclo es también la vía final para la oxidación de las cadenas

carbonadas de los aminoácidos, después de la desaminación, y de acetil-CoA proveniente de la degradación de los ácidos grasos (1).

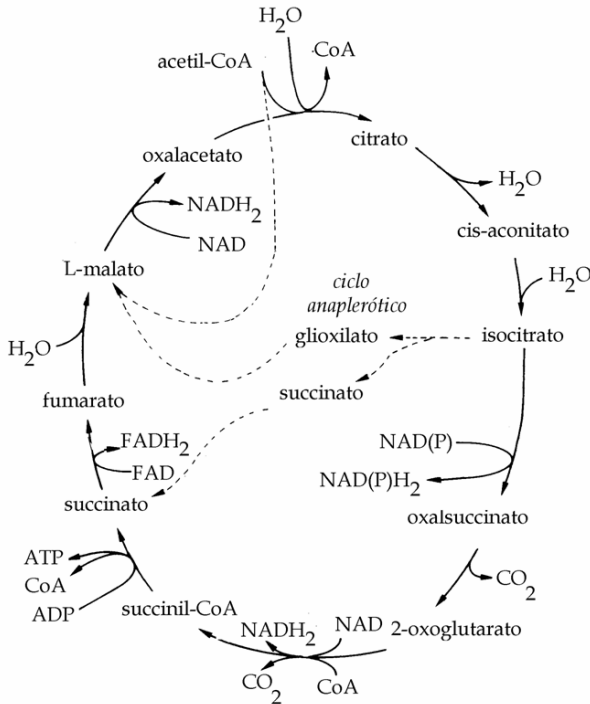


Figura 3.3. Ciclo del citrato (2)

CADENA RESPIRATORIA

Es llamada también cadena de transporte de electrones. En los eucariotas las enzimas de la respiración están en unos orgánulos denominados mitocondrias mientras que en los organismos procarióticos se encuentran en la membrana citoplasmática. Cada molécula de NADH₂ proveniente de la degradación de la glucosa se reoxida a través de esta cadena con la ganancia de 3 moléculas de ATP mientras que cada molécula de FADH₂ genera 2 ATP.

La secuencia del transporte de electrones en la membrana va desde la flavoproteína hasta el O₂ u otro aceptor terminal, mientras que los H⁺ son bombeados fuera. Cuando el oxígeno se

reduce, requiere protones del citoplasma para completar la reacción, los que se originan por la disociación del agua. El resultado neto es un gradiente de protones y un potencial electroquímico a través de la membrana, con una carga negativa en la parte interna y positiva en la externa. Este estado energizado de la membrana se expresa como fuerza motriz de protones.

La energía puede ser usada directamente en el transporte de iones, la rotación de los flagelos o la producción de los enlaces fosfato del ATP a través del sistema ATPasa (fosforilación oxidativa) anclado en la membrana. La respiración provee 38 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa oxidada (1).

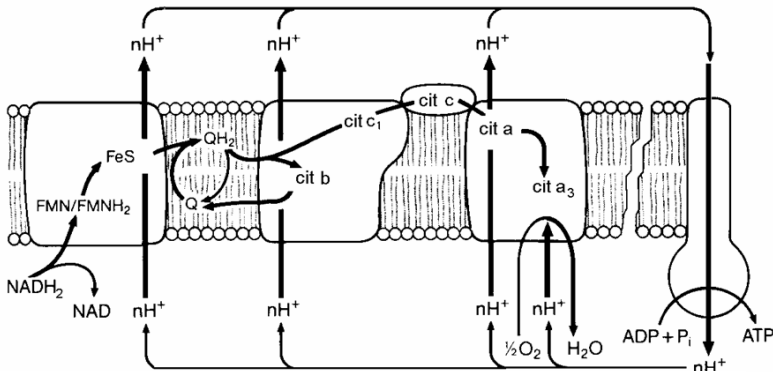


Figura 3.4. Transporte de electrones en la membrana bacteriana (10)

OTRAS OXIDACIONES

No todas las reacciones oxidativas catalizadas por microorganismos aeróbicos estrictos llegan hasta CO_2 y agua, por ejemplo la conversión de etanol en ácido acético debida a especies de *Acetobacter*. Aunque estos suboxidadores obtienen energía en forma de ATP, generalmente no pueden conseguir moléculas para su crecimiento a partir de tales reacciones y requieren otros nutrientes.

La oxidación de los ácidos grasos ocurre por un proceso llamado β -oxidación que forma comúnmente acetil-CoA, pues la mayoría de los ácidos naturales constituyentes de los lípidos

tienen un número par de carbonos. El acetil-CoA es oxidado en el ciclo del citrato y por ejemplo, el ácido palmítico con 16 carbonos puede generar 129 moléculas de ATP (1).

FERMENTACIONES

Son varias las rutas metabólicas fermentativas. Las levaduras pueden fermentar una molécula de glucosa o fructosa, produciendo dos de etanol y dos de CO₂. En cambio las bacterias se pueden agrupar en dos tipos generales, homofermentativas con un producto principal y heterofermentativas dando dos o más.

Los metabolitos de estos procesos no pueden ser metabolizados en condiciones anaeróbicas, por el organismo que los produce. En las fermentaciones el ATP es producido por fosforilación a nivel de sustrato, pues se sintetiza durante el catabolismo del compuesto fermentado (1).

FERMENTACIONES LÁCTICAS

Las lactobacterias llevan a cabo este tipo de fermentación ausencia de aire o en presencia de concentraciones reducidas de oxígeno. El ambiente natural de lactobacterias es la leche y los lugares donde es procesada (*Lactobacillus delbrueckii* var.

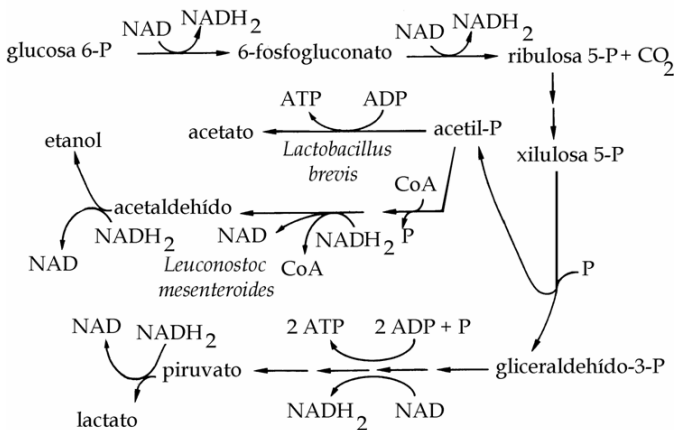


Figura 3.5. Fermentación heteroláctica (2)

bulgaricus, *Lactococcus lactis*), la superficie de las plantas intactas o podridas (*Lactobacillus plantarum*, *L. delbrueckii*, *Leuconostoc mesenteroides*), así como el tracto intestinal y las mucosas de los animales (*Lactobacillus acidophilus*, *Enterococcus faecalis*). Por tal motivo suele encontrarse cultivos puros naturales, como en algunos productos lácteos o material ensilado (2).

Las bacterias homofermentativas (por ejemplo *Lactobacillus casei*) producen lactato puro o casi puro, metabolizando la glucosa por vía de la fructosa-difosfato y reduciendo el piruvato a lactato. Según las especies se forma D(-), L(+) o DL-lactato. Las bacterias heterofermentativas (*Lactobacillus brevis*) degradan la glucosa al comienzo por la vía de las pentosas y luego transforman el acetil-fosfato en etanol o acetato y el piruvato en lactato (1).

Las lactobacterias son imprescindibles en la industria lechera como productores de ácido, en la coagulación de la caseína para ciertos quesos, y aroma por la formación de diacetilo, en algunas especies. También se emplean lactobacterias en la producción de salames pues la acidificación contribuye a la conservación de estos embutidos, junto a la formación de bacteriocinas (10).

FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Las levaduras, por ejemplo *Saccharomyces cerevisiae*, forman etanol vía la fructosa-difosfato y descarboxilación del piruvato. El rendimiento energético es 2 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa fermentada. La bacteria *Zymomonas mobilis* metaboliza la glucosa por

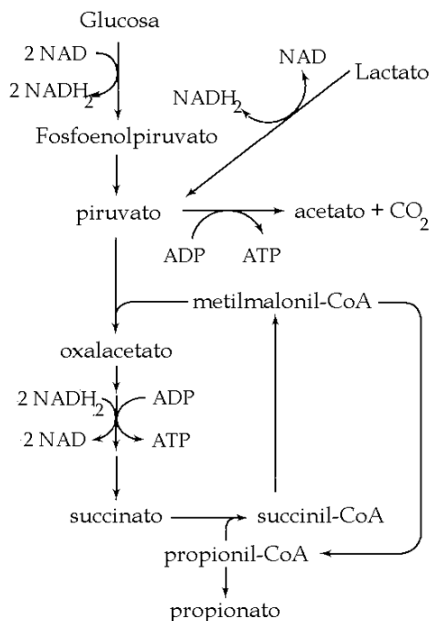


Figura 3.6. Fermentación propiónica (1)

la ruta del ceto-desoxi-fosfogluconato y descompone el piruvato en CO_2 y acetaldehído, que luego es reducido a etanol (1). Mientras las enzimas de la fermentación son constitutivas en la levadura y se encuentran en el citoplasma, las de la respiración son inducibles (21). La fermentación con especies de *Saccharomyces* y *Zymomonas* se emplea para la producción de bebidas alcohólicas y etanol industrial (1).

FERMENTACIONES PROPIÓNICAS

La formación de propionato, por las especies de *Propionibacterium* es utilizada en la maduración de quesos tipo suizo. El piruvato proveniente de la ruta de la fructosa-difosfato o el lactato resultante de otras fermentaciones son reducidos mediante la vía de la metilmalonil-CoA (12). La producción de propionato debida a *Clostridium propionicum* y *Bacteroides ruminicola* ocurre por una ruta más simple, donde la lactil-CoA se reduce a propionil-CoA. Estas bacterias habitan el rumen y el intestino del ganado (1).

FERMENTACIONES FÓRMICAS

La fermentación ácido-mixta es llevada a cabo por *Escherichia coli* (bacteria facultativa del intestino) y otras patógenas de animales, por ejemplo *Salmonella* spp., excretando ácidos orgánicos y el pH desciende a 4,2, punto en el que la solución de rojo de metilo tiene color rojo. Se investiga la

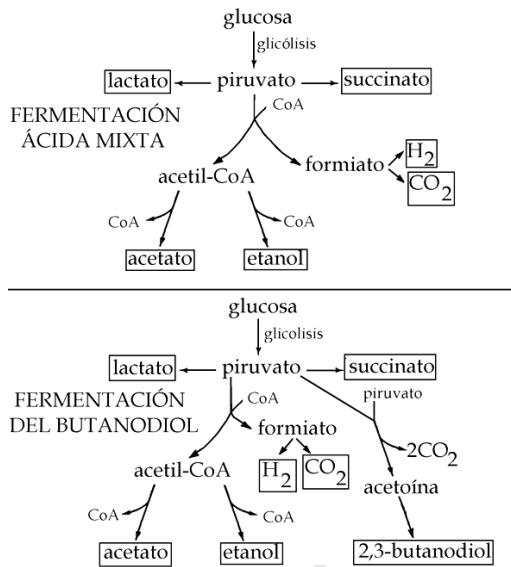


Figura 3.7. Fermentaciones fórmicas (2)

presencia de los organismos con características semejantes a *E. coli* (coliformes) como indicadores de la contaminación fecal del agua.

La fermentación butanodiólica es llevada a cabo por bacterias que se encuentran en el agua y el suelo (por ejemplo *Enterobacter aerogenes*, *Bacillus cereus* y la fitopatógena *Erwinia*) con la formación 2,3-butanodiol como producto principal. La acetoína es un intermediario que da positiva la reacción de Voges-Proskauer con α -naftol y creatina en medio alcalino, útil para detectar algunos organismos con este tipo de fermentación (2).

FERMENTACIÓN BUTÍRICO-BUTANÓLICA

La fermentación butírico-butanólica de los clostridios comienza por la conversión de los azúcares en piruvato a través de la vía de la fructosa-difosfato. El piruvato es descarboxilado dando acetil-CoA y la transformación de este último origina varios productos (12). En las primeras fases predominan los ácidos butírico y acético pero luego, al bajar el pH del medio comienzan a acumularse acetona y butanol que son neutros (1).

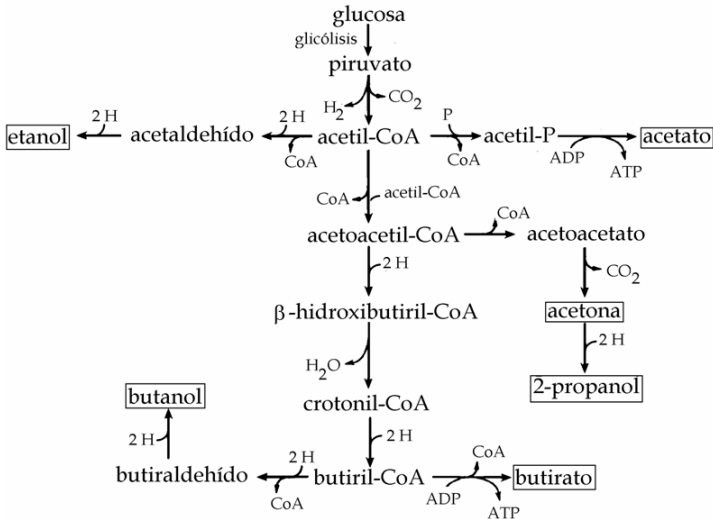


Figura 3.8. Fermentación por clostridios butíricos (2)

FERMENTACIONES ACÉTICAS

Algunos clostridios, como *C. thermoaceticum*, fermentan la glucosa por la vía de la fructosa-difosfato. Luego generan acetato por descarboxilación del piruvato. La conversión del CO_2 e hidrógeno en acetato es llevada a cabo por varios organismos, tales como *Acetobacterium woodii* y *Clostridium aceticum* (1).

FERMENTACIÓN DE AMINOÁCIDOS Y PURINAS

Varios clostridios obtienen energía fermentando aminoácidos, por ejemplo *C. sporogenes*, con producción de acetato, amonio e hidrógeno. Algunos fermentan pares de aminoácidos, donde uno actúa como dador de electrones y es oxidado, y el otro como aceptor de electrones y es reducido, en un proceso conocido como reacción de Stickland. También hay clostridios que fermentan adenina o xantina, dando acetato, formato, CO_2 y amonio (1).

HIDROGENOSOMA

Los protozoos anaeróbicos con metabolismo estrictamente fermentativo carecen de mitocondrias y contienen hidrogenosomas donde el piruvato proveniente de la glicólisis es oxidado con producción de acetato, CO_2 e H_2 y la ganancia adicional de ATP. El hidrógeno es aprovechado por los metanógenos intracelulares (1).

También hay hongos anaeróbicos como *Neocallimastix*, *Orpinomyces* y *Piromyces* que contienen hidrogenosomas (11). Las esporas de *Neocallimastix* tienen un número inusual de flagelos pero son inmóviles cuando se enquistan y luego al germinar, adheridos al material vegetal al que penetran mediante rizoides. Degradan celulosa, xilanos, pectinas y almidón dando acetato, formato, lactato, CO_2 e H_2 (53). Éste es aprovechado por los metanógenos asociados a la superficie del hongo.

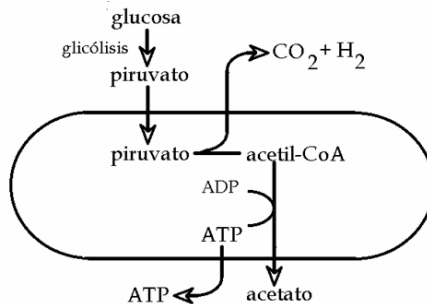


Figura 3.9. Hidrogenosoma (1)

RESPIRACIÓN ANAERÓBICA

Es una variación de la respiración en la que los aceptores de electrones utilizados son diferentes al oxígeno, e incluyen nitrato, ión férrico, sulfato, carbonato y ciertos compuestos orgánicos. Los productos de la respiración anaeróbica son fácilmente detectados por las burbujas de N_2 , NO_2 y CH_4 (inflamable), el olor de H_2S o la formación de óxido de hierro diamagnético (69).

DESNITRIFICACIÓN

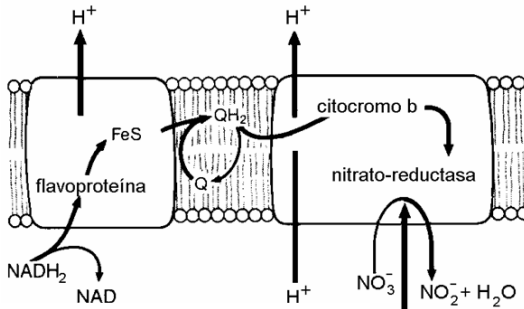


Figura 3.10. Transporte de electrones en la respiración anaeróbica (1)

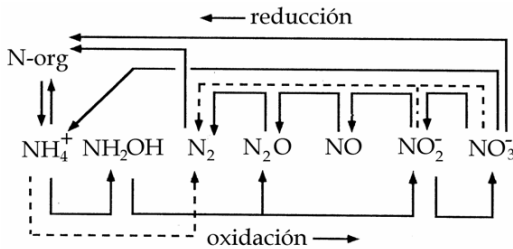


Figura 3.11. Ciclo del nitrógeno (69)

La desnitrificación en la reducción anaeróbica del nitrato a compuestos volátiles (N_2 , N_2O , NO). Es producida por bacterias que respiran y solamente pueden crecer anaeróbicamente en presencia de nitrato, por ejemplo *Pseudomonas stutzeri* y *Paracoccus denitrificans*. Ocurre con frecuencia en ambientes anaerobios (6). Algunos hongos, por ejemplo *Fusarium oxysporum*,

pueden utilizar nitratos o nitritos como aceptores terminales de electrones en la respiración anaeróbica (53).

Microorganismos desnitrificantes

Inocular, sin agitar, unos gránulos de suelo u otro material en los tubos de los medios estériles e incubar una semana a 30°C. Si se ha reducido el nitrato hasta el estado de nitrógeno molecular u óxido de nitrógeno quedarán retenidos en las campanitas inmersas en los tubos. Detectar la formación de nitritos agregando 0,5 mL del reactivo de Griess A y 0,5 mL del B a cada tubo, aparecerá un color rosado..

El medio mineral contiene: nitrato de potasio 20 g, fosfato dipotásico 500 mg, sulfato de magnesio 200 mg, acetato de sodio 10 g, agua corriente 1 L, pH 7.

El medio complejo contiene extracto de carne 1 g, peptona 5 g, extracto de levadura 2 g, cloruro de sodio 15 g, nitrato de potasio 10 g, agua 1 L, pH 7 (74).

REDUCCIÓN A NITRITOS

Algunas bacterias facultativas como *Enterobacter* y *Escherichia*, pueden respirar reduciendo el nitrato a nitrito, que se acumula en el ambiente, pero no producen N_2 . Luego reducen el nitrito a amonio por la vía asimilatoria, si hay deficiencia de NH_4^+ en el medio (10).

REDUCCIÓN DE SULFATOS

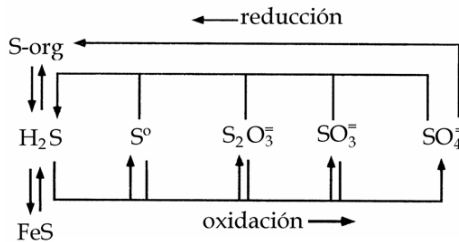


Figura 3.12. Ciclo del azufre (69)

Es la transferencia de nitrógeno al sustrato aceptor terminal de electrones en la respiración anaeróbica, reduciéndolo a H_2S . Este proceso, llamado también reducción desasimilatoria de sulfatos, es cumplido por bacterias anaeróbicas obligadas tales como *Desulfovibrio* y *Desulfotomaculum*. Los donantes de hidrógeno son lactato, acetato, etanol y otros.

Los microorganismos reductores de sulfato son responsables de la precipitación de Fe^{++} y otros cationes metálicos en aguas polutas, y la corrosión de metales enterrados. *Desulfuromonas* puede reducir el azufre elemental a H_2S . Por otra parte, casi todas las bacterias, así como los hongos pueden reducir sulfatos para sintetizar aminoácidos azufrados por la vía de la reducción asimilatoria de sulfatos (69).

Bacterias reductoras de sulfato

Sembrar, sin agitar, unos gránulos de suelo u otro material en el tubo de medio estéril y adicionar 0,5 mL de solución de sulfato ferroso amónico al 1% en agua estéril. Cubrir con agar al 1,5% fundido o vaselina estéril. Incubar tres o cuatro semanas a temperatura ambiente. Un color negro indica la formación de sulfuro de hierro.

El medio de cultivo contiene fosfato dipotásico 0,5 g, cloruro de amonio 1 g, sulfato de calcio 1 g, sulfato de magnesio 2 g, lactato de sodio (al 60% p/v) 6 mL, extracto de levadura 1 g, tioglicolato de sodio 1 g, agua corriente 1 L, pH 7,2-7,6. Colocar 10-15 mL en cada tubo (74).

REDUCCIÓN DE OTROS COMPUESTOS

Algunos compuestos orgánicos pueden participar como aceptores de electrones externos en la respiración anaeróbica, tal es el caso de la reducción de fumarato a succinato por *Wolinella succinogenes*.

El ión férrico es un aceptor de electrones para varios organismos quimiolitotróficos y quimioorganotróficos, como *Geobacter* y *Shewanella putrefaciens*. Esta última puede reducir también Mn^{4+} a Mn^{++} cuando crece a expensas de acetato y otras fuentes carbonadas no fermentables.

Otras bacterias suelen reducir selenato a selenito y aún a selenio elemental (82). *Desulfotomaculum* es capaz de reducir arsenato a arsenito simultáneamente con la reducción de sulfato a sulfuro, conduciendo a la precipitación de sulfuro de arsénico, siendo esta reacción un ejemplo de biomineralización (1).

BACTERIAS AUTOTRÓFICAS

Usan CO_2 como fuente de carbono a través del ciclo de la ribulosa-difosfato o de Calvin, excepto las bacterias acetogénicas y metanogénicas. Obtienen energía y moléculas reductoras

usando iones amonio, nitrito, sulfuro, tiosulfato, sulfito o ferroso, así como azufre elemental, hidrógeno o monóxido de carbono. Tienen los componentes del transporte electrones y la fuerza motriz de protones como los heterótrofos (10).

NITRIFICACIÓN

En el curso de la degradación de sustancias nitrogenadas se libera amonio. La conversión del amonio a nitrito es llevada a cabo por las bacterias nitrificantes del suelo (*Nitrosolobus*, *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio*) y el agua (*Nitrosococcus*).

Bacterias nitrificantes

Sembrar unos gránulos de suelo u otro material en un tubo con medio estéril para oxidantes de amonio y dos con el medio estéril para oxidantes de nitrito, e incubar a 25-27°C durante dos semanas.

Investigar la formación de nitritos mediante el reactivo de Griess en el tubo para oxidantes de amonio y en uno de los tubos para oxidantes de nitrito. Si en este último la reacción da negativo los microorganismos han oxidado todos nitritos a nitratos. Agregar al tercer tubo unos 50 mg de urea y 10 gotas de ácido sulfúrico, calentar para eliminar los nitritos si los hubiere y luego añadir 1 mL de reactivo difenilamina por las paredes y en la zona de contacto aparecerá un color azul.

El reactivo difenilamina contiene difenilamina 1 g, agua destilada 20 mL, ácido sulfúrico 100 mL y se coloca en frasco obscuro.

El medio de cultivo para oxidantes de amonio contiene: sulfato de amonio 1 g, fosfato dipotásico 0,5 g, cloruro de sodio 2 g, sulfato de magnesio 200 mg, sulfato ferroso 50 g, carbonato de calcio 6 g, agua corriente 1 L. Se distribuye en tubos de 30 mm de diámetro.

El medio para oxidantes de nitrito contiene nitrito de sodio 1 g, en lugar del sulfato de amonio (74).

No hay bacterias que conviertan directamente el amonio en nitrato y el nitrito es oxidado a nitrato por las bacterias nitrificantes del suelo (*Nitrobacter*) y el mar (*Nitrococcus*, *Nitrospina*, *Nitrospira*). Estas bacterias son quimiolitotróficas obligadas, aunque algunas cepas son capaces de asimilar acetato o piruvato. El proceso de nitrificación ocurre entre pH 7 y 8. Mientras que *Nitrobacter* y otros organismos son aerobios estrictos, la bacteria autotrófica *Brocadia* puede oxidar nitritos en condiciones anoxigénicas (1).

Los iones amonio son oxidados rápidamente y el nitrato es fácilmente arrastrado por el agua acumulándose en las capas

freáticas (10). Una concentración de nitrato mayor que 50 mg por litro de agua potable puede afectar la salud, pues las bacterias del intestino lo reducen y el nitrito pasa a la sangre uniéndose irreversiblemente a la hemoglobina (87).

SULFO-OXIDACIÓN

Los *Thiobacillus* son unas bacterias capaces de obtener energía por la oxidación de compuestos de azufre (sulfuro, azufre, tiosulfato) hasta sulfatos. La mayoría son autotróficos y dependen de la fijación de CO₂ como *T. thiooxidans*, *T. denitrificans* (1). Entre los heterotróficos se encuentran por ejemplo *T. novellus* y *Sulfolobus acidocaldarius*. Éste último es una arqueobacteria termófila de las aguas termales azufradas. *T. thiooxidans* es un organismo aerobico que produce ácido sulfúrico y tolera una solución 1 N del mismo.

T. denitrificans puede reducir nitratos anaeróbicamente pero no lleva a cabo una reducción asimilatoria y necesita la presencia de sales de amonio en el medio (80). La bacteria filamentosa *Beggiatoa* y la fototrófica *Chromatium* pueden oxidar sulfuros a azufre elemental que se acumula en la célula (1).

Bacterias sulfo-oxidantes

Sembrar unos gránulos de suelo u otro material en un tubo de medio estéril e incubar a 25-27°C durante dos a tres semanas. Después acidificar con dos gotas de ácido clorhídrico concentrado y añadir 5 gotas de solución acuosa de cloruro de bario al 5% aparecerá de una opalescencia blanca de sulfato de bario.

El medio de cultivo contiene cloruro de amonio 100 mg, fosfato dipotásico 3 g, cloruro de magnesio 100 mg, cloruro de calcio 100 mg, tiosulfato de sodio 5 g, agua 1 L, pH 4,2 (74).

OTRAS OXIDACIONES

Las bacterias *Gallionella*, *Leptothrix*, *Thiobacillus ferrooxidans*, y también la arqueobacteria acidófila *Ferroplasma*, oxidan los iones ferrosos a férricos que precipitan en el agua como hidróxido férrico. *Gallionella* excreta un mucus que se impregna de hidróxido férrico formando una especie de pedúnculo.

La vaina de la bacteria filamentosa *Leptothrix* está recubierta de sales férricas u óxido de manganeso, pues puede oxidar Mn⁺⁺ a MnO₂ (1).

METANOGENÉISIS

El ecosistema donde ocurre la metanogénesis comprende pantanos, arrozales, sedimentos de lagos, estanques y estuarios, digestores de aguas residuales, el rumen y el intestino. En tales ambientes anaeróbicos los sustratos orgánicos son fermentados por diversos microorganismos a acetato, CO_2 e H_2 . Estos productos son utilizados por las arqueobacterias formadoras de metano por ejemplo *Methanomicrobium* y *Methanobrevibacter* que se encuentran en el rumen. Como el CO_2 es usado como un aceptor de hidrógeno durante la generación de energía, el proceso se suele llamar respiración del carbonato. Estas arqueobacterias son autotróficas y fijan CO_2 por la vía acetyl-CoA y piruvato para la síntesis del material celular, la mayoría son mesófilas aunque hay algunas termófilas (1).

BIODEGRADACIÓN

La mayor parte de la biomasa residual es descompuesta aeróbicamente por organismos pro y eucarióticos, con predominio de estos últimos, aunque también participan los invertebrados tales como gusanos, moluscos, insectos y sus larvas. Las enzimas extracelulares por lo común degradan los polímeros a moléculas asimilables.

Por otra parte, los microbios intervienen en los procesos degradativos del tracto digestivo animal transformando anaeróbicamente las sustancias fibrosas, tales como la celulosa, que constituyen una parte importante de la biomasa vegetal. Otros ecosistemas anóxicos habitados por microorganismos son los suelos inundados, silos, vertederos, ciénagas y sedimentos de aguas estancadas (46).

Los carbohidratos son los productos predominantes de la fotosíntesis vegetal y los principales nutrientes de la mayoría de los microorganismos en los ambientes naturales. Constituyen el 5 al 25% de la materia orgánica del suelo. Los restos vegetales proporcionan azúcares simples, hemicelulosas y celulosa, los que son descompuestos en distinto grado por bacterias, actinobacterias y hongos. Estos organismos a su vez sintetizan sus