



**PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
UNIDAD DE DESARROLLO MUNICIPAL**



***ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD***

OPS/HEP/HES/URU/02.99

MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOST BASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS

El presente documento no es una publicación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), sin embargo, todos sus derechos le están reservados. El documento puede ser utilizado para reproducción o traducción, parcialmente o en su totalidad, no obstante, no puede ser utilizado para la venta ni con propósitos comerciales. Las opiniones expresados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Manual preparado por:

Ing. Daniel Sztern, MGA

Lic. Miguel A. Pravia

Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Unidad de Desarrollo Municipal

ANEXO 1

EL ABC DE LA MICROBIOLOGIA: UNA HERRAMIENTA PARA COMPOSTAR

- **Introducción**

Las superficies de los continentes hasta un metro de profundidad aproximadamente, los océanos, mares, lagos y ríos y la parte inferior de la atmósfera son las regiones del planeta donde hay vida y se conocen con la denominación general de *Biósfera*.

La actividad de esta delgada capa de vida ha afectado profundamente la estructura y composición de las capas superficiales de la Tierra. Los seres vivos que integran la biósfera son los agentes más influyentes en los cambios geoquímicos.

El mantenimiento de la vida con cierto grado de equilibrio, depende de dos factores: *el recambio cíclico de los elementos* indispensables para la vida fundamentalmente, carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre y el aporte constante de la *energía solar*.

A través del proceso fotosintético y la energía solar, los productores primarios, extraen elementos del medio ambiente en forma de compuestos inorgánicos y biosintetizan compuestos orgánicos que son incorporados en células y tejidos. Estos materiales orgánicos acumulados representan de forma directa o indirecta la fuente de energía para otros integrantes de las redes tróficas. Antes de que estos elementos puedan ser utilizados nuevamente como alimento para los organismos fotosintéticos deben volver a su estado inorgánico.

Esta conversión del estado orgánico al estado inorgánico es conocida como *Mineralización* y se debe en gran parte a la descomposición de los restos vegetales y animales, así como de los productos orgánicos de la excreción de animales. Los principales agentes de la mineralización son las bacterias no fotosintéticas y los hongos. Este grupo de microorganismos se le denomina genéricamente *Descomponedores*. Se estima que el 90% aproximadamente del CO₂ que se produce en la biosfera se debe a la actividad metabólica de este grupo.

La gran importancia de los microorganismos en el proceso de mineralización es el resultado de tres factores: su *omnipresencia en la biosfera*, consecuencia de la facilidad de propagación de los organismos; su *elevada velocidad metabólica y de crecimiento* y la *gran diversidad fisiológica* que les confiere una capacidad colectiva para degradar todos los compuestos orgánicos naturales que se pongan a su alcance. Se estima, que en una capa de 15 cm. de profundidad de suelo fértil puede presentar una biomasa de más de 4 Ton. de bacterias y hongos por hectárea.

La eficiencia con la que los microorganismos realizan las transformaciones químicas, se debe a su gran poder catalítico. Como consecuencia de su pequeño tamaño bacterias y hongos presentan una relación superficie/volumen muy elevada en comparación con

organismos superiores, los que les permite un rápido intercambio de sustratos y productos de desechos entre estos y el medio.

La intensidad respiratoria de un gramo de algunos grupos de bacterias, es ciento de veces superior a la del hombre. El potencial metabólico de los 15 cm. de suelo fértil mencionados con anterioridad, puede ser en un momento dado equivalente a varias decenas de millares de seres humanos.

Su gran capacidad reproductiva, cuando las condiciones del ambiente son favorables, hace posible que el potencial metabólico de la progenie de una sola bacteria con un tiempo de multiplicación de 20 minutos pueda aumentar hasta más de 1000 veces al cabo de las tres horas.

Todas las sustancias orgánicas naturales, son descompuestas por algún microorganismo, lo que explica la ausencia de materia orgánica inalterada en la biosfera, cuando se mantiene el equilibrio entre la velocidad de emisión de esta y la capacidad de transformación de los descomponedores. Cuando un compuesto orgánico deja de formar parte de un organismo vivo, rápidamente es mineralizado por los microorganismos.

Cualquier especie bacteriana en si misma, es un agente limitado de mineralización, la gran versatilidad metabólica es consecuencia de la acción conjunta de una gran diversidad de grupos fisiológicos. Existen grupos de microorganismos muy especializados, que cumplen un papel relevante en la mineralización de restos orgánicos específicos. Tal es el caso del grupo *Cytophaga*, bacterias aeróbicas deslizantes, que pueden degradar rápidamente la celulosa, el componente más abundante en los tejidos vegetales, siendo esta la única sustancia que pueden utilizar como fuente de carbono.

Consideremos resumidamente, que es lo que ocurre en el suelo cuando una pequeña muestra de material orgánico de origen animal o vegetal es degradado. Los compuestos orgánicos, son rápidamente atacados por los microorganismos que digieren y oxidan gran parte de estos compuestos en presencia de oxígeno. Conforme el oxígeno se consume en la proximidad del material orgánico en descomposición, el microambiente se hace anaeróbico, condición que favorece el desarrollo de microorganismos fermentadores.

Los productos de la fermentación, difunden a regiones donde aún hay oxígeno o pueden ser oxidados anaerobicamente. Cuando la casi totalidad del compuesto orgánico se haya convertido en CO₂, las condiciones se harán nuevamente aeróbicas y se desarrollarán a expensas de los productos de esta mineralización organismos autótrofos.

Esta sucesión de procesos que hemos esquematizado a escala microscópica se observa a escala macroscópica en la naturaleza. Cuando un cúmulo de residuos orgánicos sobre el suelo se descompone, el resultado es esencialmente el mismo. Las condiciones climáticas y estacionales pueden retardar o acelerar el ciclo de recambio de la materia.

En el suelo, no todos los restos orgánicos se mineralizan a la misma velocidad. Experiencias realizadas por Kononova y Aliev (1975 y 1980) han permitido medir el grado de mineralización de la materia orgánica. Considerando el balance material,

aproximadamente el 75% de la materia orgánica se mineraliza por completo; el 25% restante, que no se mineraliza, se transforma en humus.

El *Humus*, se puede definir como sustancia orgánica de composición compleja, muy estable, resultante de la acción final de los microorganismos sobre los restos orgánicos. Su estabilidad no es absoluta, en climas templados, un 2% del mismo se mineraliza anualmente. Puede formar complejos con los minerales de arcilla "complejos arcillo - húmicos", de gran estabilidad y que forman la base de la fertilidad duradera del suelo.

La *humificación*, se define como el conjunto de procesos de síntesis que terminan en la formación de compuestos húmicos coloidales de neoformación, a expensas de los productos más o menos solubles resultantes de la descomposición de la materia orgánica fresca. Los factores biológicos formadores de humus son: la actividad microbológica y la actividad animal (lombrices y artrópodos), que condicionan la división mecánica de los restos orgánicos, su incorporación a la materia mineral y la formación de complejos órganos minerales.

La evolución energética que se verifica sucesivamente en este proceso, demuestra que la fracción mineralizada cede todo su contenido energético; la parte humificada, en cambio, crea una acumulación energética típicamente opuesta al potencial termodinámico. En efecto, el contenido calórico de la masa vegetal sometida a degradación es de 4.000 calorías/gramo; el 25% de esta masa, que no llega a degradarse, sino que se humifica, posee un contenido calórico de 4.700 calorías gramo; así pues, existe una potencialización energética y una neta recuperación del potencial termodinámico originario. Reportando el cálculo a 1.000 gramos de masa orgánica inicial, los 250 gramos humificados poseen un contenido calórico total de 1.175.000 calorías, que representan el 29,3% de los 4.000.000 de calorías existentes inicialmente.

En la degradación de la materia orgánica, una cuarta parte de la misma queda excluida de la mineralización, mientras que de su potencial solo se excluye un tercio. El aspecto energético del fenómeno tiene una gran importancia a efectos de comprender el cometido del abono orgánico. Se pone de manifiesto, efectivamente, que el abonado orgánico no solamente suministra al suelo elementos nutritivos, sino también, y sobre todo, proporciona al aparato de las síntesis químicas determinadas formas de energía, directamente disponible por el condicionante termodinámico de la función nutritiva de las plantas a nivel del sistema radicular.

Dependiendo de las condiciones climatológicas, características del suelo y del tipo de residuos orgánicos se pueden generar diferentes tipos de humus que en términos generales se tipifican de la siguiente manera:

Humus mull: se forma cuando la degradación de la materia orgánica se da en suelos ricos en Calcio, con un pH mayor que 5,5 con buena aireación y alta actividad microbológica. Este tipo de humus, produce grumos estables, dando al suelo buena estructura y resistencia a la erosión.

Humus moder: se genera cuando la descomposición de los residuos orgánicos se produce en suelos con un pH entre 4 a 5,5 y en donde la actividad microbológica es intermitente

por cambios térmicos bruscos o reducida por bajas temperaturas. Si bien este tipo de humus no presenta las propiedades del mull, beneficia al suelo.

Humus mor: se genera en suelo ácidos con pH inferior a 4, compactados o encharcados con mala aireación o en climas muy fríos con escasa actividad microbiológica.

Una de las sustancias que caracterizan este tipo de humus son los ácidos fúlvicos, pobres en Nitrógeno, solubles en agua y que forman complejos con el Calcio, Hierro y Magnesio que son fácilmente arrastrados por las lluvias.

CICLO DE LA MATERIA EN LA NATURALEZA

- **Ciclos del Carbono y del Oxígeno**

La *fotosíntesis* es la fuerza motora del recambio cíclico de los elementos de importancia para la vida. Por este proceso, las formas oxidadas del carbono (dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato) se reducen para formar compuestos orgánicos con liberación de oxígeno molecular por oxidación del agua.

La oxidación posterior de estos compuestos orgánicos sintetizados por los productores primarios esta acoplada directa o indirectamente con la reducción de oxígeno molecular a agua durante los procesos *respiración*, que es llevada a cabo en parte por los productores primarios y mayoritariamente por los consumidores y por los procesos de *combustión*. No obstante, son los descomponedores (bacteria y hongos, fundamentalmente) quienes oxidan la mayor parte de la materia orgánica.

El dióxido de carbono (CO₂) es la forma asequible de carbono para la fotosíntesis. El aire contiene aproximadamente un 0,03 % de CO₂ en volumen. Esta concentración se mantiene relativamente constante debido al equilibrio dinámico *fotosíntesis - mineralización*.

Parte del carbono disponible en la biósfera retarda su recambio cíclico cuando se inmoviliza en *depósitos inorgánicos*, precipitando como carbonato de calcio en los océanos en condiciones débilmente alcalinas o se deposita biológicamente en las conchas de protozoos, corales y moluscos. De esta forma se han formado las calizas (rocas calcáreas). Si bien este carbono inmovilizado no es asequible para la fotosíntesis, parte de este entra nuevamente al ciclo por acción de los microorganismos que solubilizan estos depósitos al producir ácido carbónico y otros ácidos durante los procesos de fermentación, oxidación del azufre y nitrificación. Otros procesos microbiológicos alcalinizan el medio y favorecen el depósito de carbonato de calcio, por ejemplo, la reducción de sulfato y la desnitrificación.

Otro retardo del ciclo del carbono se produce por la inmovilización en *depósitos orgánicos*, tal es el caso de la formación de humus, carbón, turba, petróleo y gas natural.

- **Ciclo Del Nitrógeno**

A pesar de que el nitrógeno molecular es uno de los componentes mayoritarios en volumen en la atmósfera, su molécula es muy inerte químicamente y no es una fuente adecuada de

este elemento para la gran mayoría de los seres vivos. Todos los seres vivos, dependen nutricionalmente del nitrógeno combinado.

Las formas combinadas de este elemento, amoníaco, nitrato y compuestos orgánicos son frecuentemente escasas en el suelo y agua y su disponibilidad es un factor limitante para la vida.

- **Asimilación Fotosintética**

Las algas y plantas asimilan el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-) o de amoníaco (NH_3). Si se asimila en forma de nitrato debe ser reducido en la célula a amoníaco. En esta reducción no hay excreción significativa de compuestos reducidos de nitrógeno.

La asimilación y reducción de nitrato no excede a las necesidades de este elemento para el crecimiento. Esta es la principal diferencia entre la asimilación de nitrato de la reducción de nitrato en la respiración anaeróbica. El nitrato o el amoníaco pasa a formar parte de la materia viva como nitrógeno orgánico, por ejemplo, como grupos NH_2 de los aminoácidos. Los compuestos orgánicos del nitrógeno sintetizados por los productores primarios son utilizados como fuente de nitrógeno por todos consumidores. A diferencia de plantas y algas, los animales excretan durante su metabolismo gran cantidad de compuestos nitrogenados. Los invertebrados excretan predominantemente amoníaco y los vertebrados, reptiles y aves, principalmente ácido úrico. Los mamíferos fundamentalmente urea.

- **Amonificación**

Cuando una planta o un animal muere, se libera el nitrógeno orgánico almacenado en sus tejidos que es atacado inmediatamente por microorganismos, descomponiendo estos compuestos con liberación de amoníaco, parte del nitrógeno pasa a formar parte de la biomasa de los microorganismos. Cuando estos microorganismos mueren, el nitrógeno orgánico se libera como amoníaco. El amoníaco, es el compuesto más rico en nitrógeno, contiene aproximadamente un 82% en peso de nitrógeno.

La primera etapa de proceso de *amonificación* consiste en la *hidrólisis* de las proteínas y ácidos nucleicos con liberación de aminoácidos y bases orgánicas nitrogenadas. Estos compuestos más sencillos, son descompuestos entonces por fermentación o respiración. En general la descomposición anaeróbica de las proteínas (putrefacción), característica de las bacterias esporulantes anaerobias (g. *Clostridium*) no libera todo el nitrógeno orgánico como amoníaco.

Parte de los aminoácidos dan lugar a *aminas* que en presencia de aire se oxidan a amoníaco proceso en el que intervienen esporulantes aeróbicos (g. *Bacillus*)

- **Nitrificación**

La *nitrificación* es el proceso de conversión del amoníaco en nitrato. Es llevado a cabo en la Naturaleza por dos grupos de bacterias aerobias quimioautotrofas obligadas, conocidas como *bacterias nitrificantes*. Se separan en dos grupos fisiológicos: Las que oxidan amoníaco a nitrito (NO_2^-). Entre estas, la más abundante en el suelo es *Nitrosomona*. (también se han aislado en el suelo y en el agua, *Nitrosocystis* y *Nitrosouva*). Las que

oxidan nitritos (NO_2^-) a nitratos (NO_3^-). La forma más común en el suelo es *Nitrobacter*, en medios marinos, *Nitrococcus*.

- **Denitrificación**

La *denitrificación* es el proceso de conversión de nitratos-nitritos a nitrógeno molecular (N_2) que pasa a la atmósfera. Cuando se descompone la materia orgánica en el suelo como consecuencia de la respiración bacteriana el ambiente se hace anaeróbico y el nitrato existente tiende a disminuir por desnitrificación.

La denitrificación es llevada a cabo por microorganismos que realizan respiración anaeróbica (*Pseudomonas* y *Bacillus*) y utilizan el nitrato como aceptor final de electrones reduciéndolo hasta nitrógeno molecular.

- **Fijación de Nitrógeno**

Si el nitrógeno molecular fuera absolutamente inerte, la denitrificación eliminaría de la biosfera el nitrógeno necesario para la vida. Algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno molecular con lo que son compensadas las pérdidas por denitrificación.

Existen dos mecanismos de fijación del nitrógeno. La *fijación simbiótica*, consecuencia de la asociación íntima entre una bacteria y una planta, donde aisladamente ninguno de los participantes de esta simbiosis es capaz de fijar nitrógeno molecular. Un ejemplo conocido es de las leguminosas con el género *Rhizobium*. La fijación no simbiótica, es realizada fundamentalmente por las algas verdeazuladas de los géneros *Anabaena* y *Nostoc* y por las bacterias aerobias estrictas de los géneros *Azotobacter* y *Beijerinckia*.

- **Ciclo del Azufre**

El azufre es un componente esencial de los seres vivos. En la biosfera es asequible para la vida, primordialmente en forma de sulfato soluble. También se presenta en la biosfera azufre reducido bajo la forma de dihidruro de azufre (SH_2) (conocido como ac. Sulfídrico) producto de la actividad microbiológica, actividades volcánicas y actividades industriales.

- **Asimilación del Sulfato**

El sulfato (SO_4^{--}) es utilizado universalmente como nutriente por los productores primarios y microorganismos. En la materia orgánica viva se presenta en estado reducido como grupos $-\text{SH}$ o $-\text{S}-\text{S}-$. Sólo se asimila la cantidad necesaria para el crecimiento sin eliminación al medio de productos reducidos.

- **Formación SH_2 –Reducción de Sulfatos**

Cuando una planta o un animal o microorganismo muere, los compuestos orgánicos del azufre se mineralizan y el azufre se libera en su forma inorgánica reducida SH_2 . Este producto se forma como consecuencia de procesos de respiración anaeróbica, restringida a un pequeño grupo de microorganismos conocido como *bacterias reductoras de sulfatos* (g. *Desulfovibrio* y algunos miembros del g. *Clostridium*). La actividad de las

bacterias reductoras de sulfatos es manifiesta en los sedimentos anaerobios de estanques, lagunas, arroyos, plantas de tratamiento de efluentes líquidos con alta carga orgánica. Cuando la acumulación de materia orgánica da lugar a una reducción masiva de sulfatos la concentración de SH_2 llega a niveles de toxicidad.

- **Oxidación SH_2 y del Azufre**

La oxidación del SH_2 y el azufre elemental a sulfatos se realiza en aerobiosis por acción de las bacterias quimioautótrofas incoloras del azufre (g. *Thiobacillus*), o en anaerobiosis por bacterias fotosintéticas verdes (g. *Chlorobium*) y purpúreas (g. *Ectothiorhopira*).

Como estas oxidaciones dan lugar a la formación de iones hidrógeno, producen la acidificación del medio.

- **Ciclo del Fósforo**

Los organismos vivos asimilan el fósforo en forma inorgánica como fosfato (PO_4^{--}), en la célula es incorporado a los compuestos orgánicos por esterificación del ion fosfato. Cuando una planta o un animal muere, el fósforo se libera por hidrólisis como fosfato inorgánico. En este ciclo el átomo de fósforo no cambia de valencia y forma parte siempre de un grupo fosfato. El fósforo en muchos medios, es un factor limitante del crecimiento, la razón de esta limitación es puramente física, debido a su escasez relativa en la biosfera.

EL MUNDO MICROBIANO

El número más importante y de mayor diversidad de seres vivos en la biosfera pasa inadvertido a nuestra vista. El ojo humano, no puede percibir un objeto con un diámetro inferior a 0,1 mm (100 micrones) y difícilmente pueda distinguir los detalles de un objeto con un diámetro de 1 mm. A estos seres vivos de tan pequeñas dimensiones se les denominan *microorganismos* o *microbios*. Este término no tiene validez taxonómica e incluye algunos animales metazoarios, protozoarios, numerosas algas, hongos, bacterias y virus. La ciencia que estudia estos seres vivos es la *Microbiología*.

El descubrimiento del mundo microbiano se debe a la invención del microscopio por el holandés Antony van Leeuwenhoek (1632-1723). A los inicios del estudio de los microorganismos, los mismos fueron distribuidos entre el *reino vegetal* y el *reino animal* que era la división del mundo viviente aceptada. Con el desarrollo de los conocimientos, se puso de manifiesto que esta sencilla clasificación era insuficiente, ya que muchos microorganismos no compartían totalmente los atributos de animales y vegetales. En 1866 E. H. Haeckel (discípulo de Darwin) propuso la creación de un tercer reino, *el reino de los protistas* que incluía, algas, protozoarios, hongos y bacterias, que son organismos en su mayoría unicelulares o cenocíticos o pluricelulares sin diferenciación.

Con el perfeccionamiento de la microscopía electrónica, se determinó que entre los organismos existen dos tipos de organización celular. La *célula eucariótica* altamente diferenciada, que es la unidad estructural de vegetales, animales, protozoarios, hongos y la mayoría de las algas y la *célula procariótica* menos diferenciada que es la unidad estructural de bacterias y algas verdeazuladas. El reino de los protistas, quedó entonces subdividido en *protistas eucarióticos* y *protistas procarióticos*.

- **Protistas Eucarióticos**

Entre *los protistas eucarióticos*, se distinguen tres grupos principales: algas, protozoarios y hongos. Las algas (fotosintéticas) pueden ser unicelulares, filamentosas o cenocíticas y otras macroscópicas. Los protozoarios son predominantemente unicelulares y los hongos son en general cenocíticos, crecen formando una estructura filamentosa conocida como *micelio* otros son unicelulares como las levaduras.

- **Los Hongos**

Por el papel de los hongos en la degradación de la materia orgánica, realizaremos una breve descripción de este grupo. Los hongos son organismos no fotosintéticos, existen formas microscópicas y macroscópicas, acuáticos y terrestres y sus formas vegetativas son inmóviles. Muchos viven exclusivamente sobre la materia orgánica en descomposición y son incapaces de infectar otros organismos vivos, estos se denominan *saprobios obligados*. Otros pueden vivir sobre la materia orgánica en descomposición o bien ser parásitos y se denominan *parásitos o saprobios facultativos*. Un tercer subgrupo sólo pueden vivir a expensas de otro ser vivo, denominados *parásitos obligados*, finalmente otros mantienen una relación de simbiosis como es el caso de los líquenes (alga-hongo)

Desde el punto de vista nutricional son quimiheterótrofos, la fuente de energía y la fuente de carbono provienen de compuestos orgánicos.

La mayoría de los hongos, viven libres en el suelo o en el agua y obtienen energía por respiración o fermentación de materiales orgánicos solubles. En relación con la temperatura, la gran mayoría crecen entre los 0 a 35° C con un óptimo entre los 20 y 30°C. Por lo general se desarrollan bien en medios ligeramente ácidos, alrededor de pH 6.

De acuerdo al grado de organización, se distinguen en hongos inferiores, superiores y fungi imperfecti. Los hongos inferiores o *Ficomicetos* pueden ser acuáticos o terrestres. Los *ficomicetos acuáticos*, se encuentran sobre la superficie de restos orgánicos en descomposición en aguas estancadas y corrientes (ej. g. *Allomyces*). Como característica, presentan elementos reproductores móviles. Los *ficomicetos terrestres* son habitantes del suelo. No presentan elementos reproductores móviles. Son inmóviles y sus células reproductoras son dispersadas por el aire (ej. g. *Rhizopus*).

Los hongos superiores presentan un micelio tabicado a diferencia de los inferiores y esporas asexuales exógenas. Atendiendo el desarrollo sexual se distinguen dos grandes grupos: *ascomicetos* y *basidiomicetos*. En los ascomicetos, las esporas se forman en una estructura denominada *asca* (ej. g. *Penicillium*) conocido por su capacidad de producir antibiótico (Penicilina). En los basidiomicetos, las esporas se desarrollan en una estructura conocida como *basidio*. El micelio vegetativo es subterráneo, cuando las condiciones son favorables se forman los cuerpos fructíferos que contienen los basidios y que son de muy variadas formas y coloración, visibles y conocidos popularmente como setas u “hongos” (ej., gs. *Lactarius*, *Amanita*, *Agaricus*)

Una tercera clase de hongos corresponde a los *Fungi imperfecti*, donde se agrupa aquellos hongos de los cuales se desconoce su estado sexual. Es una agrupación taxonómica provisional y en la medida que se determina el estado sexual de estos hongos, son reclasificados en ascomicetos o basidiomicetos.

Las *Levaduras*, son hongos que no tienen crecimiento cenocítico no forman micelio y son unicelulares. Se clasifican en la tres clases de hongos superiores, Ascomicetos, Basidiomicetos y Fungi imperfecti. La mayoría vive en ambientes ricos en azúcares y las que realizan la fermentación alcohólica de los azúcares han sido explotadas históricamente por el hombre (ej. *Saccharomyces cerevisiae*).

Los *hongos mucosos*, no están clasificados como hongos verdaderos, aunque comparten muchas características con estos. El ejemplo más conocido es el de los *mixomicetos* que se encuentran sobre troncos en descomposición en bosques húmedos. Se distinguen porque es una masa citoplasmática multinucleada sin pared rígida que se desplaza con movimiento ameboideo.

- **Protistas Procarióticos**

Los protistas procarióticos comprenden bacterias y algas verdeazuladas. Las *algas verdeazuladas*, son organismos fotosintéticos (fotoautotrofos obligados) muchos son unicelulares de forma esférica o bastón y otros pluricelulares en forma de filamentos. Se reproducen por escisión binaria y tienen una distribución natural muy amplia. Se encuentran en el suelo, aguas dulces y océanos. Algunas crecen en manantiales calientes a temperaturas superiores a los 70°C.

- **Algas Verdeazuladas**

Entre todos los organismos fotosintéticos, las verdeazuladas, son las únicas capaces de suplir los requerimientos de nitrógeno fijando nitrógeno molecular. Esta condición le confiere a este grupo los requerimientos nutricionales más sencillos de los organismos conocidos. Las formas unicelulares en los ecosistemas acuáticos, constituyen el fitoplancton. Se ha estimado que la fijación de CO₂ en los océanos es del orden de 1,2 x 10¹⁰ ton/año.

- **Las Bacterias**

Las bacterias o eubacterias (bacterias verdaderas) es sin duda el grupo más importante de los organismos procariotas, por su número, distribución natural y diversidad fisiológica. Es el grupo de mayor interés para los objetivos de este manual. La gran complejidad del mismo no puede ser resumida en pocas páginas. No obstante, nos referiremos brevemente a sus características más sobresalientes, profundizando en aquellos aspectos referentes a su papel en la transformación de los residuos orgánicos íntimamente ligados al crecimiento requerimientos nutricionales y diversidad fisiológica.

La gran mayoría son unicelulares, básicamente con tres tipos de formas celulares, *cocos* (esféricas u ovals), *bacilos* (cilíndricas o en forma de bastón) y *espirilos* (en forma de

espiral). Se multiplican por escisión binaria transversal. Muchas veces las células hijas no se separan de forma inmediata formando cadenas de células, muy frecuente en los géneros *Bacillus* y *Lactobacillus*. Prácticamente los cocos y un gran número de bacilos son inmóviles, no obstante existen forma móviles flageladas.

Muchas bacterias pueden formar una forma de resistencia o reposo conocida como *endóspora*, propiedad de los cocos y bacilos. La endóspora se forma dentro de una célula vegetativa, es muy refrigente se tiñe con dificultad y es extremadamente resistente al calor y otros tratamientos letales. Puede permanecer en este estado de retardo durante años en algunas especies. Esta endospora se libera cuando la célula madre se rompe se lisa, dando lugar a una nueva bacteria.

Otras bacterias en particular los integrantes del género *Azotobacter*, pueden formar *quistes*. El bacilo se acorta y la pared aumenta notoriamente su espesor por secreciones. El quiste no tiene las características de resistencia de la endospora.

Los euactinomicetos son un grupo de bacterias que se caracteriza por presentar una estructura vegetativa en forma de micelio, similar a la que presentan los hongos. En las formas primitivas de actinomicetos (micobacterias y protoactinomicetos) el micelio es una forma transitoria que se rompe dando lugar a cocos o bacilos. En los actinomicetos superiores la estructura miceliana se conserva permanentemente y la reproducción se realiza por células conocidas como conidiosporas. Un ejemplo es el género *Streptomyces*, cuyo micelio es frecuentemente confundido en las pilas de compostaje con el micelio de un hongo.

En las paredes celulares de las células bacterianas existen diferencias de composición química y estructurales que se ponen de manifiesto a través de una técnica de tinción, conocida como técnica de *Gram* de gran valor taxonómico. Se distinguen entonces bacterias *Gram positivas* y *Gram negativas*. Muchas bacterias son capaces de producir importantes excreciones extracelulares (ej. *Acetobacter xylinum*)

Otras producen toxinas sustancias altamente letales, un ejemplo de las cuales son las toxinas producidas por *Clostridium botulinum* y *C. diphtheriae*. Bacterias patógenas Gram negativas producen endotoxinas sustancias derivadas de las paredes celulares de las bacterias. Las más conocidas son las producidas por las bacterias coliformes de los géneros *Salmonella*, *Shigela* y *Escherichia*, que producen fiebre y toxicidad. Otros grupos de bacterias sin embargo producen antibióticos de gran significación ecológica. En la siguiente tabla se muestran algunos antibióticos producidos por bacterias, actinomicetos y hongos.

ANTIBIÓTICOS FORMADOS	ORIGEN BIOLÓGICO	QUIMIOTERÁPICO FRENTE A
POR BACTERIAS		
Gramicidina	<i>Bacillus brevis</i>	Bacterias Gram positivas
Polimixina B	<i>Bacillus polymyxa</i>	Bacterias Gram positivas
Bacitracina	<i>Bacillus subtilis</i>	Bacterias Gram positivas
POR ACTINOMICETOS		
Cloranfenicol	<i>Streptomyces venezuelae</i>	Bacterias Gram positivas-negativas rickettsias y bedsonias
Estreptomicina	<i>S. griseus</i>	Bacterias Gram positivas-negativas
Tetraciclinas	<i>S. aureofaciens, rimosus</i>	Bacterias Gram positivas-negativas rickettsias y bedsonias
Neomicinas	<i>S. fradiae</i>	Bacterias Gram positivas-negativas
Eritromicina	<i>S. erythreus</i>	Bacterias Gram positivas
Nistatina	<i>S. noursei</i>	Hongos
Anfotericina B	<i>S. nodosus</i>	Hongos
POR HONGOS		
Penicilinas	<i>Penicillium sp.</i>	Bacterias Gram positivas
Cefalosporinas	<i>Cephalosporium sp.</i>	Bacterias Gram positivas-negativas
Griseofulvina	<i>Penicillium griseofulvum</i>	Otros hongos

CLASIFICACION DE LAS BACTERIAS

La taxonomía o clasificación de las bacterias es extremadamente compleja. Para los objetivos de este Manual no limitaremos a aplicar un criterio artificial, mencionando sólo grandes grupos de acuerdo a sus características fisiológicas más destacables.

1. BACTERIAS DESLIZANTES
2. BACTERIAS FOTOSINTÉTICAS
3. BACTERIAS DEL GRUPO ENTERICO
4. BACTERIAS GRAN NEGATIVAS NO FOTOSINTÉTICAS
5. BACTERIAS FORMADORAS DE ENDOSPORAS
6. BACTERIAS GRAN POSITIVAS NO FORMADORAS DE ENDOSPORAS

• Los Virus

Finalmente, y con el objetivo de dar una visión general a la naturaleza del mundo microbiano describiremos brevemente los *virus*. Los virus son las unidades biológicas más pequeñas. Difieren totalmente del resto de los organismos en su composición química, estructura y forma de multiplicarse. Consiste en una cubierta de proteína que contiene en su interior una sola clase de ácido nucleico o bien ARN o ADN. Es incapaz de realizar ningún tipo de biosíntesis por lo que para su multiplicación requiere de la maquinaria biosintética de una célula huésped que es comandada luego de la infección por su material genético (ARN, ADN). Las partículas infecciosas resultantes de su multiplicación se denominan *viriones* y son las que se transmiten de célula a célula en un proceso infeccioso.

CONCEPTOS SOBRE NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO MICROBIANO

Los microorganismos para crecer y desarrollar sus actividades, deben disponer en el ambiente de los *nutrientes* que le provean energía y materiales para la biosíntesis. Los microorganismos presentan una gran diversidad fisiológica específica y por lo tanto requerimientos nutricionales específicos.

No es casual, que las células de todos los seres vivos, independientemente de su grado de organización, presenten una composición química constante de aquellos materiales necesarios para la vida. La tabla 1, muestra la composición elemental aproximada de un microorganismo (*Escherichia coli*).

Tabla 1 Composición elemental aproximada en *Escherichia coli*

Elemento	Porcentaje del peso seco
Carbono	50
Oxígeno	20
Nitrógeno	14
Hidrógeno	8
Fósforo	3
Azufre	1
Potasio	1
Sodio	1
Calcio	0,5
Magnesio	0,5
Cloro	0,5
Hierro	0,2
Todos los demás	0,3

Fuente: Stanier, Dourofoff, Adelberg, Microbiología, 1977

El principal nutriente esencial en términos cuantitativos, de todo ser vivo es el *agua*, que representa entre un 80 a 90% del peso total. El 95 % del peso seco de la célula, contiene, *carbono, nitrógeno, fósforo y azufre* en orden decreciente de abundancia, así como *hidrógeno y oxígeno* (que pueden derivarse metabólicamente del agua).

El porcentaje restante incluye una gran diversidad de elementos. La inmensa mayoría de los seres vivos requieren además, *calcio, cinc, cobre, cobalto, hierro, manganeso, magnesio, molibdeno y potasio*. Las funciones conocidas de estos elementos se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Funciones fisiológicas conocidas de los principales elementos

Elemento	Funciones Fisiológicas
Hidrógeno	Constituyente del agua celular, de materiales orgánicos celulares
Oxígeno	Constituyente del agua celular, materiales orgánicos celulares: como O ₂ aceptor de elementos en la respiración de los aerobios.
Carbono	Constituyente de materiales celulares orgánicos
Nitrógeno	Constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas
Azufre	Constituyente de proteínas (como los aminoácidos cisteína y metionina); de algunas coenzimas (p. ej. , CoA, co-carboxilasa)
Fósforo	Constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas
Potasio	Uno de los principales cationes inorgánicos de las células, cofactor de algunas enzimas
Magnesio	Importante catión celular; cofactor inorgánico para muchas reacciones enzimáticas, incluyendo aquellas que implican ATP; funciona uniendo las enzimas a los sustratos: constituyente de las clorofilas.
Manganeso	Cofactor inorgánico de varias enzimas, a veces reemplazando al Mg.
Calcio	Importante Cation celular; cofactor para algunas enzimas (p. ej. , Proteínas)
Hierro	Constituyente de citocromos y otras
Cobalto	Constituyente de la vitamina B ₁₂ y de sus coenzimas derivados
Cobre	
Cinc	Constituyentes inorgánicos de enzimas especiales
Molibdeno	

Fuente: Stanier, Douroff, Adelberg, Microbiología, 1977

• Factores Orgánicos de Crecimiento

Los compuestos orgánicos que un organismo no pueda sintetizar a partir de fuentes de carbono sencillas, necesariamente deben ser administrados como nutrientes. Estos nutrientes son conocidos como *factores de crecimiento* y de acuerdo a su estructura química y función metabólica se pueden clasificar en tres clases:

- *Aminoácidos*, necesarios como constituyentes de las proteínas.
- *Purinas y pirimidinas*, requeridos como integrantes de los ácidos nucleicos.

▫ *Vitaminas*, forman parte de grupos prostéticos o centros activos de ciertas enzimas. Los factores de crecimiento son requeridos en pequeñas cantidades ya que cubren plenamente las necesidades específicas de las biosíntesis.

- **Requerimientos de Carbono**

Los organismos fotosintéticos, y las bacterias que oxidan compuestos inorgánicos, utilizan como o fuente de carbono su forma más oxidada CO_2 . Los restantes organismos, obtienen el carbono fundamentalmente de materiales orgánicos. Gran parte del carbono de los materiales orgánicos, es utilizado como fuente de energía y es excretado de la célula como CO_2 que es el principal producto de la *respiración*. Cuando el mecanismo productor de energía es la *fermentación* parte del carbono es excretado como CO_2 y compuestos orgánicos. Las sustancias orgánicas cumplen un doble papel nutricional, son fuente de carbono y fuente de energía. No hay en la naturaleza, ningún compuesto orgánico que no pueda ser utilizado como fuente de carbono y energía por algún microorganismo.

- **Requerimientos de Nitrógeno y Azufre**

El *nitrógeno* en los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo *amino*. La gran mayoría de los organismos fotosintéticos asimilan el nitrógeno en estado inorgánico como nitratos que posteriormente son reducidos. Muchos organismos no fotosintéticos como bacterias y hongos también pueden asimilar el nitrógeno como nitrato, otros microorganismos son incapaces de llevar a cabo esta reducción y utilizan como fuente de nitrógeno formas reducidas de este.

El *azufre* en los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo sulfhidrilo. La mayoría de los organismos fotosintéticos asimilan el azufre en estado inorgánico como sulfatos que posteriormente son reducidos. También bacterias y hongos también pueden asimilar el azufre como sulfato. Las necesidades de nitrógeno y azufre, pueden cubrirse frecuentemente con materiales orgánicos que contienen estos dos elementos en estado reducido.

- **Requerimientos de Oxígeno**

En los organismos superiores, el oxígeno es un componente universal de las células y gran parte de este elemento lo proporciona el agua. No obstante los organismos superiores y muchos microorganismos necesitan además oxígeno molecular ya que dependen de la respiración aerobia como mecanismo generador de energía, donde el oxígeno actúa como oxidante terminal. Estos organismos que requieren oxígeno molecular se les denomina *aerobios obligados*. Dentro de esta categoría, hay algunos grupos que crecen mejor a presiones parciales de oxígeno más bajas (0,2 atm.) que las del aire y se les denomina *microaerófilos*.

Otros microorganismos, obtienen energía por la vía fermentativa o por respiración anaerobia que no implica la necesidad de oxígeno como oxidante terminal. En muchos

casos el oxígeno puede actuar como una sustancia tóxica o bien inhibir el crecimiento. A estos microorganismos se les denomina *anaerobios obligados*.

Otros microorganismos pueden crecer tanto en ausencia como en presencia de oxígeno molecular, alternando la respiración con la fermentación, a estos se les denomina *anaerobios facultativos*.

Un caso particular son las bacterias del ácido láctico, que no son sensibles al oxígeno molecular y en presencia de éste, continúan la fermentación.

CATEGORÍAS NUTRICIONALES

Tradicionalmente, desde el punto de vista de las relaciones tróficas, los seres vivos se clasifican en: *Productores Primarios* o *Autótrofos* (fotosintéticos) que pueden asimilar nutrientes totalmente inorgánicos. *Consumidores* o *Heterótrofos* (herbívoros, carnívoros y omnívoros) que requieren nutrientes orgánicos y *Descomponedores* (bacterias y hongos, principalmente). El principal inconveniente de esta sencilla dicotomía entre autótrofos y heterótrofos es que no contempla la gran variedad de modelos nutricionales que se presenta en la categoría de los Descomponedores.

Una clasificación útil es la que considera la naturaleza de la fuente de energía y la naturaleza de la fuente de carbón. Considerando la *fente de energía*, los organismos que utilizan la luz como fuente de energía, se denominan *fotótrofos* (fotosintéticos) y los que emplean la energía química como fuente de energía *quimiótrofos*. En referencia a la *fente de carbono*, los organismos que utilizan CO₂ como principal fuente se denominan *autótrofos* y los que emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono *heterótrofos*.

De la conjunción entre estos dos criterios, se pueden establecer las siguientes categorías nutricionales:

- *Fotoautótrofos*, utilizan la luz como fuente de energía y CO₂ como fuente de carbono. Esta categoría incluye, vegetales superiores, algas eucarióticas, algas verdeazuladas y bacterias fotosintéticas.
- *Fotoheterótrofos*, utilizan la luz como fuente de energía y compuestos orgánicos como fuente principal de carbono. En esta categoría se incluye, algunas algas eucarióticas y bacterias no-sulfobacterias (bacterias fotosintéticas)
- *Quimiauótrofos*, emplean como energía, la energía química de compuestos inorgánicos reducidos y CO₂ como fuente principal de carbono. Es una categoría exclusiva de un grupo especializado bacterias, entre las que se destacan, bacterias nitrificantes, que utilizan (NH₃, NO₂⁻) y las que llevan a cabo la oxidación de compuestos reducidos del azufre (SH₂, S, S₂O₃²⁻).
- Quimioheterótrofos, la fuente de energía y la fuente de carbono provienen de compuestos orgánicos. Esta categoría incluye a todos los animales superiores (consumidores), hongos y protozoos y la gran mayoría de bacterias.

Estas categorías pueden subdividirse en *osmótrofos* que son aquellos que ingresan los nutrientes en forma disuelta y *fagótrofos* que los engloban en forma particulada.

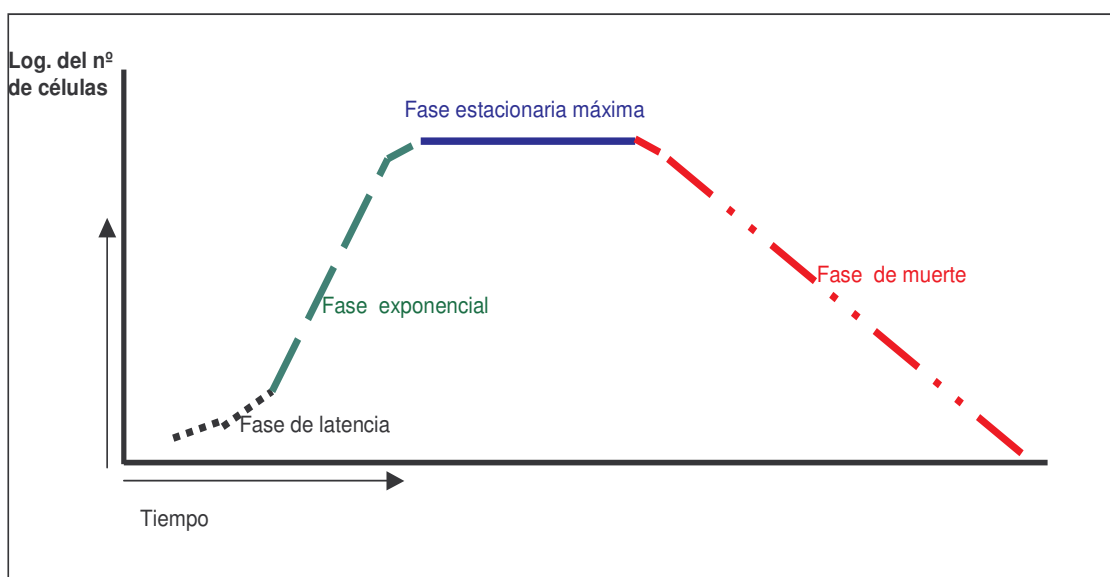
Una segunda subdivisión, puede realizarse en función del mecanismo productor de energía entre *organismos respiratorios* y *organismos fermentativos*.

- **Sintrofia**

En materiales orgánicos en degradación, participan diferentes grupos fisiológicos de microorganismos. Algunos grupos actúan conjuntamente y otros se suceden en el tiempo. Las actividades metabólicas combinadas pueden diferir cuanti-cualitativamente de la suma de los efectos de estos grupos en forma separada. Este fenómeno, es el resultado de interacciones nutricionales y se denomina *efecto sintrófico o sinérgico*.

- **Crecimiento**

Para cualquier ser vivo, el *crecimiento* puede definirse como un incremento ordenado de todos los constituyentes químicos del organismo. Es normal que el crecimiento determine la multiplicación celular. En los organismos pluricelulares, la multiplicación celular tiene como consecuencia un aumento en el tamaño del individuo. En los unicelulares conduce a un incremento en el número de individuos. En condiciones favorables, una población de bacterias, se dobla a intervalos regulares de tiempo. Cada célula hija, proveniente de una misma división, tiene el mismo potencial de crecimiento que la célula madre. Si la población se inicia a partir de una única célula, la población se incrementa por cierto tiempo en forma escalonada, no obstante debido a las diferencias individuales de crecimiento, el tiempo de división es asincrónico y el número de células crece en forma continua doblándose la población a intervalos fijos. Este tipo de crecimiento se denomina *crecimiento exponencial o logarítmico*. El crecimiento exponencial raramente se mantiene durante mucho tiempo. Como consecuencia de los cambios ambientales generados por los propios microorganismos el crecimiento se autolimita. Normalmente los factores que limitan el crecimiento son, el *agotamiento de nutrientes* y la *acumulación de productos metabólicos tóxicos*. En un cultivo donde no se aportan nuevos nutrientes, estos factores determinan una curva característica de crecimiento.



Fase de latencia: se produce un retraso en el crecimiento que puede deberse a varios factores. Condiciones desfavorables, humedad, temperatura, falta de nutrientes, sustancias inhibitoras del crecimiento o un inóculo procedente de un cultivo viejo. Esta fase cuando se presenta tiene una duración muy variable.

Fase de crecimiento exponencial: esta fase se inicia cuando la velocidad de crecimiento alcanza su valor máximo y el número de células aumenta. La concentración y naturaleza de los nutrientes, la temperatura y el pH, son algunos de los factores que afectan la velocidad de crecimiento. Por el agotamiento de nutrientes o por la concentración de metabolitos tóxicos la velocidad de crecimiento comienza a decrecer paulatinamente.

Fase estacionaria máxima: por el agotamiento de nutrientes o por la concentración de metabolitos tóxicos la velocidad de crecimiento comienza a decrecer paulatinamente hasta velocidad de crecimiento cero.

Fase de muerte: la población viable disminuye. La cinética de la muerte de las poblaciones bacterianas es exponencial.

- **La concentración de nutrientes en la velocidad de crecimiento**

Para concentraciones de nutrientes bajas la velocidad de crecimiento es proporcional a la concentración. En concentraciones altas, la velocidad de crecimiento alcanza rápidamente su valor máximo que se mantiene hasta que el incremento en la concentración de nutrientes actúa como inhibidor.

- **La Temperatura y la velocidad de crecimiento**

El intervalo de temperatura en que crecen los organismos se presenta entre los -5°C y $+80^{\circ}\text{C}$. Los organismos procariotas (bacterias y algas verdeazuladas) presentan diferencias muy marcadas respecto a la zona de temperatura donde pueden crecer, siendo este un factor limitante para su crecimiento. En función a su relación con la temperatura se clasifican en *termófilos*, *mesófilos* y *psicrófilos*. En la siguiente tabla se muestran los rangos de temperatura para las diferentes clases.

Tabla 3 Principales categorías fisiológicas de las bacterias según su relación con la temperatura.

Temperatura $^{\circ}\text{C}$			
GRUPO	Mínimo	Optimo	Máximo
TERMOFILOS	40-45	55-75	60-80
MESOFILOS	10-15	30-45	35-47
PSICROFILOS			
Obligados	(-5)-(+5)	15-18	19-22
Facultativos	(-5)-(+5)	25-30	30-35

TERMOFILOS: Algas **verdeazuladas**, **Bacterias formadoras de endosporas** (*B.Stearotherophilus*) Actinomicetos (Thermoactinomicetos). **MESOFILOS:** Gran mayoría de microorganismos. Euactinomicetos (*Streptomyces*, *Microspora*) Bacterias Metanogénicas (*Metanobacterium*, *Methanococcus* , *Metanosarcina*) Bacterias del ácido láctico Esproulantes anaeróbicos (*Clostridium*)

CONCEPTOS SOBRE METABOLISMO MICROBIANO

El metabolismo puede definirse como el conjunto de procesos que posibilitan la vida. Podemos dividirlo en dos tipos de procesos principales. Los que *generan energía o rutas degradativas*, denominados en su conjunto como rutas catabólicas o catabolismo y las *rutas biosintéticas o consumidoras de energía*, que en su conjunto se le conoce como rutas anabólicas o anabolismo.

De los tres tipos de metabolismos productores de energía, *fotosíntesis*, *respiración* y *fermentación*, nos ocuparemos brevemente y en particular de la descripción de aquellos procesos que por degradación de los compuestos orgánicos o inorgánicos reducidos, los organismos obtienen energía (rutas catabólicas) la *fermentación* y la *respiración*.

LA FERMENTACION

Fue Louis Pasteur (1822-1895), quién definió la naturaleza microbiológica de la fermentación y su significado fisiológico como una ruta generadora de energía. Definió la fermentación *como vida en ausencia de aire*, descubriendo formas de vida que solo pueden vivir en ausencia de oxígeno e introdujo los términos *aerobia* y *anaerobia* para designar la vida en presencia y en ausencia de oxígeno. Muchos microorganismos que obtienen energía por este metabolismo son *anareobios estrictos* no obstante la mayoría de los fermentadores son *anaerobios facultativos*, es decir, cambian su metabolismo productor de energía en presencia de oxígeno. Una excepción a estas regla son las *bacterias del ácido láctico* que aún en presencia de oxígeno obtienen energía por la vía fermentativa.

Desde el punto de vista de su mecánica la fermentación es un proceso simple. Puede definirse *con un proceso productor de energía en que los compuestos orgánicos actúan como donadores y receptores de electrones*. La consecuencia final de la fermentación de un sustrato es una mezcla de productos más oxidados que el sustrato y otros más reducidos, por lo que, los compuestos orgánicos que pueden ser degradados por esta vía no deben presentarse ni muy oxidados ni muy reducidos. Los carbohidratos (azúcares) son los principales sustratos fermentables y son los compuestos orgánicos predominantes en los tejidos vegetales. La lista carbohidratos y derivados fermentables incluye, polisacáridos como el almidón, celulosa y quitina; disacáridos como la lactosa, maltosa y sacarosa; hexosas como la glucosa, fructuosa y galactosa; pentosas como la arabinosa y xilosa; ácidos de azúcares como el glucónico y glucorónico y polialcoholes como el manitol y el glicerol.

Otros compuestos orgánicos, como ácidos orgánicos, aminoácidos, purinas y pirimidinas son fermentables por algunos grupos de bacterias. Un ejemplo es la fermentación de los

aminoácidos por el género *Clostridium*. Las rutas fermentativas de los carbohidratos y derivados varían mucho de acuerdo a los grupos microbianos.

Tomando como ejemplo la general la fermentación de la glucosa que es realizada por prácticamente todos los grupos se pueden distinguir las siguientes fermentaciones bacterianas que se realizan por la ruta de Embden-Meyerhof: Alcohólica, Homoláctica, Ácida mixta, Butanodiolica, Butírica, Butano-acetona y Propiónica.

Los principales productos finales de las fermentaciones son ácidos orgánicos y/o alcoholes, por lo que normalmente se produce una acidificación del medio.

LA RESPIRACION

La respiración se puede definir como un proceso productor de energía en que los donadores de electrones son compuestos orgánicos o inorgánicos reducidos. Si el aceptor final de electrones o agente oxidante es el oxígeno se denomina *respiración aeróbica* y si el aceptor final de electrones es un compuesto inorgánico diferente del oxígeno se denomina *respiración anaeróbica*.

RESPIRACION AEROBICA

Este metabolismo se cumple en presencia de oxígeno. Los microorganismos pueden obtener energía por la vía de la respiración aeróbica tanto a partir de *compuestos orgánicos* como de compuestos *inorgánicos reducidos*.

Oxidación de compuestos orgánicos

Gran parte del carbono de los *compuestos orgánicos* son por lo general oxidados completamente a CO_2 , otra fracción de este elemento es asimilado en la síntesis de los materiales celulares. No existe ningún compuesto orgánico que no pueda ser utilizado como sustrato para la respiración de algún microorganismo.

Ante limitaciones de oxígeno, altas concentraciones del sustrato, pH desfavorables, la oxidación de los compuestos orgánicos puede ser incompleta. Hay grupos de bacterias, bacterias de ácido acético (g. *Acetobacter*) que oxidan parcialmente el etanol. En una primera etapa los transforman en ácido acético, cuando agotan este alcohol lo oxidan a CO_2 . Las oxidaciones incompletas de los compuestos orgánicos, son frecuentes en pilas de materiales en compostación donde no se realiza un manejo adecuado, y tiene como consecuencia más destacable un significativo retraso en el proceso. Las bacterias del ácido acético oxidan otros sustratos además del etanol, alcoholes primarios, secundarios y carbohidratos.

Oxidación de compuestos inorgánicos

La propiedad de oxidar compuestos inorgánicos reducidos es exclusiva de las bacterias y de gran importancia en el ciclo de la materia. Los grupos fisiológicos que realizan este tipo de respiración se les denomina *quimioautótrofos*. Entre los compuestos inorgánicos reducidos que pueden ser oxidados citamos: NH_3 , NO_2^- , CO , H_2 , Fe^{2+} , SH_2 , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S .

RESPIRACION ANAEROBICA

En ausencia de oxígeno, muchas bacterias son capaces de realizar el metabolismo respiratorio, que es denominado respiración anaeróbica. Los oxidantes en lugar del oxígeno son nitrato, sulfato o carbonato. La oxidación de nitrato a nitrito, es un proceso que no favorece un crecimiento normal en condiciones de anerobiosis ya que se requiere una gran cantidad de nitrato y los productos de la reducción del nitrito es muy tóxico. La oxidación anaeróbica del nitrato a nitrógeno molecular (N_2), es el proceso conocido como *denitrificación*.

Entre los microorganismos que intervienen en este proceso se destacan las especies de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*. En presencia de oxígeno aunque el nitrato este presente en cantidades importantes no se da el proceso de denitrificación ya que la denitrificación es una ruta alternativa. La utilización del sulfato como agente oxidante, es propia de un pequeño grupo de microorganismos (g. *Desulfovibrio* y algunos *Clostridium*). A diferencia de la denitrificación, la reducción de sulfatos no es una ruta alternativa y se da en condiciones de anaerobiosis. Las bacterias productoras de metano o metanogénicas utilizan el carbonato como agente oxidante. Son estrictamente anaerobias y además del carbonato para la producción de metano, pueden utilizar compuestos orgánicos como el metano y el ácido acético.

Las respiraciones aneróbicas, son metabolismos frecuentes en procesos de compostaje inadecuados o en acopios de compost por períodos muy prolongados. El resultado final es la pérdida de importantes cantidades de nutrientes de interés para los productores primarios (autótrofos). Por lo que es necesario controlar o evitar este tipo de metablismos.

RESUMEN

En términos de energía, la vida en nuestro planeta bajo las condiciones actuales, depende de la transformación de la energía solar en energía química. Los seres vivos que llevan a cabo esta transformación son los autótrofos (productores primarios) mediante la fotosíntesis. Para que esta transformación se realice es necesario una fuente constante de energía lumínica y la disponibilidad de elementos químicos bajo las formas químicas adecuadas para ser asimilados por los autótrofos, que son los únicos capaces de biosintetizar compuestos o materia orgánicos a partir de los elementos mencionados. La energía química contenida en estos compuestos orgánicos será la fuente de energía para el resto de los seres vivos que no tienen esta capacidad metabólica, es decir para los heterótrofos (consumidores).

En términos químicos, los elementos esenciales para la vida, en formas químicas sencillas, generalmente en estado oxidado, son utilizados por los autótrofos como nutrientes, siendo reducidos y pasando a formar parte de compuestos orgánicos. Los elementos químicos de estos compuestos orgánicos son resintetizados por los consumidores pasando en su mayoría a formar parte de nuevas sustancias orgánicas. Desde el punto de vista químico y

con un enfoque muy general, la vida se caracteriza por un estado reducido de los elementos y la ausencia de vida por un estado oxidado de los mismos.

Los elementos esenciales para la vida están en nuestro planeta en un número constante, por lo que la continuidad de la vida en la Tierra solo es posible en la medida que los elementos químicos contenidos en la materia viva, retornen nuevamente a las formas químicas asequibles como nutrientes para los productores primarios.

La Naturaleza *recicla* permanentemente los elementos de interés biológico y en el transcurso de la evolución ha creado los mecanismos necesarios. El grupo de organismos que lleva a cabo este reciclaje de la materia orgánica son los Descomponedores y sin ellos sería imposible la vida.

Como hemos visto en este capítulo, dentro de los descomponedores, las bacterias son sin duda por su ubicuidad y por su diversidad fisiológica colectiva, las responsables de las transformaciones finales de la materia orgánica. No hay, compuesto orgánico alguno que tarde o temprano no sea degradado por alguna bacteria, sólo es una cuestión de tiempo.

La transformación de los compuestos orgánicos a moléculas sencillas, siempre es consecuencia del crecimiento y metabolismo de los microorganismos, que utilizan estos compuestos y sus intermediarios como fuente de energía o de carbono.

Cuando nos proponemos procesar desechos orgánicos a través de biotécnicas como el compostaje o biodigestión anaerobia, no estamos más que tratando de reproducir a escala, y parcialmente lo que sucede en la naturaleza.

Los conocimientos sobre nutrición, crecimiento y metabolismo de los microorganismos nos permitirá comprender los fundamentos de las técnicas de compostaje que desarrollaremos en este manual.