



Ciclos Biogeoquímicos y la transformación de metabolitos en el Acuario

por Pucheu, Juan Ignacio

Un acuario es un sistema complejo en donde múltiples variables interactúan en forma dinámica afectando a todos sus seres vivos. Si bien la diferencia entre un acuario y un ecosistema es abismal, ambos ambientes son regidos por las mismas leyes, siendo fundamental para el acuarista un conocimiento básico de estas. Este artículo tiene por objetivo clarificar los conceptos desde la producción de metabolitos y su transformación en el acuario, hasta los ciclos de las sustancias fundamentales para la vida.

1. Metabolismo y metabolitos.

El término metabolismo define el conjunto de modificaciones que experimentan los constituyentes biológicos, bien en el nivel celular o bien en el seno del organismo, y que determinan la satisfacción de las necesidades estructurales y energéticas de los seres vivos. ([Enc. Hispánica, 1994](#))

Los organismos vivos son considerados como sistemas abiertos, en los que constantemente se realiza con el exterior un intercambio de materia y energía, **sin los cuales su supervivencia no sería posible**. Los materiales que penetran desde el exterior sufren en las células un proceso de transformación en el que dan lugar por sucesivas fragmentaciones, adiciones y reestructuraciones de sus moléculas a compuestos biológicamente útiles empleados bien como fuente de energía, bien como elementos de construcción y reparación de tejidos. Estas sucesiones de transformaciones se denominan **rutas metabólicas**.

El proceso por el cual las moléculas tomadas del exterior, y que han sufrido una fragmentación previa en la digestión, son degradadas o reducidas a compuestos más sencillos es el **catabolismo**, mientras que el conjunto de reacciones que hacen posible la formación de estructuras orgánicas complejas a partir de otras más simples se denomina **anabolismo**.

Toda molécula que forma parte de una ruta metabólica recibe el nombre de **metabolito**, siendo los desechos orgánicos producidos por los organismos vivos el último paso de algunas de estas rutas.

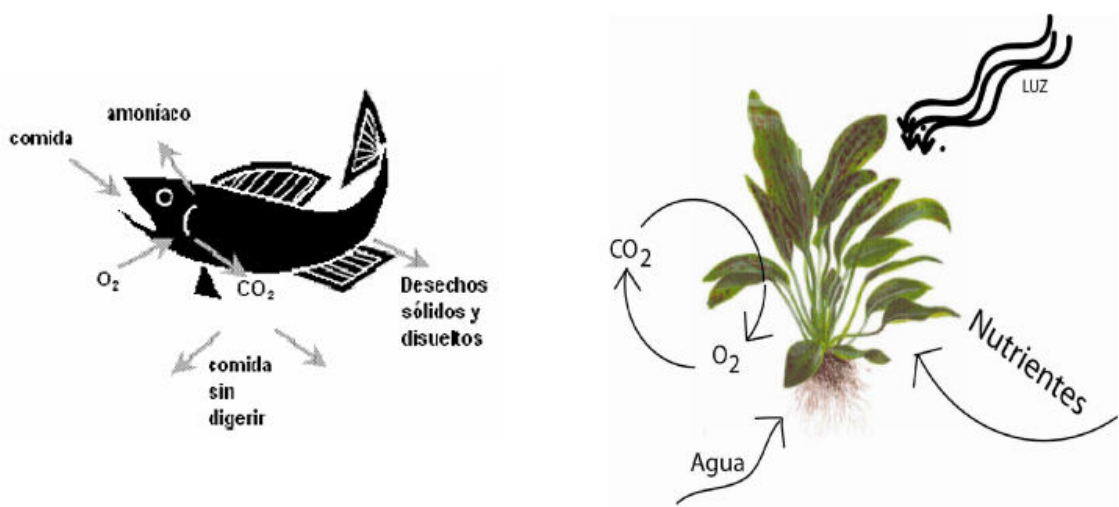


Figura 1: Elementos más importantes del metabolismo de peces y plantas. La figura de la derecha fue tomada de ([Drayer](#))

En la [Figura 1](#) el diagrama indica algunos de los componentes más importantes del metabolismo de los peces y

las plantas.

2. Ciclos Bio-geo-químicos

El ciclo de los **nutrientes inorgánicos** es el movimiento de estos a través de varios organismos, vivientes o no. Así, estos ciclos químicos pasan también por los biológicos y los geológicos, por lo cual se los denomina ciclos bio-geo-químicos.

Cada compuesto químico tiene **su propio y único ciclo**. Algunos ciclos de importancia para el acuario son:

1. Ciclo del Nitrógeno
2. Ciclo del Azufre
3. Ciclo del Fósforo

2.1. Compuestos comunes

Todos los elementos ciclados son incorporados a distintos compuestos. El carbón se encuentra como dióxido de carbono – CO_2 , un gas inorgánico -, **iones** carbonato o en compuestos orgánicos como azúcares y proteínas dentro de los organismos vivos.

El nitrógeno existe en la atmósfera como N_2 o amoníaco (NH_3), en el sustrato en forma de **ión** (NO_3) y en forma de proteínas y ácidos nucleicos dentro de los organismos vivos.

Sin importar su lugar en el ciclo, el fósforo siempre está ligado al oxígeno para formar un **ión** fosfato.

El azufre existe como dióxido de azufre – gas inorgánico – e **iones** sulfato, SO_4 . La atmósfera, el agua, el sustrato y los organismos vivos pueden ser pensados como un “**reservorio**” de estos compuestos.

2.2. Mecanismos de transporte

Los elementos se mueven desde un reservorio a otro, a través de mecanismos meteorológicos, geológicos, biológicos o antropogénicos. De todos, los mecanismos más relevantes para el acuario son los biológicos tales como la conversión fotosintética de dióxido de carbono en azúcares o la conversión de nitratos en gas nitrógeno por las bacterias.



Figura 2: Tres *Pomacea bridgesi* (Reeve, 1856) juveniles en un acuario de cría de *Apistogramma cactuoides* Hoedeman, 1951. Estos caracoles de agua dulce son muy útiles para acelerar la descomposición de los desechos orgánicos. El diámetro de los caracoles en la imagen es de aproximadamente 2 cm.

3. Importancia de las concentraciones de nutrientes inorgánicos y metabolitos

Dentro del acuario podemos distinguir dos “reservorios” de elementos: **el sustrato y el agua**. Los elementos, al acumularse en ellos, afectan a todos los organismos. Esto no debe ser visto cómo un problema, ya que es algo natural e indispensable de todo sistema vivo. Sin embargo, es tarea del acuarista influenciar el medio teniendo cómo objetivo un acuario exitoso. **La falta, o el exceso de un elemento no sólo perjudican a los seres vivos sino que puede llevarlos a la muerte.**

La siguiente tabla indica los valores recomendados de nutrientes inorgánicos. Es importante recalcar que sólo es una guía, los valores recomendados pueden variar en ocasiones especiales.

Tabla 1: Valores estándar de calidad de agua para el cultivo de peces. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América. 1979-80. Los valores están en mg/l al menos que se indique otra unidad.

Elemento (Símbolo)	Valor
Alcalinidad (CaCO ₃)	De 10 a 100
Aluminio (Al)	< 0.02
Arsénico (As)	< 0.05
Cadmio (Cd) con alcalinidad < 100 ppm	0.0005
Cadmio (Cd) con alcalinidad > 100 ppm	0.005
Bario (Ba)	5
Calcio (Ca)	De 4 a 160
Dióxido de Carbono (CO ₂)	De 0 a 10
Cloro (Cl)	< 0.003
Cromo (Cr)	0.03
Cobre (Cu) con alcalinidad < 100 ppm	0.006
Cobre (Cu) con alcalinidad > 100 ppm	0.03
Oxígeno Disuelto (OD)	De 5 a saturación
Dureza	De 10 a 400
Ácido Cianhídrico (HCN)	< 0.005
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	< 0.003
Hierro (Fe)	< 0.1
Plomo (Pb)	< 0.02
Magnesio (Mg)	< 15
Manganeso (Mn)	< 0.01
Mercurio (Hg)	< 0.2
Nitrógeno	< 110 % presión total de gas < 103 % como N ₂
Nitrato (NO ₃ ⁻)	De 0 a 3
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0.01 (Drayer)
PCB (bifenilos policlorinados)	0.002
Potasio (K)	< 5
Salinidad	< 5‰
Plata (Ag)	<0.003
Sodio (Na)	75
Sulfato (SO ₄ ⁻)	< 50
Azufre (S)	< 1
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	<400
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	< 80
Uranio (U)	< 0.1
Zinc (Zn)	< 0.005

El agua del acuario también actúa como un reservorio de metabolitos generados por la nutrición de los peces. Estos excretan urea y amoníaco siendo la gran mayoría generadores de amoníaco debido al menor costo de producir este último en comparación con el gasto adicional de energía necesario para excretar urea ([Mommensen, 1991](#)). Sin embargo, hay varios ejemplos de especies (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758), una de ellas) que incrementan la excreción de urea cuando son sometidos a condiciones estresantes tales como altas concentraciones de amoníaco, salinidad, pH alto o sobrepoblación ([Wood, 2001](#)).

El amoníaco -sustancia altamente tóxica- permanece en equilibrio en el agua con su versión no tóxica, el ión amonio:



La exposición al amoníaco es muy peligrosa para los seres vivos. El consenso general en el acuarismo es tratar de mantener una concentración de amoníaco total (concentración de amoníaco y ión amoníaco) **menor o igual a 0.02 mg/L para peces de agua dulce** ([Neil](#)). Este equilibrio se desplaza hacia la derecha cuando el pH desciende de 7.

Otros nutrientes inorgánicos presentes en el agua de relevancia son los **nitritos y los nitratos**. Ambas sustancias son metabolitos de organismos presentes en todos los acuarios y cumplen un rol fundamental en el ciclo del nitrógeno. Los valores máximos de tolerancia son indicados en la Tabla I presentada anteriormente.

4. Ciclo del nitrógeno en el acuario

No es mi objetivo explicar en este artículo el ciclo completo del nitrógeno en el acuario. Otros autores ya han publicado suficiente material tanto escrito como en la web.

Para aquellos acuaristas que estén interesados en aprender un poco más, recomiendo leer el libro “Biología 6ta. Edición” de Helena Curtis como una buena introducción al tema, y el libro “Ecology of the Planted Aquarium” de Diana Walstad. Mi esperanza es que al terminar de leer este artículo, usted tenga una idea superficial del ciclo del nitrógeno, y lo más relevante, que parámetros del agua modifica o son modificados por este ciclo.

El ciclo del nitrógeno posee las siguientes etapas:

1. Fijación del nitrógeno gaseoso por bacterias y cianobacterias.
2. Descomposición por Bacterias Heterótrofas
3. Nitrificación
4. Desnitrificación
5. Respiración del nitrato
6. Captura de amoníaco y nitritos por plantas acuáticas

Es importante aclarar que estas etapas **no son de ninguna manera secuenciales**, sino que ocurren en forma simultánea e intrínsecamente conectadas.

4.1. Fijación del nitrógeno gaseoso por bacterias y cianobacterias.

Son los únicos organismos con la capacidad de transformar el nitrógeno gaseoso **en amoníaco y fósforo inorgánico** gracias a una enzima específica –la nitrogenasa-. Todas las cianobacterias poseen la capacidad de fotosintetizar y fijar nitrógeno, realizando uno u otro proceso **de acuerdo al nivel de oxígeno presente en el ambiente**. También son llamadas algas verde azules y son las características “algas” marrones que crecen sobre las paredes de los acuarios sin plantas expuestas a la luz solar.

4.2. Descomposición por Bacterias Heterótrofas.

Toda la materia orgánica; sin importar su origen -restos de alimento para peces, animales muertos, restos de plantas- es atacada por estas bacterias las cuales **transforman el nitrógeno orgánico en amoníaco y dióxido de carbono**. Existen infinidad de organismos capaces de realizar este proceso pero la gran mayoría tiene un condicionante: **necesitan ambientes bien oxigenados y pH neutro**, siendo su actividad notablemente reducida cuando el nivel de oxígeno disuelto es pobre o el pH baja por debajo de 7.

Los desechos, en función de su tamaño físico, pueden ser clasificados en dos grupos:

- **COP:** Carbón Orgánico Particulado, detritos de gran tamaño distinguidos a simple vista: heces de peces, restos de plantas, restos de alimento, etc.)
- **COD:** Carbón Orgánico Disuelto-Eventualmente, todos los detritos ingresan al ciclo como COP para luego decaer a COD. Aquellos restos que no puedan ser digeridos se acumularán en el sustrato en forma de sustancias húmicas por meses ya que el ambiente ácido del mismo limita severamente el accionar de las bacterias.

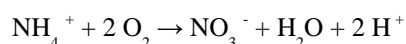
Las bacterias heterótrofas atacan más fácil las partículas de carbón disuelto, por lo cual es de suma importancia que exista un agente que procese los detritos. Un agente ideal en los acuarios son los caracoles.

4.3. Nitrificación

Es el proceso en el cual grupos de bacterias convierten el amoníaco a nitratos. La conversión se realiza en dos pasos: primero un grupo de bacterias conocido como “Bacterias Oxidantes del Amoníaco” ([Burrell, 2001](#)) capturan el **ión amoníaco** para producir nitritos.

En el siguiente paso, un grupo de “Bacterias Oxidantes del Nitrito” toman el producto de la reacción anterior y lo transforman en **iones nitrato**.

La reacción total es la siguiente:



Analizando esta ecuación química se desprenden 2 conceptos importantes:

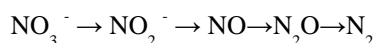
- El proceso **necesita oxígeno** y consume 2 moléculas de este último por molécula de **ión amoníaco** convertido.
- Se generan **iones hidrógeno**, **disminuyendo el pH del agua del acuario**.

4.4. Desnitrificación

Generalmente esta etapa ocurre en el sustrato del acuario. Muchas bacterias pueden desnitrificar, **convirtiendo el **ión nitrato** en gas nitrógeno**. El ambiente adecuado para este proceso debe cumplir las siguientes condiciones:

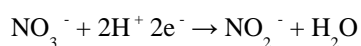
- Nitratos presentes
- Materia orgánica
- Condiciones anaeróbicas
- Nitrificación ocurriendo en simultáneo que **provea iones nitrato y consuma oxígeno**

Los pasos de la ruta metabólica son los siguientes:



4.5. Respiración del Nitrato

Bajo condiciones anaeróbicas, muchas bacterias utilizan el nitrato para respirar, de acuerdo a la siguiente reacción:



Como se observa este proceso además **consume iones hidrógeno**, aumentando el **pH** del agua.

4.6. Captura de amoníaco y nitritos por plantas acuáticas

Las plantas acuáticas en presencia de luz, dióxido de carbono y nutrientes son activas consumidoras de amoníaco y nitritos, prefiriendo el primero por sobre el último. Junto con las bacterias, estas dos clases de organismos compiten por el nitrógeno en forma de amoníaco presente en el agua. Como resultado de su acción fotosintética, son importantes reguladores del nivel de Oxígeno disuelto en el agua.

4.7. Interacción entre los diversos procesos

La ocurrencia en simultánea de estos procesos hace difícil su seguimiento, sin embargo pueden ser intuidos en forma indirecta a través de su impacto en los parámetros del agua. Tal vez uno de los indicadores más engañosos es el **pH**. Si bien no es lo ideal medir estos procesos con el **pH**, generalmente es lo único disponible por el acuarista. Cabe aclarar que los cambios en el nivel del **pH** debido a los procesos abajo mencionados sólo serán observados en aguas blandas que no presenten el efecto tampón que genera un grado de **alcalinidad** alto.

La descomposición por bacterias ocurre en forma continua en el acuario. Este es el proceso responsable de la tendencia del **pH** a bajar naturalmente cuando la **alcalinidad** del agua se lo permite. Una combinación de **pH** bajo y pobre nivel de oxígeno desacelera notablemente este proceso tal cual lo evidencia la acumulación de detritos en el sustrato que al estar en la zona más anaeróbica y de menor **pH** del acuario se acumulan sin ser degradados por meses. Ya sea ingresando por la ruta de la descomposición o por las excreciones de los peces, la **concentración** de **iones** amoníaco baja gracias a la nitrificación. Cuando este proceso se produce activamente también se debe observar un descenso muy leve pero continuo del nivel del **pH**. Al tener nitrificación, se crean las condiciones para la desnitrificación: proceso responsable del consumo de nitritos y nitratos. De lo contrario, el nivel de estos aumentaría muy rápidamente al ritmo de la nitrificación. Una vez establecidas las colonias de bacterias responsables de los procesos de nitrificación desnitrificación y respiración del nitrato, estos tres procesos ocurren simultáneamente interrelacionados entre sí tendiendo al equilibrio. Es por ello que nunca mediremos una **concentración** de amoníaco o nitritos cero, por lo menos con el instrumental disponible para el acuarista: estos procesos biológicos se regulan entre sí alcanzando un equilibrio si las condiciones son estables. Casi siempre este equilibrio establece concentraciones muy por debajo de las recomendadas como aptas para la vida de peces y plantas, por lo cual es sumamente beneficioso.

Tabla 2: En esta tabla se puede apreciar cómo afectan los parámetros medibles por el acuarista los procesos aquí tratados.

Proceso	Producen						
	pH	O ₂	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	CO ₂
Descomposición por bacterias heterótrofas	▼	▼	▲	-	-	▲	▲
Nitrificación	▼	▼	▼	▲	▲	-	-
Desnitrificación	-	-	-	▼	▼	-	-
Respiración del nitrato	▲	-	-	▲	▼	-	-
Captura de NH ₄ y NO ₂ por plantas fotosintetizando.	▲	▲	▼	-	-	▼	▼

A un **pH** bajo la descomposición se desacelera, siendo las condiciones óptimas un nivel de **pH** neutro. La situación inversa ocurre con los tres procesos en donde es procesado el nitrógeno: son fuertemente acelerados al bajar el nivel del **pH**. Observe cómo el sistema tiende naturalmente al equilibrio: mientras la descomposición hace descender el **pH**, la nitrificación se acelera consumiendo rápidamente el amoníaco disuelto y bajando aún más el **pH**. Al caer por debajo de 7, la descomposición disminuye su velocidad cortando el ingreso de nitrógeno a los demás procesos regulando de esta manera el sistema. El equilibrio es alcanzando – dependiendo de la **alcalinidad** del agua- en un nivel de **pH** ligeramente inferior al neutro. Todo este proceso es válido si consideramos un acuario no muy sobrecargado de peces. En dicho caso, el nivel de **pH** bajara gradualmente pero en forma continua, acumulándose rápidamente todos los derivados del nitrógeno en el agua al punto que la regulación del sistema la harán los mismos peces: el excesivo nivel de nitratos afecta su metabolismo alimentándose menos y por lo tanto excretando menor cantidad de amoníaco. No hace falta indicar que llegado a este punto el acuario está muy cerca del desastre. Generalmente es lo que ocurre en los acuarios mal mantenidos durante mucho tiempo. El acuarista para colmo empeora la situación realizando un gran cambio de agua el cual al subir el **pH** al nivel del agua de canilla (7 o más generalmente), corre el equilibrio **ión** amonio – amoníaco hacia este último (fuertemente tóxico) transformándose rápidamente todo el **ión** amonio acumulado por falta de nitrificación en amoníaco provocando en un par de horas un alto nivel de mortandad.

Un caso especial son los acuarios plantados. Las plantas al entrar en competencia directa por el amoníaco con las bacterias, limitan la influencia de estos procesos haciendo mucho más estables las concentraciones de metabolitos y por lo tanto, el acuario.

Un cuidado especial merecen los acuarios fuertemente plantados: durante las noches, el nivel de O₂ desciende fuertemente producto de la respiración de plantas y peces, por lo cual se deberán tomar las precauciones adecuadas.

Tabla 3: Incidencia del pH en la velocidad del proceso

Proceso	pH▲	pH▼	pH Neutro
Descomposición por bacterias heterótrofas	▼▼	▼▼▼	OK!
Nitrificación	▼▼	▲▲▲	-
Desnitrificación	▼▼	▲▲▲	-
Respiración del nitrato	▼▼	▲▲▲	-
Captura de NH ₄ y NO ₂ por plantas fotosintetizando.	▼	▲	OK!

5. Bibliografía

1. Burrell Paul, Palen Carol y Hovanec Timothy - Identification of Bacteria Responsible for Ammonia Oxidation in Freshwater Aquaria. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Dec. 2001, p. 5791–5800 Vol. 67, No. 12
2. Drayer Andrade, Gregorio Enrique. “HACIA UN MODELO BÁSICO DE UN SISTEMA ACUÍCOLA EN RECIRCULACIÓN” (Consultada en Septiembre de 2006). [\[Para más información....\]](#)
3. Mommsen, T.P., Walsh, P.J. - Urea synthesis in fishes: evolutionary and biochemical perspectives. Hochachka, P.W., Mommsen, T.P. (Eds.), Phylogenetic and Biochemical Perspectives. Elsevier, Amsterdam, páginas 137–163, 1991.
4. Neil Frank - Ammonia Toxicity to freshwater fish. The effects of pH and temperatura. The Aquatic Gardener 5(6)
5. Walstad Diana, “Ecology of the planted Aquarium”. Echinodorus Publishing, Chapel Hill, North Carolina (U.S.A.) página 22 Capítulo II, Segunda edición.
6. Wood, C.M. - Influence of feeding, exercise, and temperature on nitrogen metabolism and excretion. Wright, P.A., Anderson, P.M. (Eds.), Nitrogen Excretion. Academic Press, San Diego, páginas . 201– 238, 2001.
7. “Enciclopedia Hispánica”, ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA PUBLISHERS, INC. Pág. 67 Vol. 10, 1994.

6. Glosario

Alcalinidad: este término se usa para definir la capacidad buffer del par carbonato-bicarbonato. Suele confundirse con KH, aunque por definición no son lo mismo. La medición de alcalinidad da idea de la concentración de carbonatos-bicarbonatos e influye también la presencia de fosfatos, silicatos, etc. En aguas con bajo contenido de sodio el valor de alcalinidad es equivalente al KH.

Concentración: Cantidad de elementos en un determinado volumen o superficie y se expresa siempre como la cantidad de elementos por unidad de medida de espacio. En química, dice de la cantidad de una sustancia presente en una solución. Puede expresarse en muchas unidades distintas, explícitas como mg/L, g/L, mg/ml o por convención como % (porcentaje, una parte en cien, aclarando peso o volumen), ppm (una parte en un millón de partes, también aclarando peso o volumen), M (molar, un mol en un litro de solución).

Ión: partícula cargada eléctricamente. Solo puede existir en solución con un solvente capaz de autoionizarse. No todas las sustancias son capaces de ionizarse en agua, por ejemplo, el azúcar común se disuelve pero no se ioniza. Todos los ácidos, bases o sales se ionizan en mayor o menor medida.

pH: Forma de expresar la acidez, o sea la concentración de H₃O⁺. En química se define el operador matemático “p” como “logaritmo de la inversa de”, en este caso aplicado a H₃O⁺. Al ser una escala logarítmica el cambio de una unidad de pH equivale a un cambio de 10 unidades en la acidez. En la escala de pH neutro es 7, ácido valores menores a 7 y alcalino o básico valores mayores a 7. [\[Para más información sobre este término...\]](#)