

Nuestras autoras continúan su serie de artículos que relacionan a la química con un problema de interés para la sociedad

## ¿Qué comen las vacas?

Ana Martínez y Rubicelia Vargas\*

Pasto y agua podría ser una respuesta. Si comparamos lo que comen las vacas con lo que comen los seres humanos, podemos fácilmente ver que, para sobrevivir, las vacas necesitan menor variedad de alimentos que los seres humanos. ¿A qué se debe esto? ¿Por qué a las vacas les es suficiente el pasto y nosotros tenemos que comer, además de vegetales, carne de animales como las vacas? ¿Dónde están las diferencias, en las necesidades o en el proceso de digestión? ¿Acaso las vacas no requieren proteínas animales como los seres humanos, o será que a partir del pasto las vacas son capaces de sintetizar todo lo que necesitan? Todas estas preguntas surgen al tratar de darle una respuesta a la pregunta inicial y son importantes para conocer los procesos químicos que se llevan a cabo durante la digestión. Pero ¿para qué nos interesa saber qué comen las vacas? En este caso la respuesta es importante porque necesitamos esa información para resolver el problema que nos atañe, y que hemos expuesto en dos artículos anteriores (Martínez, 1997) (Vargas, 1998). Recordemos.

La vida y la muerte de las vacas está relacionada con el proceso de cosecha del café, ya que las vacas se mueren durante la época de cosecha del grano. Esto se ha observado repetidamente a lo largo de los años en la zona del río Amiztlán, que recorre los estados de Puebla y Veracruz en México. Lo que se sabe es que el agua de desecho de los conocidos como "beneficios húmedos" del café se vierte precisamente en este río. En los artículos anteriores analizamos la composición de los productos de desecho que se producen durante el proceso del café y sus posibles efectos. Para analizar el problema en su conjunto necesitamos conocer lo que comen las vacas. Con toda esta información tendremos los elementos para analizar la situación y así tratar de plantear posibles soluciones.

El problema de la muerte de las vacas es por sí mismo importante. Para los ganaderos de la zona representa grandes pérdidas económicas, y para la sociedad en su conjunto significa que posiblemente existe la producción de contaminantes que son perjudiciales para la salud. En el ámbito educativo, esta información se puede utilizar como material

de apoyo para cursos de química, que sigan la idea de plantear problemas reales cuya solución requiere de conocimientos de química. Esta forma de enseñanza sigue a la escuela del *Chemcom* estadounidense (Shea, 1993), desarrollada para los alumnos del bachillerato. Adquirir de esta forma el conocimiento puede también ser válido para estudiantes de los primeros cursos universitarios. Bajo esta perspectiva se presenta ahora lo que comen las vacas.

### NUTRIENTES

El cuerpo de los animales requiere de ciertas clases y cantidades de nutrientes alimenticios. Se ha definido un nutriente (Morrison, 1959) como "un componente o grupo de componentes de un alimento de la misma composición química general que permite mantener la vida del animal". Como parte de los nutrientes se encuentra el agua que el animal necesita para subsistir. En esta sección trataremos lo que comen las vacas, para lo cual expondremos primero los nutrientes provenientes del alimento. Después nos enfocaremos en el agua, ya que ésta podría ser la fuente de nuestros problemas.

### ALIMENTO

Cuando las vacas se encuentran en su medio ambiente natural, o bien son alimentadas en pastizales, su comida es simplemente pasto. Si están en una granja también se les nutre con pienso. El pienso es un alimento preparado especialmente para el ganado vacuno, que contiene los nutrientes necesarios bien balanceados. ¿Qué es lo que obtienen las vacas al comer pasto? ¿Qué es lo que contiene el pienso que puede servirles de alimento?

### El pasto

Los nutrientes que tiene el pasto como alimento se obtienen a través de dos procesos naturales muy importantes: la fotosíntesis y la fijación de nitrógeno.

### Fotosíntesis y fijación de nitrógeno

El proceso biológico más importante que ocurre en la superficie de nuestro planeta es la fotosíntesis. A través de ésta se produce la mayor fuente de energía de la cual dependen vitalmente los organismos que no realizan fotosíntesis, como el ser humano. Además, la fotosíntesis va a compañada por la producción de oxígeno, indispensable para los seres vivos. De hecho la única fuente de oxígeno en la Tierra es precisamente la fotosíntesis.

\* Departamento de Química, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F., México.  
Correo electrónico: martina@xanum.uam.mx  
rubi@xanum.uam.mx

Recibido: 24 de agosto de 1998; Aceptado: 17 de septiembre de 1998.

La ecuación química que representa el proceso de fotosíntesis se puede ver ilustrada en la figura 1.



Figura 1. Reacción de fotosíntesis

### Desafío

Escribe los números de oxidación de cada elemento en la reacción de fotosíntesis. Indica cuál es la ecuación que representa a la reacción de oxidación y escribe la ecuación que corresponde a la reacción de reducción. ¿Es posible que exista una reacción de oxidación sin una reacción de reducción asociada? Explica tu respuesta.

Para los organismos aeróbicos la fotosíntesis es vital, de la misma forma que para los organismos fotosintetizadores las reacciones que se llevan a cabo por los organismos aeróbicos es crucial. Todos los organismos aeróbicos, es decir, que necesitan oxígeno para subsistir, producen dióxido de carbono y agua, dos compuestos que son indispensables en la fotosíntesis. Los compuestos de carbono que se obtienen a través de la fotosíntesis son los que sirven de alimento para los organismos aeróbicos. A esto se le conoce como el ciclo del carbono.

El ciclo del carbono comienza con la fotosíntesis y por lo tanto, la vida, como la conocemos, se le debe a ella.

### Ciclo del carbono

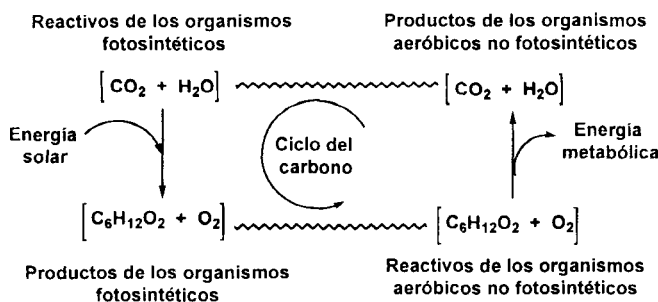


Figura 2. Ciclo del carbono.

El efecto neto de la fotosíntesis es simple. El carbono en su forma oxidada de más baja energía ( $\text{CO}_2$ ) se transforma por los organismos fotosintetizadores en una forma reducida y de mayor energía ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). La energía la proporciona la luz solar y el poder reductor lo suministra el agua.

### Ya sabes que

La oxidación es la pérdida de electrones.  
La reducción es la ganancia de electrones.

De esta forma, el  $\text{CO}_2$  atmosférico es la principal fuente de carbono. A través de las reacciones de fotosíntesis se forman los carbohidratos, que son compuestos formados por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno.

### Desafío

Explica el siguiente párrafo:

El carbono en su forma oxidada ( $\text{CO}_2$ ) se transforma por los organismos fotosintetizadores en una forma reducida ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ).

¿Qué quiere decir que se encuentra en una forma oxidada o en una forma reducida? ¿Por qué se dice que el poder reductor lo suministra el agua?

Sin embargo, éstos no son todos los nutrientes que necesitan los organismos vivos, ya que como parte de la alimentación, también se encuentran las proteínas. En el artículo anterior (Vargas, 1998), veíamos que las proteínas son largas cadenas de aminoácidos que contienen grupos carboxilo ( $\text{RCOOH}$ ) y grupos amino ( $\text{RNH}_2$ ). Las proteínas, además de carbono, hidrógeno y oxígeno, contienen nitrógeno. ¿De dónde obtienen el nitrógeno las vacas si sólo comen pasto?

La principal fuente de nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) es el aire. Para poder aprovecharlo, existen microorganismos que son responsables del proceso de fijación de nitrógeno. Los miles de organismos que son capaces de fijar el nitrógeno incluyen ciertas bacterias anaeróbicas y aeróbicas del suelo, que crecen independientemente o en simbiosis con plantas, bacterias fotosintéticas y algas azul-verdosas. El nombre que se le da al sistema enzimático responsable de la fijación es *nitrogenasa*. La reacción global catalizada por la nitrogenasa se ilustra en la figura 3.

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que se obtiene en la fijación del

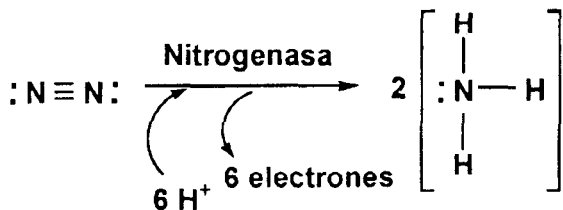


Figura 3. Reacción de la nitrogenasa.

nitrógeno se utiliza directamente por las plantas para producir todos los compuestos que contienen nitrógeno. Las plantas son ingeridas por los animales, quienes a través de sus excreciones o bien cuando mueren, regresan el amoniaco al suelo. Ciertas bacterias del suelo, llamadas nitrificantes, pueden utilizar el amoniaco como fuente de electrones, mediante su oxidación a  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ .

### Desafío

Escribe una ecuación química que represente el proceso que se menciona en el siguiente párrafo: Las bacterias nitrificantes utilizan el amoniaco como fuente de electrones, mediante su oxidación a  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ .

El amoniaco es una sustancia tóxica, por lo que las bacterias nitrificantes juegan un importante papel cuando lo convierten en  $\text{NO}_3^-$  no tóxico, forma en la que se almacena en el suelo. Hay microorganismos que son capaces de convertir el  $\text{NO}_2^-$  y el  $\text{NO}_3^-$  en amoniaco, y otros que toman al amoniaco y lo convierten en nitrógeno ( $\text{N}_2$ ). De esta forma se constituye el ciclo del nitrógeno, como se ilustra en la figura 4.

A través de estos dos procesos, las vacas que sólo comen pasto obtienen todos los nutrientes necesarios para subsistir.

### Pienso como alimento

En un determinado pienso, el contenido de nutrientes en una muestra de alimento es el que se presenta en la figura 5. Las cantidades pueden variar de una muestra de pienso a otra, pero en general éstas son las proporciones que se encuentran.

Dentro de la materia orgánica, se puede observar que existen proteínas y materias no nitrogenadas. Como parte de la materia no nitrogenada se encuentran las grasas y los carbohidratos. Estos compuestos están formados por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Debido a que no contienen nitrógeno se les da el nombre de materia no nitrogenada.

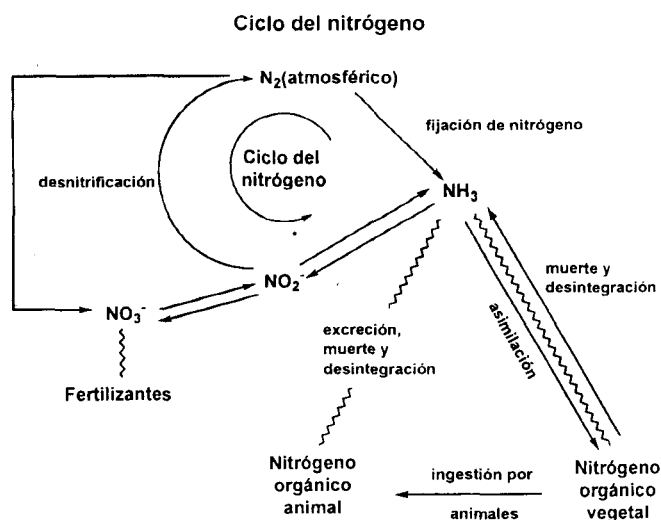


Figura 4. Ciclo del nitrógeno.

Para determinar el valor nutritivo de un determinado alimento se tiene que efectuar un análisis químico como el que se muestra en la figura 6.

Sin importar si las vacas se alimentan de pasto o de pienso, los nutrientes nitrogenados merecen una atención

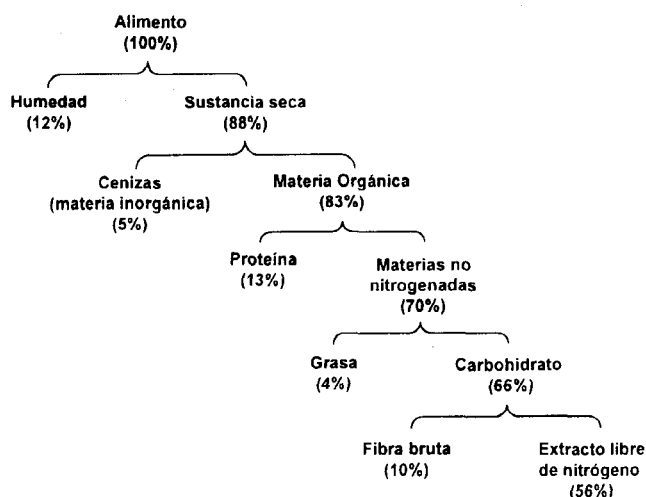


Figura 5. Componentes de una muestra de alimento para animales.

especial, ya que es en esta parte donde se presentan las principales diferencias entre la digestión de los rumiantes y la de los animales que no lo son, como el ser humano.

**Nutrientes nitrogenados**

Los nutrientes nitrogenados están divididos en proteínas y nitrógeno no proteico. En la parte de proteínas se observa que existen aminoácidos esenciales y no esenciales. Se le llama proteína de baja calidad a la que contiene un bajo contenido de aminoácidos esenciales.

contenga aminoácidos no esenciales o nitrógeno no proteico como la urea ( $N_2H_4CO$ ). Se sabe que las necesidades de proteína del ganado pueden satisfacerse ventajosamente con el uso de la urea como fuente de nitrógeno, o de otros compuestos similares que también contienen nitrógeno.

**Desafío**

¿Cuáles son los aminoácidos esenciales para el ser humano? ¿De dónde los obtiene? ¿Cuál es la fórmula del aspartame? ¿Por qué las personas fenilcetonúricas no pueden consumir refrescos dietéticos que contengan aspartame?

Escribe la fórmula desarrollada de un monosacárido y de un polisacárido. Averigua si el ser humano puede consumir almidón.

**Un poco de historia**

En el siglo pasado (Werske, 1879) Werske y sus colaboradores informaron que los rumiantes podían convertir el nitrógeno no proteico en proteína. En 1949 Loosli y sus colaboradores (Loosli, 1949) descubrieron que los diez aminoácidos esenciales se sintetizan en el rumen. Al parecer, en los rumiantes lo único que se necesita como alimento para sintetizar proteínas es una fuente de nitrógeno.

En el ser humano es fundamental que la dieta contenga aminoácidos esenciales, ya que éstos no se pueden sintetizar en el organismo y se requieren para la formación de las proteínas. Por el contrario, en los rumiantes, la calidad de la proteína tiene poca importancia. Esto se debe a que el organismo de los rumiantes o animales poligástricos puede sintetizar los aminoácidos esenciales. Se necesita una fuente de nitrógeno, que puede ser una proteína de baja calidad que

Para efectuar la síntesis de proteínas, en el rumen existen unas bacterias que hacen uso de las distintas fuentes de nitrógeno. La utilización del nitrógeno depende de varios factores. Uno es el tiempo transcurrido entre su entrada al rumen y la síntesis de proteína microbiana. Otro es la adaptación de la microflora del rumen a las fuentes de nitrógeno procedente de proteína de baja calidad (privada o con un bajo contenido de aminoácidos esenciales).

El amoníaco es el denominador común en la utilización de nitrógeno no proteico por los rumiantes. Si los microorganismos del rumen son incapaces de degradar la urea para liberar amoníaco, la urea resulta inútil como fuente de nitrógeno.

La utilización completa de la urea parece seguir las etapas mostradas en la figura 7.

Las bacterias del rumen deben utilizar el amoníaco procedente de la urea, por lo que es importante satisfacer las necesidades nutritivas de la microflora ruminal. La dieta debe contener cantidades idóneas de energía y minerales para que las bacterias utilicen con eficacia el amoníaco. El almidón de los cereales o los azúcares de las melazas proporcionan energía para las bacterias.

El consumo de niveles altos de urea puede determinar una rápida acumulación en los fluidos ruminales. Esto determina una elevación rápida del pH del rumen, lo que ocasiona que el amoníaco sea absorbido con rapidez. Cuando la velocidad con que se absorbe el amoníaco supera la capacidad hepática para convertirlo en urea, se acumula amoníaco en la sangre y puede originar intoxicación e incluso la muerte del animal. Parece que algunos de los síntomas de intoxicación aguda por amoníaco son nerviosismo, salivación excesiva, temblores musculares, incoordinación, dificultad respiratoria, emisión frecuente de orina y heces, rigidez de las

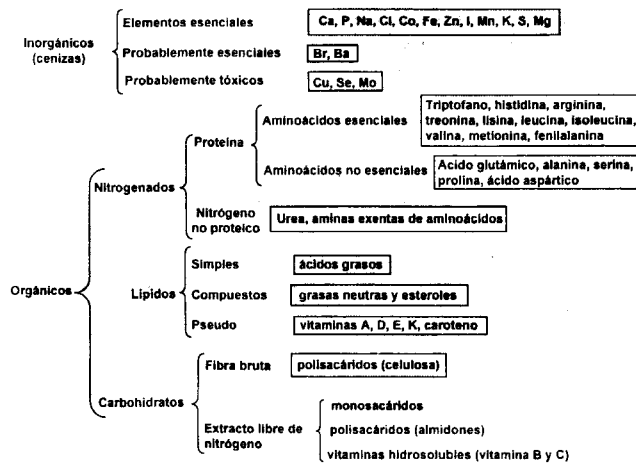


Figura 6. Diseño para el análisis químico de nutrientes en los alimentos.

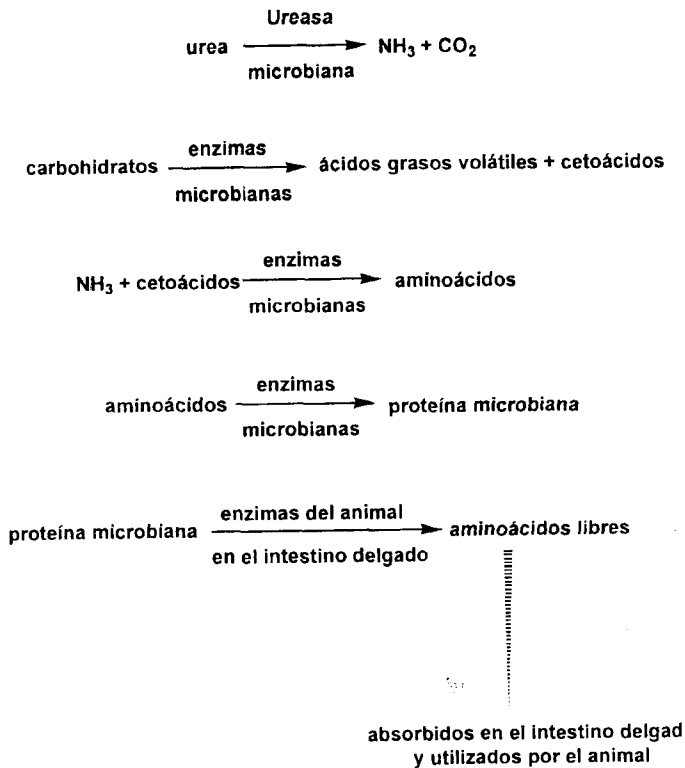


Figura 7. Etapas en la utilización completa de la urea.

extremidades, bramidos y meteorismo. La muerte se produce entre media y dos horas y media después de iniciarse los síntomas.

**El agua**

Las necesidades de agua que tienen los animales pueden ser más importantes que las de los otros nutrientes. Estas necesidades se cubren mediante tres fuentes:

- a) agua de bebida
- b) agua contenida en el pienso
- c) agua metabólica que se forma en el organismo

**Agua de bebida**

La cantidad de agua que consume el ganado vacuno productor de carne depende del consumo de alimento y de la temperatura ambiental principalmente. Oscila entre 8.4 y 12.5 litros de agua por cada 100 kg de peso corporal del animal. En la Tabla 1 se presenta la cantidad de agua ingerida por ganado vacuno cuando la temperatura ambiental es distinta.

Dentro de los factores que influyen en el consumo de agua se encuentra la presencia de sal (NaCl) en los alimentos.

Tabla 1. Cantidad de agua ingerida por el ganado vacuno, relacionada con la temperatura ambiental.

Clase de ganado	Temperatura ambiental (° C)	Agua ingerida (kg de agua por kg de alimento consumido)
Termeros (5-6 primeras semanas de vida)	no depende de la temperatura	6.5
Vacuno (con más de 100 kg, no gestante ni lactante)	-17.0 - 10.0	3.5
	10-15	3.6
	15-21	4.1
	21-27	4.7
	superior a 27	5.5

El ganado vacuno bebe más agua cuando la cantidad de sal en la dieta es mayor al 1% del alimento seco, o cuando alcanza los 115 gramos diarios.

La calidad del agua es un factor importante en la salud de los animales. Algunos datos indican que la presencia de sulfatos en concentraciones superiores a 1g/L pueden provocar diarrea. Otro contaminante son los nitritos, que pueden ser tóxicos cuando los niveles superan las 100 ó 200 ppm.

**Desafío**

Haz una investigación para saber por qué el consumo de agua de las vacas se afecta por la presencia de sal. ¿Pasará lo mismo con los seres humanos? ¿Es cierto que cuando consumes algún alimento salado después tienes más sed?. Explica el porqué de estas preguntas con tus propias palabras.

Calcula la concentración expresada en molaridad, de la cantidad de sulfatos que les puede producir diarrea a las vacas. ¿A qué se refiere la expresión ppm? Calcula la concentración de nitritos que es tóxica para las vacas, expresada en molaridad.

**Agua contenida en el pienso**

El contenido de humedad en el pienso es un factor que debe controlarse con cuidado. Un pienso sumamente seco no es consumido en iguales cantidades por los animales que uno que contiene un cierto grado de humedad. Por otro lado, si el pienso contiene mucha agua el animal comerá alimento que en cierta forma está diluido y consumirá menor cantidad de los otros nutrientes.

El nivel máximo de humedad que puede tener una ración de alimento, sin influir sobre el consumo de pienso y el rendimiento de los animales, es del 35%.

### Agua metabólica

Ésta es una importante fuente de agua. Para entenderla tendemos que revisar lo que es el metabolismo. A la suma de todas las reacciones que ocurren en un organismo vivo se le conoce como metabolismo. Un organismo, sea humano o microbiano, es capaz de hacer lo que hace gracias a que bioquímicamente realiza una serie de reacciones específicas, que son responsables de mantener la viabilidad del organismo.

El metabolismo global de cualquier célula puede dividirse en dos grandes tipos: catabolismo y anabolismo. El catabolismo engloba a las reacciones degradativas, aquellas que convierten moléculas grandes en pequeñas, mientras que el anabolismo es la suma de reacciones de síntesis.

Las reacciones degradativas producen energía. Las reacciones de síntesis requieren energía; el catabolismo es de naturaleza oxidativa, el anabolismo es reductivo. Mientras que el catabolismo emplea formas oxidadas de los compuestos y produce las formas reducidas, en el anabolismo es el proceso inverso: se requieren las moléculas reducidas y se producen las oxidadas. De esta forma, las dos fases del metabolismo son complementarias.

Dentro de las múltiples reacciones que ocurren en el metabolismo de los seres vivos, existen algunas que producen moléculas de agua. Como ejemplo de ello está la reacción que se representa a continuación:

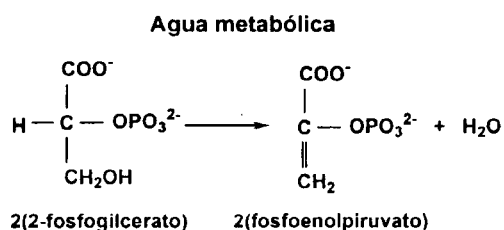


Figura 8. Obtención de agua a través de reacciones metabólicas.

El agua así producida es la que se conoce como agua metabólica. En las vacas particularmente, el catabolismo de

1 kg de grasa produce 1.19 gramos de agua. El catabolismo de 1 kg de carbohidratos produce 560 gramos de agua mientras que con el catabolismo de 1 kg de proteína se forman 450 gramos de agua.

### ¿Cuál puede ser la causa de la muerte?

Parecen ser dos las posibles causas de la muerte de las vacas. Por un lado está la posibilidad de que las vacas se intoxiquen con amoníaco (NH<sub>3</sub>). Para averiguarlo habría que investigar con más precisión cuáles son los síntomas de las vacas que se mueren en Veracruz, para después, si hay sospecha de intoxicación por amoníaco, tratar de investigar de dónde proviene. Con esta información se pueden proponer formas de eliminarlo.

Por otro lado está la posibilidad de que el agua contenga concentraciones altas de sulfatos o de nitritos. Estas podrían provenir de las aguas de desecho de los beneficios del café. Sin embargo, si recordamos lo que contenían los desechos del café (Vargas, 1998) al parecer no hay ni sulfatos ni nitritos. Contienen carbohidratos y proteínas. Si es así, ¿no podrían utilizarse los desechos del café como alimento para las vacas, independientemente de si éstos perjudican o no la vida de las vacas?

En el próximo artículo realizaremos una práctica de campo para analizar las aguas del río Amiztlán, presentaremos los síntomas observados por los ganaderos de la zona en las vacas que finalmente se mueren, y propondremos una alternativa que puede ayudar a resolver parte de los problemas de contaminación del río Amiztlán. ■

### Referencias

- Loosli, J.K., Williams, H.H., Thomas, W.E., Ferris, F.H., Maynard, L.A., Synthesis of amino acids in the rumen, *Science*, 110, 144, 1949.
- Martínez, A. y Vargas, R., Las cabras locas, la UAM, el café y las vacas muertas, *Educ. quím.*, 8[2] 97-103 (1997).
- Matsushima, J.K., *Alimentación de vacuno para carne*, Acribia, Zaragoza, 1979.
- Morrison, F.B., *Feeds and feeding*, Morrison Publishing Company, 22 edición, Ithaca, N.Y., 1956.
- Vargas, R. y Martínez A., El café y las vacas muertas, *Educ. quím.*, 9[1] 20-27 (1998).
- Werske, H., Schrod, M. Danger, St. V., Über die Bedeutung des Asparagins für die tierische Ernährung, *Zeit. Biol.*, 15 261, 1879.