

EL YODO EN LA NUTRICION DEL GANADO BOVINO

Jorge Ml. Sánchez¹

Abstract

Iodine in bovine nutrition. A review. Iodine is an essential element in animal nutrition. Although the only function of this element is to be part of the thyroid hormones (thyroxine and triiodothyronine); these have an important role in thermoregulation, intermediary metabolism, growth and development, hematopoiesis and circulation, neuromuscular functioning and reproduction. Iodine is mainly concentrated in the thyroid tissue. In the adult bovine this gland has nearly 100 mg of iodine, which is considered an important amount since this is a micromineral and the thyroid only weighs 30 g. Because 90% of iodine present in the Protein Binding Iodine (PBI) corresponds to thyroxine and 10% to triiodothyronine, the analysis of the PBI is an excellent indicator of the iodine nutritional status of the animal. Normal values of PBI range from 2.73 to 4.11 g/100 ml in the different categories of bovines. Iodine content of milk is affected by the level of this element in feed as well as for the use of iodine disinfectants as test dips or udder washes. Milk and milk products are considered a good source of this element for human

¹ Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica

nutrition. Iodine deficiency is very common and affects mainly inland areas. Low levels in the diet affects reproduction of cows, causing irregular estrous cycles, low conception rates as well as resorbed fetuses, abortions, stillbirths or calves may be born with gaiter, blind, hairless or weak. Male fertility may also be affected decreasing libido and semen quality. Likewise, severe Iodine deficiency may reduce milk production or growth rate. A common feeding practice to prevent the deficiency is to supplement salt containing 0.01-0.02% of Iodine. Sources frequently used to supplement this element are Calcium Iodate, Ethylenediamine Dihydriodade and estabilized Potassium Iodide. Requirements for dairy cattle range from 0.6 mg/Kg of DM for lacting cows to 0.25 for calves, growing heifers and bulls, for the different categories of beef cattle requirements are 0.5. Although bovine can tolerate Iodine levels far in excess of their requirements, a level of 50 mg/Kg of DM has been suggested as the maximum tolerable level. In Costa Rica there is no information of the Iodine contents of forages or soils; because our country is in a Iodine deficient area, feeding practices usually include the supplementation of this element.

INTRODUCCION

Diferentes pueblos antiguos sabían que algunos productos de origen marino tienen la propiedad de mejorar el funcionamiento de la glándula tiroides, y en tiempos de Hipócrates (460 a 370 A.C.) se le recomendaba a las personas con bocio suplementar sus dietas con algas marinas para aliviar su condición. No fue sino hasta en el año de 1815 que Davy descubrió que esta propiedad de las algas y otros productos marinos se debe a su contenido de Yodo, el cual había sido descubierto por Courtois en 1811. La idea de que el Yodo forma parte de la molécula de la proteína sintetizada por la glándula tiroides empezó a elaborarse poco antes de 1900 y en el año de

1914 Kendall aisló la tiroxina del tejido tiroideo. Doce años después Harrington estableció la fórmula empírica de esta hormona y estimó que un 40% del total del yodo de la glándula tiroidea está integrando la tiroxina (Miller, Ramsey y Madsen, 1988; NRC, 1980; Underwood, 1983).

La deficiencia de yodo en humanos y animales es una de las deficiencias nutricionales más comunes y afecta prácticamente a todos los países. Esta deficiencia frecuentemente se conoce con el nombre de bocio endémico y en aquellas regiones en que su incidencia es importante se ha encontrado que los niveles de este elemento en los suelos, plantas, alimentos y aguas también son bajos, es por ello que el contenido de Yodo en el sistema suelo-planta-humano o animal siguen la misma tendencia (Hays y Swenson, 1993; Mc Dowell, et al., 1993; Underwood, 1983).

El uso de la sal yodada ha reducido sustancialmente la incidencia del bocio endémico; sin embargo éste continúa siendo un problema en hatos de ganado bovino en las zonas tropicales (Mc Dowell, et al., 1993).

ESENCIALIDAD DEL YODO PARA EL ORGANISMO

Aunque la única función del yodo en el organismo animal es la de formar parte de las hormonas tiroideas (tiroxina y triyodotironina), éstas juegan un papel primordial en la termorregulación, metabolismo intermedio, diferenciación y crecimiento celular, hematopoyesis y circulación, funcionamiento neuromuscular y reproducción, por lo que el yodo por medio de estas hormonas tiene una amplia participación en el metabolismo (Hays y Swenson, 1993; NRC, 1980; Underwood, 1983).

DISTRIBUCION EN EL ORGANISMO

La glándula tiroides es el órgano que contiene la mayor concentración de yodo (0.2 a 0.5% del peso seco) y la mayor cantidad de este elemento en el organismo (50 a 80% del total del elemento). Esta capacidad de la glándula para acumular el yodo se debe a un proceso de absorción activo que es estimulado por la Hormona Estimulante de la Tiroides (TSH), la cual a su vez es sintetizada por la adenohipófisis. Niveles de este elemento inferiores a 0.1% del peso seco de la glándula tiroides indican que el animal sufre de bocio endémico. El yodo también se concentra por mecanismos activos; pero sin que medie la TSH; en el estómago (abomaso), intestino delgado, glándulas salivales, glándula mamaria y placenta. Otras estructuras en que está presente son piel, ovarios, plasma sanguíneo, pulmones, riñones, páncreas, hígado y músculo esquelético. La concentración de yodo inorgánico en la mayoría de los tejidos es de 1 a 2 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ y la de orgánico ligado es de 5 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. La tiroides de una vaca adulta contiene alrededor de 100 mg de yodo, el cual puede satisfacer las necesidades durante unas pocas semanas de deficiencia dietética del elemento. Esta cantidad es apreciable si consideramos que el yodo es un microelemento y la glándula pesa únicamente 30g. En el Cuadro 1 se indica la distribución del yodo en el organismo de un bovino adulto, destacándose que un 55% del elemento se concentra en la tiroides (Church y Pond, 1982; Miller, Ramsey y Madsen, 1988; The Netherlands Committee on Mineral Nutrition, 1973; Underwood, 1983). El nivel normal de yodo en el suero sanguíneo de los animales domésticos oscila entre 14 y 52 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ (Kaneko, 1980).

Cuadro 1. Distribución del Yodo en el Ganado Bovino

	Peso del órgano o tejido como % del peso corporal	Distribución del Yodo (%)
Tiroides	0.006	55
Tracto Gastrointestinal	20	40
Músculo	37	1
Sangre	7	1.2
Esqueleto	15	0.7
Organos internos	15	1.3
Pelo, piel, pezuñas, etc.	6	0.8

Miller et al. (1973); citado por Miller et al. (1988)

METABOLISMO

El yodo se encuentra en los alimentos y forrajes especialmente en la forma inorgánica y es así como se absorbe a lo largo del tracto gastrointestinal. En los bovinos el yodo consumido se absorbe entre un 70 y 80% en el rumen y un 10% en el abomaso. En los intestinos delgado y grueso, incluyendo el ciego, también hay una absorción neta. Si bien es cierto que en el omaso ocurre una absorción importante, esta corresponde especialmente al yodo endógeno que reingresa al tracto gastrointestinal. En estudios realizados con yodo radioactivo se ha visto que hasta un 65% del elemento inyectado a una vaca adulta se excreta y reabsorbe en el omaso después de 6 horas (Church y Pond, 1982; Miller, Ramsey y Madsen, 1988).

Después de que el yodo es absorbido en el tracto gastrointestinal se distribuye rápidamente en el organismo, concentrándose especialmente en la glándula tiroides por el estímulo de la TSH. Un 30% o más del elemento consumido es captado por esta glándula. La capacidad de la glándula tiroides para concentrar el yodo se expresa en términos de la relación entre la concentración del yodo de la tiroides y la del suero sanguíneo (valor T/S). En los animales normales o eutiroideos este cociente es 20. El yodo que es atrapado por la glándula tiroides se almacena en los folículos de esta glándula ligado a una proteína denominada tiroglobulina. Este yodo es posteriormente oxidado por medio de una peroxidasa tiroidea para constituir una forma reactiva que se liga a la tirosina de la tiroglobulina, primero en la posición 3 (monoyodotirosina) (MIT), luego en la posición 5 (diyodotirosina) (DIT). Por condensación oxidativa, dos moléculas de DIT dan origen a la molécula de Tiroxina (T_4), la cual permanece unida a la tiroglobulina. La T_4 se convierte a 3,5,3' Triyodotironina (T_3) en el riñón y en el hígado. La T_3 puede ser también el producto de la condensación de la MIT y DIT. Esta forma de la hormona es de 3 a 5 veces más activa que la T_4 .

Los enlaces peptídicos entre los amino ácidos yodados y la tiroglobulina se rompen por la acción de las proteasas, liberando T_4 , T_3 , DIT y MIT al citoplasma. Las moléculas de MIT y DIT son desyodadas por la acción de una deshalogenasa microsomal, la cual no ataca a las tirocinas yodadas. La T_3 y la T_4 se liberan a la circulación y el yodo de las tirocinas desyodadas pasa a formar parte del yodo circulante junto con el yodo de la saliva y el del jugo gástrico. Este reciclaje se hace más eficiente cuando la dieta es deficiente (Miller, Ramsey y Madsen 1988). En animales deficientes la glándula tiroidea capta hasta un 65% del yodo consumido (NRC, 1989).

La tasa de secreción de la T_4 por la tiroidea es un indicador directo de la actividad de esta glándula y en una vaca eutiroidea este valor es 0.46 mg/100 kg de peso vivo/día. Este valor es afectado por la edad del animal, estado de lactación, tipo de dieta y la época climática (Kaneko, 1980).

En la glándula mamaria en lactación y en menor grado en el óvulo también el yodo se liga a la tirocina. En las otras estructuras del organismo el elemento permanece en la forma de yoduro (Church y Pond, 1982).

Las yodotironinas son transportadas en el plasma sanguíneo ligadas especialmente a una globulina (Globulina Ligada a Tiroxina o TBG) o a moléculas de albúmina o prealbúmina. La cantidad de tiroxina libre presente en el plasma corresponde a un 0.05% del total de la hormona (Church y Pond, 1982).

Uno de los métodos más directos para medir la actividad de la glándula tiroidea es la determinación de la cantidad de las hormonas tiroideas en la sangre. Debido a que aproximadamente un 90% del yodo presente en la proteína que liga a las hormonas tiroideas (PBI) corresponde a la T_4 y el 10% restante a la T_3 y otros derivados yodados; y a que estos

valores son muy constantes; una medición del PBI en el plasma es un buen indicador de la cantidad de hormonas tiroideas circulantes. El contenido promedio de PBI en el ganado bovino en general oscila entre 2.73 y 4.11 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ de suero. En el ganado lechero para las vacas en producción, vaquillas preñadas y novillas vacías los valores observados de PBI son 3.7 ± 0.3 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, 5.0 ± 0.7 y 3.3 ± 0.1 , respectivamente. Para el ganado de carne se ha obtenido un valor promedio de 2.19 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ (Kaneko, 1980; Mc Donald, 1981).

Parte de la tiroxina plasmática es degradada o conjugada en el hígado constantemente y secretada por la bilis al tracto gastrointestinal, donde un 10% aproximadamente es absorbido. Las mayores pérdidas irreversibles de yodo ocurren por la orina, las heces y la leche. Cuando el consumo de yodo es normal un 25% de las pérdidas ocurren por las heces y un 40% por la orina. El contenido de yodo en la orina se correlaciona positivamente con la concentración de este elemento en el plasma sanguíneo y el aportado por la dieta. Se estima que el 10% del yodo consumido por la vaca lactante se excreta por la leche (Hays y Swenson, 1993; Miller, Ramsey y Madsen, 1988).

El metabolismo de la glándula tiroides puede ser alterado por la presencia de sustancias con actividad bociogénica en la dieta, tales como tioglucósidos, tiocianatos y percloratos. Entre los alimentos que contienen estas sustancias están las crucíferas, la soya, la linaza, los guisantes y el maní. Los iones de tiocianatos y percloratos actúan al inhibir la capacidad de la tiroides de concentrar en forma selectiva el yodo. Esta acción es reversible al incrementar los niveles de yodo en la dieta. Los tioglucósidos de las crucíferas y otros bociogénicos del tipo tiouracil actúan inhibiendo la síntesis de las hormonas en la tiroides y su efecto es ligeramente reversible o no es reversible con la suplementación de yodo. Las sustancias bociogénicas pueden encontrarse en la leche de las vacas que consumen crucíferas, las cuales a su vez pueden alterar el metabolismo de la glándula tiroides de aquellas personas que consumen esa leche (Hays y Swenson, 1993; Miller, 1979).

EL YODO EN LA LECHE Y LA CARNE

El yodo se caracteriza por ser el único elemento en que la cantidad consumida afecta directamente el contenido del mismo en la leche (Miller, 1979). Blom (1934; citado por Underwood, 1977) logró incrementar el nivel de yodo de la leche de un valor considerado normal de 20 a 70 $\mu\text{g/L}$ a 510-1070 $\mu\text{g/L}$ al suplementar 100 mg de KI/vaca/día. Hemken, *et al.* (1972) también han logrado incrementar el contenido de este elemento en la leche mediante la suplementación, pasando de un valor tan bajo como 8 $\mu\text{g/L}$ en animales deficientes a niveles de 81 y 694 $\mu\text{g/L}$ cuando se suplementó con 6.8 y 68 mg de I como KI/vaca/día, respectivamente. En el Cuadro 2 se presenta la respuesta obtenida por Kerchegessner (1959) a la suplementación con yodo en vacas en producción.

La suplementación con yodo en vacas ha sido sugerida como una estrategia para incrementar el consumo de este nutrimento en mujeres y niños en zonas de bocio endémico. En estas áreas el contenido de yodo en la leche es subnormal y la determinación del mismo en este alimento ha sido propuesto como un método viable para establecer el estado de la nutrición de yodo en una área. Si el contenido de yodo en la leche es inferior a 20-25 $\mu\text{g/L}$ hay una deficiencia del elemento (The Netherlands Committee on Mineral Nutrition, 1973). Binnerts (1954; citado por Underwood, 1977) ha encontrado en Holanda que la leche producida por vacas que pastoreaban forrajes en zonas deficientes en yodo contenían 9.7 $\mu\text{g/L}$, mientras que las vacas de zonas con niveles normales contenían 21.1.

En los Estados Unidos, Hemken (1979) estima que la leche producida en algunos hatos de lechería puede suplir más yodo que el requerido por los humanos, si las personas consumen medio litro o más de leche por día. El Consejo de Alimentos y Nutrición del NRC (1970) estima que el consumo de yodo entre 50 y 1000 $\mu\text{g/día}$ es seguro para personas adultas y que consumos entre 100 y 300 $\mu\text{g/día}$ son los más adecuados. En estudios realizados por Hemken (1979) en fincas comerciales de

Illinois y Maryland, se han encontrado valores promedio de 425 y 457 μg de I/L, respectivamente. En las fincas de Maryland obtuvo un rango de 63 a 1610 $\mu\text{g}/\text{L}$. En relación al contenido de yodo en los forrajes, las fincas de Maryland contenían de 1.31 a 2.54 mg/kg de MS, mientras que las de Illinois presentaron valores de 0.62 a 1.02 (Hemken, 1972).

El uso de selladores y desinfectantes yodados aumenta los ingresos de yodo al organismo e incrementa los niveles del mismo en la leche. Funke, *et al.* (1975; citado por Underwood, 1977) informan valores de 94 μg de I/L para vacas control, mientras que para las vacas tratadas después de cada ordeño con selladores yodados el contenido de este elemento fue 152 $\mu\text{g}/\text{L}$. Estos incrementos coinciden con los reportados por Miller (1979), quien estima que el uso de selladores puede incrementar el contenido del elemento en la leche entre 50 y 400 $\mu\text{g}/\text{L}$. Si los selladores y desinfectantes de ubres se usan apropiadamente, estos no causan incrementos muy grandes en el contenido de yodo en la leche. Hemken, *et al.* (1978) han encontrado que el lavado de la ubre con productos yodados (yodóforos) incrementa el contenido del elemento en la leche en 35 $\mu\text{g}/\text{L}$.

La literatura universal indica que en promedio la leche y los productos lácteos constituyen una importante fuente de yodo para los humanos. Sin embargo, este valor tiene una desviación estandard apreciable (Hemken, 1979). El yodo se encuentra en la leche de los rumiantes en la forma inorgánica.

El calostro contiene una mayor cantidad de yodo que la leche. Kirchgessner (1959; citado por Underwood, 1977) ha encontrado valores de 264 μg de I/L, los cuales son marcadamente superiores a los obtenidos en la leche (98 μg de I/L).

Los valores publicados de yodo en la carne son escasos y estos son significativamente menores que los encontrados en la leche. El efecto de la suplementación con yodo sobre el contenido del mismo en la carne no se ha establecido claramente; sin embargo, en estudios realizados con yodo radioactivo en vacas lactantes se ha visto que la leche acumula más yodo que el tejido muscular.

En estudios realizados por Fisher y Carr (1974; citados por Hemken, 1979) se citan valores de yodo en carne de 1.6, 50 y 260 μ g/kg. La gran variación que presentan estos valores puede reflejar diferencias en el consumo del elemento, diferencias en la disponibilidad del mismo y hasta en los métodos de análisis. Los valores reportados por estos autores representan de un 10 a un 50% las cantidades presentes en los mariscos, los cuales son considerados una importante fuente de este elemento.

Cuadro 2. Contenido de yodo en la leche de vacas suplementadas con diferentes niveles del elemento

Consumo de I mg/vaca/día	Contenido de I en la leche μ g/L
1.6 (bajo)	28
12.7 (promedio)	78
20.0 (alto)	267

Adaptado por Kirchgessner (1959). Citado por Miller (1979)

Illinois y Maryland, se han encontrado valores promedio de 425 y 457 μg de I/L, respectivamente. En las fincas de Maryland obtuvo un rango de 63 a 1610 $\mu\text{g}/\text{L}$. En relación al contenido de yodo en los forrajes, las fincas de Maryland contenían de 1.31 a 2.54 mg/kg de MS, mientras que las de Illinois presentaron valores de 0.62 a 1.02 (Hemken, 1972).

El uso de selladores y desinfectantes yodados aumenta los ingresos de yodo al organismo e incrementa los niveles del mismo en la leche. Funke, *et al.* (1975; citado por Underwood, 1977) informan valores de 94 μg de I/L para vacas control, mientras que para las vacas tratadas después de cada ordeño con selladores yodados el contenido de este elemento fue 152 $\mu\text{g}/\text{L}$. Estos incrementos coinciden con los reportados por Miller (1979), quien estima que el uso de selladores puede incrementar el contenido del elemento en la leche entre 50 y 400 $\mu\text{g}/\text{L}$. Si los selladores y desinfectantes de ubres se usan apropiadamente, estos no causan incrementos muy grandes en el contenido de yodo en la leche. Hemken, *et al.* (1978) han encontrado que el lavado de la ubre con productos yodados (yodóforos) incrementa el contenido del elemento en la leche en 35 $\mu\text{g}/\text{L}$.

La literatura universal indica que en promedio la leche y los productos lácteos constituyen una importante fuente de yodo para los humanos. Sin embargo, este valor tiene una desviación estandard apreciable (Hemken, 1979). El yodo se encuentra en la leche de los rumiantes en la forma inorgánica.

El calostro contiene una mayor cantidad de yodo que la leche. Kirchgessner (1959; citado por Underwood, 1977) ha encontrado valores de 264 μg de I/L, los cuales son marcadamente superiores a los obtenidos en la leche (98 μg de I/L).

Los valores publicados de yodo en la carne son escasos y estos son significativamente menores que los encontrados en la leche. El efecto de la suplementación con yodo sobre el contenido del mismo en la carne no se ha establecido claramente; sin embargo, en estudios realizados con yodo radioactivo en vacas lactantes se ha visto que la leche acumula más yodo que el tejido muscular.

En estudios realizados por Fisher y Carr (1974; citados por Hemken, 1979) se citan valores de yodo en carne de 1.6, 50 y 260 μ g/kg. La gran variación que presentan estos valores puede reflejar diferencias en el consumo del elemento, diferencias en la disponibilidad del mismo y hasta en los métodos de análisis. Los valores reportados por estos autores representan de un 10 a un 50% las cantidades presentes en los mariscos, los cuales son considerados una importante fuente de este elemento.

Cuadro 2. Contenido de yodo en la leche de vacas suplementadas con diferentes niveles del elemento

Consumo de I mg/vaca/día	Contenido de I en la leche μ g/L
1.6 (bajo)	28
12.7 (promedio)	78
20.0 (alto)	267

Adaptado por Kirchgessner (1959). Citado por Miller (1979)

EL YODO EN LA REPRODUCCION DEL GANADO BOVINO

Los problemas reproductivos del ganado bovino frecuentemente son una manifestación secundaria del mal funcionamiento de la glándula tiroides, tanto en la madre como en el feto, causada por una deficiencia de yodo en la dieta. El desarrollo fetal en madres deficientes puede detenerse en cualquier estado y causar muerte embrionaria temprana, reabsorción fetal, natimortos o nacimiento de crías con bocio, débiles y sin pelaje. Además, esta deficiencia puede prolongar el período de gestación, aumentar la incidencia de partos distócicos y la retención de placenta (Hays y Swenson, 1993; Hurley y Doane, 1989; Miller, 1979). La deficiencia de este elemento también puede causar ciclos estrales anormales y tasas de concepción bajas (Hays y Swenson, 1993). Diferentes investigadores (Allcroft, *et al.*, 1954; citado por Hurley y Doane, 1989) han encontrado bajos niveles de PBI en hatos con alta incidencia de problemas reproductivos tales como abortos, natimortos y crías que nacen débiles.

En los machos, la deficiencia produce depresión de la libido y deterioro de la calidad del semen (Hignett, 1950; citado por Hurley y Doane, 1989; Church y Pond, 1982).

El efecto de las dietas con niveles excesivos de yodo sobre la reproducción de las vacas se discutirá en el capítulo referente a la toxicidad y niveles máximos tolerables.

EL YODO EN LOS FORRAJES Y MATERIAS PRIMAS DE USO COMUN EN LA FORMULACION DE ALIMENTOS PARA EL GANADO BOVINO

Minson (1990) al realizar una extensa revisión de literatura sobre el contenido de yodo en los forrajes encontró un valor promedio de 0.26 mg/kg de MS en una amplia variedad de pastos, con valores que oscilaron desde 0.05 hasta 1.90 (Cuadro 3). Esta variación tan grande se atribuye al efecto de la especie (el cultivar también puede ser fuente de variación), estado vegetativo en que se cosecha el forraje y la fertilidad del suelo (natural y producto del uso de fertilizantes), especialmente en lo referente a la disponibilidad de yodo. Los suelos arcillosos son más ricos en yodo que los arenosos y esto repercute sobre el contenido de este elemento en el forraje. Así, Statham y Bray (1975; citados por Minson, 1990) han encontrado valores de 0.18 mg/kg de MS en el pasto *Lolium perenne* que crece en suelos arenosos y 0.29 en suelos arcillosos. Esta diferencia en el contenido de este elemento en estos forrajes afectó el tamaño de la glándula tiroides y la sobrevivencia de las crías de una manera importante.

En Costa Rica no existe información sobre el contenido de yodo en los suelos ni en los forrajes. Por estar nuestro país en una zona deficiente en este elemento (Chilean Iodine Educational Bureau; citado por Underwood, 1981; Kelly y Sneed, 1960; citados por Hays y Swenson, 1993), en los programas prácticos de alimentación del ganado bovino se asume que nuestros forrajes son deficientes en yodo y los suplementos minerales lo incluyen.

En el Cuadro 4 se presentan algunas materias primas que frecuentemente se usan en la formulación de alimentos balanceados para el ganado bovino con su contenido de yodo. Estos valores varían según el tipo de suelo, programa de fertilización y clima en que se produjeron (Hays y Swenson, 1993; NRC, 1980). Los granos y

Cuadro 3. Contenido de yodo de diferentes especies forrajeras

Especie	Promedio	Rango
	(mg/Kg de MS)	
<i>Dactylis glomerata</i>	0.19	0.08-0.59
<i>Holcus lanatus</i>	0.07	0.05-0.09
<i>Lolium multiflorum</i>	0.39	0.07-1.22
<i>Lolium perenne</i>	0.50	0.05-1.89
<i>Lolium perenne</i> X	0.31	0.16-0.52
<i>Lolium multiflorum</i>		
<i>Panicum maximum</i>	0.20	0.14-0.31

Adaptado de Minson (1990)

Cuadro 4. Contenido de yodo de algunas materias primas que frecuentemente se usan en la alimentación del ganado bovino

Materia prima	Contenido de yodo (mg/Kg)
Subproductos de cervecería	0.07
Sorgo en grano	0.04
Harina de gluten de maíz	0.02
Harina de pescado	3.41
Harina de carne y hueso	1.41
Melaza de caña de azúcar	2.10
Harina de soya	0.12
Acemite de trigo	0.07

Adaptado del NRC (1989)

oleaginosas frecuentemente son bajos en este elemento, mientras que los productos de origen marino lo contienen en mayores cantidades.

Según Hemken (1979), la mayoría de los forrajes y materias primas que frecuentemente se usan en la alimentación de los bovinos no producen leche o carne con suficiente yodo para satisfacer las necesidades de los humanos. Para que la leche tenga mayores niveles de este elemento se requiere de la suplementación con sal yodada o suplementos minerales.

REQUERIMIENTOS Y FUENTES

En el Cuadro 5 se indican los requerimientos de yodo sugeridos por el NRC (1984; 1989) para las diferentes categorías de animales especializados para la producción de leche o de carne. Como se puede observar estos oscilan de 0.6 mg/kg de MS para las vacas con diferentes niveles de producción a 0.25 para las terneras, novillas en crecimiento, vacas secas y toros. Para las vacas secas en los dos últimos meses de gestación se recomiendan 0.6 mg/kg. Las diferentes categorías de animales destinados a la producción de carne requieren 0.5.

Según el ARC (1980) los requerimientos para las vacas lactantes o preñadas son 0.5 mg/kg de MS y para las vacas no lactantes ni preñadas los requerimientos son 0.12.

The Netherlands Committee on Mineral Nutrition (1973) estima que la cantidad de yodo secretada en la leche es un buen indicador para establecer los requerimientos del animal; si ésta es 300 g/día o más el animal está consumiendo la cantidad requerida. Este Consejo recomienda que una vaca adulta consuma 2 mg/día para mantenimiento, 2 a 3 mg por cada 10 kg de leche y si está preñada uno adicional. Las terneras y novillas requieren 1 a 2 mg/día. Además sugiere que bajo condiciones prácticas de alimentación la suplementación con 2 a 5 mg de yodo/animal/día es suficiente para corregir o prevenir condiciones de deficiencia.

Cuadro 5. Requerimientos de yodo del ganado bovino

Categoría del animal	mg/Kg de MS
Ganado de Leche	
Terneros	0.25
Novillas en crecimiento	0.25
Vacas secas	0.25
Vacas en producción	0.60
Ganado de Carne	
Novillos	0.50
Vacas preñadas	0.50
Vacas en lactación	0.50

NRC (1984; 1989)

El NRC (1989) indica que si la dieta está constituida por más de un 25% de materias primas que aportan sustancias bociogénicas, el nivel de yodo debe duplicar los requerimientos antes mencionados.

Según Mc Dowell *et al.* (1993) la suplementación con sal yodada ha contribuido a eliminar la deficiencia de este elemento en animales en pastoreo. El uso de sal blanca con 0.01-0.02% de yodo es una práctica común en muchos países.

En el Cuadro 6 se indican las fuentes más comúnmente usadas para la suplementación de yodo; estas son Yodato de Calcio, Dihidro Yoduro de Etileno Diamina (EDDI), Yoduro de Potasio estabilizado y Yodo Cúprico.

Cuadro 6. Fuentes de yodo utilizadas en la alimentación del ganado bovino

Fuente	% del elemento	Disponibilidad biológica
Yodato de Calcio	63.5	Alta
Dihidro yoduro de etileno diamina (EDDI)	80.0	Alta
Yoduro de Potasio, estabilizado	69.0	Alta
Yodo cúprico	66.6	Alta

McDowell, *et al.* (1993)

Los Yoduros de Potasio y Sodio y el Yodato de Calcio son de alta disponibilidad pero se lixivian o evaporan de los bloques salinos bajo nuestras condiciones de clima tropical. El Yodato de Potasio, el Yoduro estabilizado de Potasio y el Orthoperiodato Pentacálcico son igualmente disponibles para los bovinos y además tienen la ventaja de ser más estables, lo cual garantiza una mayor permanencia en los bloques (Mc Dowell, *et al.*, 1993).

La incorporación de yodo en suplementos líquidos presenta problemas de estabilidad, volatilización y solubilidad. Por sus características el EDDI es la fuente que generalmente se usa para suplir este elemento en este tipo de suplementos (Miller, 1979).

Aunque el aporte es pequeño, el agua también es fuente de este elemento para los animales. En zonas con niveles normales de yodo el agua contiene de 2 a 15 $\mu\text{g/L}$, mientras que en zonas con bocio endémico ésta contiene de 0.1 a 2 (Underwood, 1977).

DEFICIENCIA

La deficiencia de yodo es un problema regional. Las áreas deficientes por lo general están localizadas lejos de las costas, especialmente en regiones donde el viento y la lluvia no son capaces de acarrear trazas de yodo del mar y donde la cantidad del elemento en el suelo ha sido lixiviada por el efecto de las lluvias. Los alimentos y forrajes que se producen en estas zonas son deficientes y pueden afectar la producción y reproducción del ganado bovino (Hays y Swenson, 1993; Miller, 1979).

La deficiencia de yodo puede deberse a que la dieta no satisface las necesidades de este elemento en los animales, o a que la misma contiene compuestos bociogénicos tales como tioglucósidos, tiocianatos, percloratos o altos contenidos de Cobalto y Rubidio. Estos compuestos reducen la capacidad de la glándula tiroides para captar yodo o impiden la incorporación del mismo a las sustancias tiroactivas. Así, se ha visto que en los animales deficientes se altera el peso y la histología de la glándula tiroides, lo mismo que la concentración de yodo en esta glándula, el PBI y la relación MIT:DIT (Underwood, 1977 y 1981). El aumento de tamaño de la glándula tiroides es un intento de esta para secretar una mayor cantidad de las hormonas tiroideas, como respuesta al estímulo de la TSH, la cual a su vez responde a los bajos niveles de las hormonas tiroideas circulantes.

Los síntomas de la deficiencia puede que no se presenten en el ganado bovino sino hasta después de un año de estar consumiendo una dieta deficiente en el elemento. Esta puede detectarse en el suero sanguíneo o en la leche. Si el contenido de yodo es inferior a 40 $\mu\text{g}/\text{L}$ de suero sanguíneo o a 10-20 $\mu\text{g}/\text{L}$ de leche, el animal tiene una deficiencia del elemento. Los primeros indicios de deficiencia son la presencia de bocio en los animales sacrificados o en los terneros (NRC, 1989). Cuando la deficiencia es severa hay presencia de bocio y cuando ésta es tenue hay alteraciones leves en el peso y en la histología de la glándula.

The Netherlands Committee on Mineral Nutrition (1973) indica que la deficiencia de yodo produce en los terneros crecimiento pobre y retardo en el desarrollo esquelético; en las vacas preñadas el feto puede sufrir malformaciones que conllevan a abortos, nacimiento de crías débiles, natimortos o crías sin pelaje, y en los animales adultos se deprime la producción de leche o la tasa de crecimiento. Estas son manifestaciones de una reducción de la tasa metabólica basal, la cual a su vez es regulada por las hormonas tiroideas.

Hemken, *et al.* (1971; citados por Miller, 1979) al analizar el efecto de la deficiencia de Yodo sobre el comportamiento productivo de vacas lecheras encontraron que estas producen hasta 4 kg de leche/animal/día menos que las suplementadas. El contenido de grasa de la leche producida fue menor y las vacas presentaron un mayor índice de retención de placenta, fueron más susceptibles al estrés y presentaron una menor movilización de grasa corporal al inicio de la lactación.

TOXICIDAD Y NIVELES MAXIMOS TOLERABLES

La tolerancia a niveles excesivos de yodo en la dieta varía de una manera importante entre las especies y aún entre animales de una misma especie pero en diferente estado metabólico. En el Cuadro 7 se resumen las respuestas obtenidas por diferentes autores (Fish y Swanson, 1977; Miller y Swanson, 1973; Newton, *et al.*, 1974) al suministrar niveles excesivos de yodo a diferentes categorías de animales bovinos.

El uso prolongado de altas dosis de yodo reduce sustancialmente la capacidad de la glándula tiroides para captar el elemento y produce un efecto bociogénico. En general todas las especies tienen un margen amplio de tolerancia al consumo de yodo (NRC, 1980). Entre los síntomas clásicos presentados por los animales que consumen dietas

con niveles excesivos del elemento están el lagrimeo y salivación excesiva, secreciones acuosas por la nariz, inapetencia, baja ganancia de peso y producción de leche (Miller, 1979).

Newton, *et al.* (1974) alimentaron terneros con un peso inicial de 100 kg con dietas que contenían de 10 a 200 mg de I/kg de MS, en forma de Yodato de Calcio y encontraron que los niveles superiores a 50 deprimieron el crecimiento y el consumo de MS. El consumo de dietas con niveles de 100 o superiores produjeron signos de toxicidad tales como tos y secreciones nasales. En todos los animales suplementados con este elemento se incrementó el nivel de yodo en el suero sanguíneo y los suplementados con 200 mg/kg de MS presentaron valores significativamente más bajos de hemoglobina y calcio sanguíneo. En esta investigación los animales suplementados con yodo tendieron a tener glándulas adrenales más pesadas, pero no hubo un efecto consistente sobre el peso de la glándula tiroidea. Basándose en la tendencia de la ganancia de peso corporal y de las glándulas adrenales, Newton, *et al.* (1974) concluyeron que 25 mg de I/kg de MS no fue deseable y 50 parece ser el nivel mínimo tóxico para los terneros.

Rosiles, *et al.* (1975; citado por NRC, 1980) encontraron que novillos de 200 kg alimentados con 500 mg de EDDI/día tosían más, tenían mayor secreción nasal y lagrimeaban más que los alimentados con 50 mg. Ninguno de estos niveles de yodo afectó la tasa de crecimiento de los animales.

Fish y Swanson (1977) al analizar el consumo de cantidades excesivas de yodo en terneros, encontraron que cuando la fuente del elemento es EDDI el animal puede tolerar mayores cantidades del mismo.

Miller y Swanson (1973) alimentaron vacas en producción con niveles de yodo de 40 a 400 mg/día en forma de EDDI y no encontraron efectos adversos sobre el animal. Las cantidades del elemento en la leche producida por estas vacas se incrementaron de 380 a 2000 g/L. Convey *et al.* (1978; citado por NRC, 1980) han encontrado que al alimentar vacas lactantes con 200 mg de I/kg de MS (como EDDI) durante 343 días, estos no mostraron alteraciones en las glándulas tiroideas ni

hipófisis. Niveles de yodo de 2.5 mg/kg de peso vivo en vacas secas no tuvieron efecto sobre las vacas ni sus crías. Niveles de 5 a 7.5 incrementaron la incidencia de crías prematuras, crías débiles o anormales y natimortos (Swanson, 1980; citado por NRC, 1980).

Basados en la información disponible, el nivel de yodo máximo tolerable por el ganado bovino y también por las ovejas, es 50 mg/kg de MS. Aunque las vacas en producción pueden tolerar estos niveles, debe considerarse que la leche producida por estos animales puede contener niveles excesivos de este elemento para el consumo de los humanos (NRC, 1980). Fish y Swanson (1977) encontraron que las vacas que consumen 47 mg de I/kg de MS producen leche con 2400 µg de I/L del elemento. Como se indicó en el capítulo correspondiente al contenido de yodo en la leche y en la carne, el Consejo de Alimentos y Nutrición del NRC (1979) estima que el consumo de yodo de 50 a 1000 µg/día en humanos es seguro y que el consumo entre 100 y 300 µg/día es lo deseable.

El NRC (1989; 1984) ha establecido el nivel máximo tolerable de yodo para el ganado bovino es 50 mg/kg de MS. Cuando los excesos de yodo de la dieta se remueven, los animales se recuperan rápidamente. La toxicidad también se puede presentar cuando se usan niveles altos de este elemento durante períodos prolongados, para curar o prevenir enfermedades tales como necrosis de la piel interdigital y actinomicosis (Mc Dowell, *et al.*, 1993).

Cuadro 7. Efecto del nivel de yodo en la dieta sobre el comportamiento del ganado bovino

Edad o peso del animal	Nº de animales	Alimentación			Efecto
		Cantidad	Fuente	Período	
83 kg	8	10 mg/kg	Ca(IO ₃) ₂	144 d	No hay efectos adversos.
		100 mg/kg			Se reduce ganancia, consumo y hemoglobina.
		200 mg/kg			Se reduce ganancia y consumo. Hay tos y secreción nasal. (1)
100 kg	6	20 mg/kg	EDDI	84 d	No hay efectos adversos.
		42 mg/kg			No hay efectos adversos.
		86 mg/kg			No afecta el crecimiento.
		174 mg/kg			Reduce el consumo. Reduce levemente el crecimiento y el consumo. (2)
Vaca lactante	2	40 mg/d	EDDI	49 d	No hay efecto adverso.
		80 mg/d	KI		Leche con 380 µg de I/L
		80 mg/d	EDDI		No hay efecto adverso.
		160 mg/d			Leche con 360 µg de I/L
		400 mg/d			No hay efecto adverso. Leche con 1600 µg de I/L
				No hay efecto adverso. Leche con 2000 µg de I/L (3)	

(1) Newton et al., 1974

(2) Fish y Swanson, 1977

(3) Miller y Swanson, 1973

RESUMEN

El yodo es un elemento esencial en la nutrición animal. Aunque su única función es la de formar parte de las hormonas tiroideas (tiroxina y triyodotironina), estas tienen una participación primordial en el metabolismo al participar en la termorregulación, metabolismo intermedio, diferenciación y crecimiento celular, hematopoyesis y circulación, funcionamiento neuromuscular y reproducción. La glándula tiroidea es el principal órgano donde se acumula el yodo. En un bovino adulto esta contiene alrededor de 100 mg del elemento, la cual es una cantidad apreciable si consideramos que la glándula tiroidea en estos animales pesa únicamente 30 g. Debido a que un 90% del yodo presente en la proteína plasmática que liga a las proteínas tiroideas (PBI) corresponde a la T_4 y el 10% a la T_3 ; y a que estos valores son muy constantes; una medición del PBI es un indicador excelente del estado de nutrición de yodo en un bovino. Los valores normales de PBI oscilan de 2.73 a 4.11 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en las diferentes categorías de animales bovinos. El contenido de yodo en la leche es afectado por el contenido de este elemento en el alimento; lo mismo que por el uso de selladores y desinfectantes yodados de la glándula mamaria. La leche y los productos lácteos se consideran una buena fuente de yodo para los humanos. La deficiencia de yodo es muy común y afecta especialmente a aquellas zonas que están lejos de los océanos. Los bajos niveles de yodo en la dieta afectan la reproducción de las vacas, causando ciclos estrales anormales y bajas tasas de concepción. Asimismo en las vacas preñadas puede causar muerte embrionaria temprana, reabsorción fetal, natimortos o nacimiento de crías con bocio, débiles y sin pelaje. En los machos produce depresión de la libido y deterioro de la calidad del semen. Además, la deficiencia de este elemento deprime la producción de leche y la tasa de crecimiento. Una práctica común para prevenir la deficiencia es la suplementación con sal que contenga 0.01-0.02% de yodo. Entre las fuentes usadas para

suplementar yodo están: Yodato de Calcio, Dihidro Yoduro de Etileno Diamina (EDDI), Yoduro de Potasio estabilizado. Los requerimientos de yodo del ganado bovino oscilan de 0.6 mg/kg de MS para las vacas en producción a 0.25 para las terneras, novillas en crecimiento, vacas secas y toros. Para las diferentes categorías de ganado de carne los requerimientos son 0.5. Aunque el ganado bovino tiene un margen amplio de tolerancia al consumo de este elemento, se ha establecido un nivel de 50 mg/kg de MS como un nivel máximo tolerable. En Costa Rica no existe información sobre el contenido de yodo de los forrajes ni de los suelos. Por estar nuestro país en una zona deficiente en yodo, las prácticas de alimentación incluyen la suplementación con este elemento.

LITERATURA CITADA

- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. Slough. SL23BN. England. 351p.
- CHURCH, D.C.; W. G. POND. 1982. Basic Animal Nutrition and Feeding. 2nd. Ed. John Wiley and Sons. New York. N. Y. 403p.
- FISH, R. E.; E. W. SWANSON. 1977. Iodine tolerance of calves, yearlings, dry cows and lactating cows. Journal of Dairy Science. 60 (Suppl. 1): 151.
- HAYS, V. W.; M. J. SWENSON. 1993. Minerals and bones. Edited by M. J. Swenson and W. O. Reece. IN: Dukes' Physiology of Domestic Animals. 11th Ed. Cornell University Press. Ithaca, N. Y. 962p.
- HURLEY, W. L.; R. M. DOANE. 1989. Recent developments in the roles of vitamins and minerals in reproduction. Journal of Dairy

Science. 72 (3): 784-804.

- HEMKEN, R. W. 1979. Factors that influence the iodine content of milk and meat. A review. *Journal of Dairy Science*. 48 (4):981-985.
- HEMKEN, R. W.; J. H. VANDERSALL; M. A. OSKARSSAN; L. R. FRYMAN. 1972. Iodine intake related to milk iodine and performance of dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 55(7):931-934.
- KANEKO, J. 1980. *Clinical biochemistry of domestic animal*. 3rd Ed. Academic Press. New York, N. Y. 439p.
- Mc DONALD, I. E. 1981. *Reproducción y endocrinología veterinarias*. 2da. Ed. Traducido al Español por Georgina Guerrero. Editorial Interamericana. México, D. F. México. 466p.
- Mc DOWELL, L. R.; J. H. CONRAD; F. G. HEMBRY; L. X. ROJAS; G. VALLE; J. VELAZQUEZ. 1993. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Boletín. 2da. Ed. Gainesville, Universidad de Florida. Departamento de Ciencia Animal. 76p.
- MILLER, J. K.; N. RAMSEY, F. C. MADSEN. 1988. The trace elements. IN: *The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. 564p.
- MILLER, J. K.; E. W. SWANSON. 1973. Metabolism of ethylenediaminedihydriodide and sodium or potassium iodide by dairy cows. *Journal of dairy Science*. 56: 378.
- MILLER, W. P.. 1979. *Dairy cattle. Feeding and nutrition*. Academic Press. New York. N. Y. 411p.
- MINSON, D. 1990. *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press. San Diego, California. 483p.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1989. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th Rev. Ed.. Washington D. C., National Academy of Sciences-National Research Council. 157p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1984. Nutrient requirements of Beef Cattle. 6 Rev. Ed.. Washington D. C. National Academy of Sciences-National Research Council. 90p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1980. Mineral tolerance of domestic animals. Washington D. C. National Academy of Sciences-National Research Council. 577p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL-FOOD AND NUTRITION BOARD. 1970. Iodine nutrition in the United States. Washington D. C. National Academy of Sciences-National Research Council. 53p.
- NEWTON, G. L.; E. R. BARRICK; R. W. HARVEY; M. B. WISE. 1974. Iodine toxicity. Physiological effects of elevated dietary iodine on calves. *Journal of Animal Science*. 38: 449.
- THE NETHERLANDS. COMMITTEE ON MINERAL NUTRITION. 1973. Tracing and treating mineral disorders in dairy cattle. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen. The Netherlands. 61p.
- UNDERWOOD, E. J. 1983. Los minerales en la nutrición del ganado. 2da. Ed. España, Editorial Acribia. 210p.
- UNDERWOOD, E. J. 1977. Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press. New York, N. Y. 545p.