

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL**  
**DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INTEGRALES DE PRODUCCION ANIMAL**



**DETERMINACION DEL VALOR  
NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS**

Elaborado por :  
Ing. Nadir Reyes Sánchez, MSc.  
Ing. Bryan Mendieta A.

Managua, 2000



## ÍNDICE

Valor Nutritivo de los alimentos.....	3
Importancia de la determinación del Valor Nutritivo.....	3
Factores que afectan el Valor Nutritivo de los alimentos.....	5
Métodos analíticos para la determinación del Valor Nutritivo de los alimentos.....	7
Muestreo de Alimentos: Importancia y Métodos.....	7
Técnicas de muestreo.....	9
Muestreo de material a granel.....	9
Método de cuarteo.....	10
Muestreo de alimentos en sacos.....	12
Muestreo de pacas de heno.....	12
Muestreo de pastos.....	13
Muestreo de ensilajes.....	13
Muestreo de alimentos líquidos.....	14
Preparación de muestras.....	14
Métodos analíticos.....	15
Análisis proximal o Análisis Químico Bromatológico.....	17
Humedad.....	17
Determinación de Humedad.....	19
Método de destilación con tolueno.....	20
Método de Liofilización.....	20
Método de Karl Fisher.....	21
Determinación de Cenizas.....	21
Determinación de Proteína Bruta (PB).....	22
Determinación de Extracto Etéreo (EE).....	27
Determinación de Fibra Bruta (FB).....	29
Extracto Libre de Nitrógeno (ELN).....	30
Limitaciones del Análisis Proximal.....	31
Método de Van Soest.....	34
Fibra Detergente Neutro.....	36
Fibra Detergente Ácido.....	36
Lignina.....	36
Digestibilidad y Métodos de Determinación.....	37



Digestibilidad Aparente y Real.....	37
Digestibilidad "In Vivo".....	38
Método Directo (Recolección de Heces).....	38
Métodos por Indicadores.....	46
Clasificación de los Indicadores.....	46
Digestibilidad "In Vitro".....	49
Método "In Vitro" con Líquido Ruminal.....	49
Método de Cultivo No Continuo.....	51
Método de Cultivo Continuo.....	52
Método Clorhídrico Pepsina.....	53
Aplicaciones y Ventajas de los Métodos "In Vitro".....	53
Factores que Afectan los Resultados "In Vitro" y su precisión.....	54
Limitaciones de los Métodos "In Vitro".....	55
Digestibilidad "In Situ".....	55
Factores que Afectan los Resultados "In Situ".....	56
Estandarización del Método "In Situ".....	57
Aplicaciones del Método "In Situ".....	58
Limitaciones de la Técnica "In Situ".....	58
Sistemas para Describir el Valor Energético de los Alimentos.....	62
Clasificación de la Energía de Acuerdo a su Utilización por el Cuerpo Animal.....	63
Energía Bruta.....	63
Energía Digestible.....	64
Energía Metabolizable.....	65
Incremento Calórico.....	66
Energía Neta.....	66
Esquema de distribución de la Energía en el Animal.....	67
Nutrientes Digestibles Totales.....	68
Descripción del Valor Proteico de los Alimentos.....	70
Valor Biológico de las Proteínas.....	70
Aspectos a Tener en Cuenta para Determinar el valor Biológico.....	72
Balace de Nitrógeno.....	74
Bibliografía.....	76



## Valor nutritivo de los alimentos

Desde el punto de vista cualitativo Valor Nutritivo se define como la proporción de cada uno de los nutrientes constituyentes del alimento en base seca (Proteínas, Carbohidratos, Lípidos, Minerales, etc.), que se determinan en laboratorios mediante los métodos de:

- Método de Weende
- Método de Van Soest

Desde el punto de vista cuantitativo Valor Nutritivo se determina midiendo la proporción del alimento que no es excretado con las heces y que se supone ha sido absorbida por el animal. Esto se lleva a cabo mediante mediciones en el animal o pruebas de laboratorio determinando:

- Digestibilidad In Vivo
- Digestibilidad In Vitro
- Digestibilidad In Situ

## Importancia de la determinación del Valor Nutritivo

La determinación del valor de los alimentos conlleva el conocimiento de los distintos nutrientes y también el efecto, que produce en el comportamiento animal y la forma en que este es capaz de utilizarlo.

Por ello la determinación del valor de los alimentos permite:

- Confeccionar raciones donde se combinen de manera adecuada distintos alimentos para producir un máximo efecto en el desarrollo y producción del animal.



- Mejorar las cualidades nutritivas de un alimento mediante tratamientos físicos o químicos o mediante la adición de un elemento del que conocemos es deficitario.

Por otro lado, es importante conocer la composición química de los alimentos, debido al costo que tienen los nutrientes y su considerable variación en diferentes muestras de un mismo alimento. Un ejemplo de esa variación es presentado en la siguiente tabla:

Nutrientes	Número de muestras	Composición promedio %	Baja %	Alta %
Humedad	1423	11.86	1.22	15.17
Proteína	1425	48.69	41.88	54.86
Grasa	128	2.08	0.68	4.70
Fibra	1424	3.20	2.10	33.00

La variación de la composición proteica de la harina de soya oscila entre 41.88 y 54.86%. Si el precio de una tonelada de harina de soya es de U\$ 180.00, con un contenido proteico de 41.88%, el costo por libra de proteína será de 21.5 centavos de dólar. Pero, si el contenido proteico fuese de 54.86%, al mismo precio, el costo por libra de proteína sería de 16.4 centavos de dólar.

Variaciones en la composición de nutrientes de esa magnitud, son inusuales hoy en día, debido a que sean mejorados sustancialmente los métodos de análisis, sin embargo, variaciones en nutrientes de 10 a 15% son normales debido a diferencias de finca a finca, de año en año; debido a diferencias en técnicas de muestreo, variedades, fertilidad del suelo, madurez de la planta, almacenamiento y debido a diferencias en las técnicas de laboratorio y reportes de resultados.



Para hacer un uso eficiente de los alimentos es necesario conocer:

- Valor nutritivo del alimento.
- Necesidades de las diferentes especies y categorías de animales.
- Nivel de producción.
- Estado fisiológico
- Formular raciones que cubran los requerimientos de mantenimiento, crecimiento, producción y reproducción, sin pérdidas, ni exceso de alimentos.

#### Factores que afectan el valor nutritivo de los alimentos.

Los factores que afectan el valor nutritivo de los alimentos se pueden dividir en:

##### a. Factores referentes al animal

##### b. Factores referentes al alimento

##### a. Factores referentes al animal

- Especies Animal
- Edad
- Selectividad



#### b. Factores referentes al alimento

- Composición química
- Fracción fibra bruta
- Conservación del alimento (heno, ensilaje)
- Preparación del alimento (harina, pellets, etc.)
- Efecto asociativo de los alimentos Ej. Miel-Urea
- Nivel de alimentación Ej. Al aumentar la cantidad de alimento ingerido, aumenta la velocidad de pasaje, disminuye el tiempo de exposición a las enzimas, por lo cual disminuye la digestibilidad
- Palatabilidad

Una vez determinado el valor nutritivo de los alimentos, a través de análisis en laboratorio, es necesario realizar pruebas de alimentación para conocer el grado de utilización de los nutrientes por el animal, determinando:

- Digestibilidad
- Efectos tóxicos
- Factores antinutricionales
- Calidad de la producción
- Influencia sobre el nivel productivo
- Consumo voluntario



#### Métodos analíticos para la determinación del valor nutritivo de los alimentos.

Para la valoración de alimentos se pueden utilizar diversos sistemas:

##### A. Análisis químicos

- Análisis proximal por el método de Weende
- Método de Van Soest
- Análisis especiales

##### B. Pruebas de alimentación

##### C. Determinación de su digestibilidad

#### Muestreo de Alimentos: Importancia y Métodos

Antes de iniciar un análisis de laboratorio, es necesario obtener una muestra correcta, la cual es una parte de la totalidad del material que se va a analizar. A la totalidad del material a analizar, se le llama población y a la parte de la población que se ha tomado para analizar se le llama muestra.

La toma de muestras es el acto de seleccionar una determinada porción o unidades de un producto alimenticio y esta debe ser homogénea y representativa de la población.

Por tal razón varias muestras son tomadas de varias áreas representativas, son mezcladas y se toma entonces la muestra representativa del alimento en su conjunto.



El tamaño de muestra debe ser lo suficientemente grande para poder efectuar análisis repetidos si fuese necesario; 500 a 1000 gr según sea el producto y las determinaciones que se requieran.

Las muestras son colocadas en recipientes plástico o aislados en bolsas e inmediatamente enviadas para análisis. Si las muestras tienen alto contenido de humedad y tienen que ser transportadas a largas distancias, se recomienda refrigerarlas.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta el estado perecedero de la muestra que debido a su importancia analítica, deberá llegar al laboratorio en condiciones análogas a las que tenía al momento del muestreo.

La persona que realiza la toma de muestra debe enviarla con la identificación correspondiente, así como información adicional que permita una mejor interpretación de los resultados. Ej.

- Tipo de producto
- Lugar de origen
- Fecha del muestreo
- Naturaleza del producto
- Especie
- Edad
- Nivel de fertilización
- Con o sin riego
- Pastoreo o de corte.
- Análisis que se requieren



### Técnicas De Muestreo

Las herramientas de que puede disponerse varían desde instrumentos usuales para fines de carácter general (cuchillos, cucharas, espátulas, marcador tinta indeleble, tijeras de podar, bolsas plásticas, etc.) hasta herramientas especiales que han de utilizarse en determinadas situaciones con productos alimenticios específicos.

Por regla general, para los líquidos deberá utilizarse recipientes secos y limpios de un material apropiado, impermeable al agua y la grasa, como el cristal, metal inoxidable o un material plástico adecuado que pueda esterilizarse incluso mediante calor.

Estos recipientes deberán tener un cierre seguro con tapones de goma o plástico (o tapaderas de rosca) revestida de un material insoluble, no absorbente e impermeable a la grasa.

Los recipientes y sus cierres deberán ser de tal naturaleza que no puedan influir en el olor, aroma, pH o composición de los productos muestreados.

Para los productos sólidos o semisólidos deberá utilizarse recipientes limpios, secos, de boca ancha, cilíndricos y de un material impermeable, (bolsas plásticas y que puedan cerrarse herméticamente).

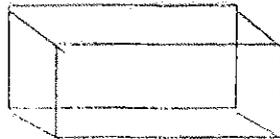
### Muestreo de Material a Granel

Hacer un diagrama de la forma que presenta el material, indicando los lugares donde se hará un muestreo (ver figura 1) y en cada punto introducir totalmente el muestreador tubular el cual deberá estar cerrado, abrirlo y golpear el mango para que el material penetre por las ranuras; cerrarlo, sacarlo y vaciar su contenido en una bolsa de polietileno.



Todas las muestras tomadas que deberán ser no menos de 20, serán depositadas en la misma bolsa. Si el material que se muestra es homogéneo, la muestra obtenida deberá ser reducida por el método de cuarteo (Descrito posteriormente) hasta obtener la cantidad requerida, por lo general de 50 gr aproximadamente. Si el material es heterogéneo o posee partículas grandes, deberá molerse antes de efectuar el cuarteo.

Figura 1

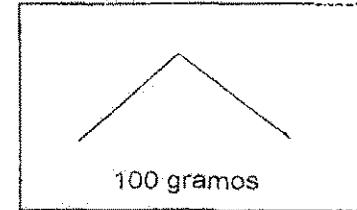


### Método de Cuarteo

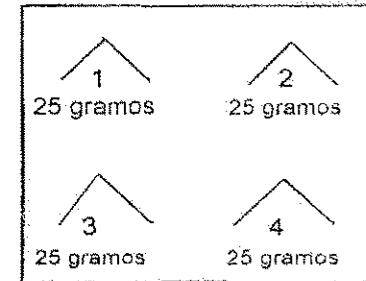
Colocar el contenido de la bolsa de polietileno en el centro de una carulina y homogenizarlo con la espátula.



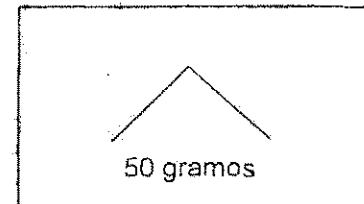
Formar un cono en el centro y dividirlo en cuatro porciones, eliminar dos de las porciones diagonales y mezclar las dos restantes, con las cuales se formará un nuevo cono. Repetir el proceso anterior hasta haber obtenido aproximadamente 50 gr de muestra.



Material formando un cono



El cono anterior dividido en 4 partes. Eliminar 1 y 4



Formación de un nuevo cono con 2 y 3



### Muestreo de Alimentos en sacos

Introducir el muestreador tubular ranurado dentro del saco, directamente, empleando el mismo método que se siguió para el material a granel. Depositar la porción extraída dentro de la bolsa de polietileno. El número de muestras a tomar deberá determinarse de acuerdo con el siguiente cuadro.

No. total de sacos, pacas o barriles	No. de sacos, pacas o barriles que deben ser muestreados	No. total de muestras
1 - 4	Todos	No menos de 5
5 - 10	Todos	No menos de 10
> 10 < 100	10	No menos de 10

La muestra deberá reducirse por el método de cuarteo y se tomarán aproximadamente 50 gr.

### Muestreo de Pacas de Heno

Extraer la muestra de cada paca, con un muestreador eléctrico, depositar la extracción dentro de una bolsa de polietileno. El número de muestras deberá determinarse de acuerdo con el cuadro anterior. Si las partes de la planta son muy grandes, deberán cortarse con unas tijeras de manera que no midan más de 3 cm. de longitud. La muestra deberá molerse y reducirse a 50 gr aproximadamente por el método de cuarteo.



### Muestreo en Pastos

Cuando se toman muestras en pasturas, se debe hacer un diagrama con las dimensiones del terreno y los puntos a muestrear estarán distribuidos siguiendo un patrón de movimiento en forma de "Z" o "X", para ello se utilizará un marco de 25 x 25 cm. Las plantas deberán cortarse a 12 cm. del suelo y picadas en partículas de 3 cm. de longitud que se depositarán en una bolsa de polietileno manteniéndola siempre cerrada para evitar pérdidas de humedad. El número de submuestras deberá ser no menor de 20.

La homogeneización debe hacerse dentro de la misma bolsa, manteniendo esta cerrada. Después de haberla homogenizado, se toma una parte de la muestra (> 500 gr) la cual debe procesarse inmediatamente. Si la muestra no va a procesarse de inmediato, se guarda en otra bolsa, se cierra herméticamente y se congela, tomando en cuenta que aún así se altera la muestra.

### Muestreo de Ensilaje

El ensilaje es difícil de muestrear por las siguientes razones:

1. Es altamente variable en su contenido de humedad.
2. Usualmente el almacenamiento ocurre en diferentes periodos, por lo tanto, el ensilaje dentro del silo varía en su estado de madurez.
3. Dificultad para obtener muestras de varios puntos a través del silo debido a su estructura física.



Una vez abierto el silo tomar al menos 20 muestras de la superficie fresca expuesta, colocarlos en una bolsa, mezclarlas y obtener una muestra de la mezcla, proceder a su análisis de inmediato, en caso contrario deberá conservarse en congelación.

### **Muestreo de Alimentos Líquidos**

Los alimentos líquidos como la melaza presentan algunas dificultades para su muestreo. La mezcla puede almacenarse en barriles, tanques o pipas.

Si la melaza está en barriles deberá determinarse el número de tomas y el número de barriles muestreados de acuerdo al cuadro 2. Cada barril que se vaya a muestrear deberá homogenizarse. La muestra se toma con un muestreador para líquidos.

Si la melaza está en tanques o pipas, debe muestrearse en el momento del vaciado, a intervalos de tiempo tales que se obtengan 20 submuestras como mínimo del principio al final del vaciado.

### **Preparación de Muestras**

Si la muestra no se encuentra seca, deberá secarse por el método de materia seca parcial o pre-secaje. La muestra seca debe ser reducida a un tamaño de partícula adecuado para ser sometida al análisis.

Este proceso se efectúa en un molino de laboratorio, que posee cribas intercambiables de diferentes números. En cada análisis se indica el número de tamiz o la abertura de éste que debe emplearse para moler la muestra.



Después de haber molido el material es muy frecuente que parte de este quede sobre la criba y/o adherido a las piezas internas del molino. Estos residuos deben reintegrarse al resto del material, de no ser así, se está alterando la muestra.

La muestra molida debe conservarse en frascos de vidrio o de algún otro material inerte perfectamente tapado.

Si se van a analizar vitaminas y compuestos carotenoides, las muestras deberán guardarse en lugar seco y en la oscuridad o en frascos oscuros.

Las muestras de melaza deben conservarse en frascos de vidrio o de algún material inerte, herméticamente tapados y de preferencia en refrigeración.

### **Métodos Analíticos**

La mayor parte de los nutrientes que necesitan los animales pueden determinarse mediante una serie de métodos químicos directos que nos permiten conocer la riqueza de los alimentos en estos nutrientes.

Mediante estos análisis se pueden valorar los alimentos desde el punto de vista químico, fisiológico, económico y elaborar un criterio sólido sobre el alimento que se evalúa.

### **Análisis Proximal o Análisis Químico Bromatológico**

Por más de 100 años, los alimentos han sido analizados por un método desarrollado por los científicos, Henneberg y Stohmann, de la Estación Experimental de Weende en Alemania. Este método es llamado Análisis Próximo ó Método de Weende, donde los alimentos son evaluados en términos de 6 componentes: Humedad, Cenizas, Proteína Bruta, Extracto Etereo, Fibra Cruda y Extracto Libre de Nitrógeno.



Tabla. Fracciones Determinadas por Análisis Próximo.

Fracción	Procedimiento	Componentes
1. Humedad (Materia Seca)	Muestra se somete a calor a una temperatura cercana al punto de ebullición del agua, hasta que alcanza un peso constante. Pérdida de peso es igual al contenido de humedad.	Agua y algunos compuestos volátiles $MS(\%) = 100\% - \%H_2O$
2. Cenizas (Materia Mineral)	Incinerar la muestra a 500 ó 600°C por 2 horas.	Elementos minerales
3. Proteína Bruta (N x 6,25)	Determinación de Nitrógeno por el método de Kjeldahl.	Proteínas, aminoácidos, Nitrógeno no proteico.
4. Extracto Etéreo (Grasa Bruta)	Extracción con Eter dietil.	Grasas, aceites, ceras, resinas y pigmentos.
5. Fibra Cruda	Residuo que queda después de hervir la muestra en un ácido débil y un azúcar débil.	Celulosa, Hemicelulosa, Lignina.
6. Extracto Libre de Nitrógeno	Remanente: 100 menos la suma de las otras fracciones.	Almidón, azúcares, alguna celulosa, hemicelulosa y lignina.

**Carbohidratos Totales = Fibra Cruda + Extracto Libre de Nitrógeno**



## HUMEDAD

El agua es la sustancia más simple del alimento y es indispensable para cualquier ser viviente. Se encuentra presente en todos los alimentos y debido a sus propiedades influye enormemente en la estabilidad de los alimentos durante el almacenamiento, puesto que puede favorecer el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática.

Todos los alimentos contienen agua, desde fracciones del 1% hasta cantidades superiores al 90%.

Entre los alimentos de más bajo contenido de agua se encuentran la roca fosfórica y la concha de ostión; las grasas animales, los aceites vegetales, los granos de cereales y los henos tienen un contenido de humedad que no rebasa el 25%; los ensilajes contienen alrededor de 60 - 70%, los forrajes frescos entre 70 y 85%; los alimentos con mayor contenido de humedad son la leche con 88% y el suero de leche con 91%.

La importancia de conocer el contenido de humedad o materia seca de los alimentos radica en que:

- El valor nutritivo de un alimento está en razón inversa a su contenido de humedad.
- El elevado contenido de agua en los alimentos no permite que estos se almacenen en buen estado, puesto que prosiguen los procesos enzimáticos y se crea el medio adecuado para el desarrollo y proliferación de microorganismos que provocan la alteración de los nutrientes que contienen, los alimentos y pueden producir metabolitos tóxicos como las aflatoxinas.



- El forraje que se va a ensilar debe tener un contenido de materia seca mayor al 30%, para favorecer un buen proceso de fermentación y evitar el enmohecimiento.
- Si los alimentos están excesivamente secos al molerse resultan pulvulentos y no son consumidos satisfactoriamente por los animales.
- El rendimiento de los pastos y forrajes debe reportarse en base seca y no en peso fresco por que el contenido de humedad es muy variable.
- Permite comparar rendimiento entre alimentos en base seca, en diferentes estaciones del año y de un año a otro.
- En la fracción materia seca está contenida todos los nutrientes que aportan los alimentos.
- En las tablas de composición de alimentos y de requerimientos para animales los nutrientes se expresan en relación la materia seca.

Evidentemente a mayor % de agua, menor % de materia seca. Este hecho tiene importancia económica puesto que el precio de los alimentos se da incluyendo el agua y no el precio de la materia seca. Por ejemplo, se tienen dos lotes de maíz A y B con 8 y 10% de humedad respectivamente, en 1000 kg se tendrá 80 y 100 kg agua.

Si ambos lotes tienen al mismo precio por tonelada, en el lote B se están pagando 20 kg de agua al mismo precio de 20 kg de maíz. Esto resulta más crítico a medida que aumenta el precio del alimento como es el caso de la harina de soya, harina de pescado, etc.



Todo lo anterior, evidencia la necesidad de conocer el contenido de agua de los alimentos y consecuentemente el contenido de materia seca.

## DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

El contenido de humedad es la pérdida de peso que experimenta una muestra al desecarla en una estufa a temperaturas entre 100 a 105°C durante el tiempo necesario para que el residuo seco, de un peso constante.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso de la muestra en gramos}}{\text{Peso total de la muestra en gramos}} \times 100$$

El contenido de materia seca se obtiene restando de 100 el porcentaje de humedad de la muestra.

$$\% \text{ MS} = 100 - \% \text{ de humedad}$$

Este método presenta los siguientes inconvenientes:

- Existen materiales que además de agua, contienen sustancias que se volatilizan a la temperatura de secado (100-105°C).
- Azúcares se descomponen a temperaturas superiores a los 70°C.
- Algunos compuestos pueden ser químicamente alterados durante el secado.

Además del método descrito anteriormente existen otros para evaluar contenido de humedad.



- Método de destilación con Tolueno
- Método de liofilización
- Método de Karl Fisher

#### Método de Destilación con Tolueno

El método con Tolueno se basa en la destilación del agua que contiene la muestra, con un hidrocarburo con punto de ebullición superior a la del agua, el cual además es de muy baja volatilidad.

La muestra es colocada en un balón con tolueno, y al iniciarse el calentamiento el hidrocarburo y la muestra se emulsionan formándose pequeñas partículas que son elevadas hasta un tubo de destilación (condensador) donde al encontrar una temperatura inferior, la emulsión hidrocarburo-agua se rompe y se separan los componentes. El agua, por gravedad, se deposita en la parte inferior del tubo graduado, donde se lee su volumen.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Gramos de agua}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

#### Método de Liofilización

La liofilización es un proceso de sublimación, que consiste en el pasaje de la fase sólida a fase gaseosa sin pasar por la fase líquida. Este método es llamado también de secado por congelación, el cual se fundamenta en la congelación de la muestra con nitrógeno líquido o CO<sub>2</sub> sólido a temperaturas extremadamente bajas, se coloca en un liofilizador que realiza la extracción del agua por vacío.



La muestra es utilizada para análisis de ácidos nucleicos, vitaminas, aminoácidos. Es un proceso que tarda mucho tiempo, pero, no se pierde ningún compuesto volátil.

#### Método de Karl Fisher

Tiene gran utilidad porque detecta pequeñas cantidades de agua consiste en la titulación del agua con un reactivo que contiene yodo, dióxido de azufre y piridina.

### DETERMINACIÓN DE CENIZAS

La fracción cenizas del análisis proximal representa los constituyentes inorgánicos del alimento. Esta determinación se realiza colocando la muestra en un crisol de porcelana e incinerada en una mufla a temperaturas entre 550 - 600°C, la materia orgánica es oxidada y al residuo que contiene la materia mineral se le llama cenizas.

$$\% = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra en gramos}} \times 100$$

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ materia seca} - \% \text{ de cenizas}$$

La importancia de la determinación de cenizas radica en que permite conocer el contenido de materia orgánica de los alimentos; la ceniza puede ser utilizada para determinación de minerales en particular y se utiliza para la estimación del Extracto Libre de Nitrógeno.



## DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA BRUTA

La proteína bruta agrupa todas las sustancias nitrogenadas contenidas en el alimento, es decir proteína verdadera y otros compuestos nitrogenados de naturaleza no proteica.

La importancia de la determinación de proteína bruta esta dada por que la clasificación de los alimentos generalmente admitida se pasa en su contenido de proteína (Alimentos básicos son pobres en proteínas; alimentos concentrados son ricos en proteínas), además el contenido de proteína de un alimento constituye una medida directa de su digestibilidad por que el componente proteico es en general altamente digestible si se compara con los carbohidratos estructurales.

Los alimentos con alto contenido de proteína resultan más caros, por lo que conociendo su contenido, podemos utilizar éstos en las cantidades mínimas necesarias y no dar un exceso que pudiera ser utilizado por el organismo como fuente de energía cuando existen otros alimentos ricos en carbohidratos que son más baratos y que suministran energía con mayor eficiencia.

La proteína, en promedio contiene cerca del 16% de nitrógeno. Entonces, teóricamente, si nosotros conocemos el contenido de nitrógeno en el alimento, podemos estimar la cantidad de proteína que contiene, multiplicando su contenido de nitrógeno por 6.25.

$$PB = \frac{X \times 100}{Y}$$

PB = Proteína Bruta

X = % de Nitrógeno en el alimento

Y = % de Nitrogeno en la proteína



Si decimos que el porcentaje de nitrógeno en la proteína en promedio es igual a 16 entonces:

$$PB = \frac{X \times 100}{16}$$

$$PB = X \times 6.25$$

$$PB = \%N \times 6.25$$

El procedimiento comúnmente utilizado para la determinación del contenido de nitrógeno de los alimentos es el llamado Método de Kjeldahl, descubierto por el químico danés Johan Kjeldahl.

El método está basado en las siguientes reacciones:

### 1. Digestión

Es una reacción de oxidación - reducción mediante un oxidante fuerte, el ácido sulfúrico concentrado.

mezcla catalizadora



Los componentes que contienen carbono son oxidados a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O por el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido sulfúrico se reduce a SO<sub>2</sub>; este compuesto reduce el nitrógeno proveniente de compuestos orgánicos e inorgánicos a NH<sub>3</sub>; este NH<sub>3</sub> en presencia de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se convierte en sulfato de amonía (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Esta reacción se efectúa en presencia de una mezcla catalizadora de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> compuesto que se emplea para incrementar el punto de ebullición del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O que acelera la reacción.



## DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA BRUTA

La proteína bruta agrupa todas las sustancias nitrogenadas contenidas en el alimento, es decir proteína verdadera y otros compuestos nitrogenados de naturaleza no proteica.

La importancia de la determinación de proteína bruta esta dada por que la clasificación de los alimentos generalmente admitida se basa en su contenido de proteína (Alimentos básicos son pobres en proteínas; alimentos concentrados son ricos en proteínas), además el contenido de proteína de un alimento constituye una medida directa de su digestibilidad por que el componente proteico es en general altamente digestible si se compara con los carbohidratos estructurales.

Los alimentos con alto contenido de proteína resultan más caros, por lo que conociendo su contenido, podemos utilizar estos en las cantidades minimas necesarias y no dar un exceso que pudiera ser utilizado por el organismo como fuente de energía cuando existen otros alimentos ricos en carbohidratos que son más baratos y que suministran energía con mayor eficiencia.

La proteína, en promedio contiene cerca del 16% de nitrógeno. Entonces, teóricamente, si nosotros conocemos el contenido de nitrógeno en el alimento, podemos estimar la cantidad de proteína que contiene, multiplicando su contenido de nitrógeno por 6.25.

$$PB = \frac{X \times 100}{Y}$$

PB = Proteína Bruta

X = % de Nitrógeno en el alimento

Y = % de Nitrógeno en la proteína



Si decimos que el porcentaje de nitrógeno en la proteína en promedio es igual a 16 entonces:

$$PB = \frac{X \times 100}{16}$$

$$PB = X \times 6.25$$

$$PB = \%N \times 6.25$$

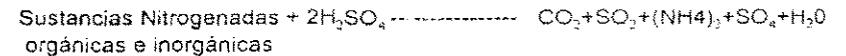
El procedimiento comúnmente utilizado para la determinación del contenido de nitrógeno de los alimentos es el llamado Método de Kjeldahl, descubierto por el químico danés Johan Kjeldahl.

El método está basado en las siguientes reacciones:

### 1. Digestión

Es una reacción de oxidación - reducción mediante un oxidante fuerte, el ácido sulfúrico concentrado.

mezcla catalizadora



Los componentes que contienen carbono son oxidados a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O por el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, y el ácido sulfúrico se reduce a SO<sub>2</sub>; este compuesto reduce el nitrógeno proveniente de compuestos orgánicos e inorgánicos a NH<sub>3</sub>; este NH<sub>3</sub> en presencia de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> se convierte en sulfato de amonía (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>.

Esta reacción se efectúa en presencia de una mezcla catalizadora de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> compuesto que se emplea para incrementar el punto de ebullición del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y el CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O que acelera la reacción.

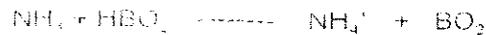


### 2. Destilación

Obtenido el sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  se hace reaccionar con una solución concentrada de NaOH para formar el  $\text{NH}_3$ , la reacción es la siguiente:



El  $\text{NH}_3$  obtenido que es un gas, se destila por arrastre de vapor y se recibe en una solución de ácido bórico  $\text{H}_3\text{BO}_3$  con dos gotas de solución indicadora.

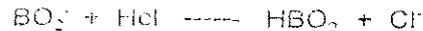


El ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) cede un protón al  $\text{NH}_3$  que es una base y se forma el ion amonio y el ion borato.

### 3. Titulación

En virtud de que por cada átomo de nitrógeno presente se forma un ion borato  $\text{BO}_2^-$ , este puede neutralizarse con una solución valorada de ácido clorhídrico HCl y en forma indirecta conocer el contenido de nitrógeno.

La reacción de neutralización es la siguiente:



Cuando todo el borato  $\text{BO}_2^-$  ha sido neutralizado se termina la reacción cuyo final es señalado por un indicador.

Para calcular el porcentaje de nitrógeno en la muestra se debe contar con los siguientes datos:



- Gramos de muestra	= 0.6535
- Cantidad de HCl gastados en ml	= 28.5
- Cantidad de HCl gastados por el blanco en ml	= 1.0
- <b>Cantidad de HCl corregidos</b>	<b>= 27.5</b>
- Normalidad del HCl	= 0.1025
- Miliequivalentes del Nitrógeno	= 0.014

$$\begin{aligned} \text{La normalidad de HCl} &= \text{No. de equivalentes de HCl} / \text{lt de solución} \\ &= 0.1025 \text{ equivalentes} / \text{lt} \\ &= \mathbf{0.1025 \text{ meq} / \text{ml}} \end{aligned}$$

Sabiendo cuantos miliequivalentes hay en cada ml de solución de HCl, se puede saber el número total de miliequivalente de HCl gastados en la reacción multiplicando la normalidad por los mililitros de HCl gastados:

$$27.5 \text{ ml} \times 0.1025 \text{ meq} / \text{ml} = 2.81875 \text{ miliequivalentes de HCl gastados}$$

Puesto que las reacciones químicas son de equivalente a equivalente, se deduce que el número de miliequivalentes gastados de HCl neutralizaron al mismo número de miliequivalentes de nitrógeno.

$$\text{miliequivalentes de HCl} = \text{miliequivalentes de nitrógeno}$$

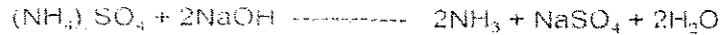
Por lo tanto, se tienen 2.81875 miliequivalentes de nitrógeno

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{Peso molecular o atómico}}{\text{No. de valencia}}$$



### 2. Destilación

Obtenido el sulfato de amonio  $(NH_4)_2SO_4$  se hace reaccionar con una solución concentrada de NaOH para formar el  $NH_3$ , la reacción es la siguiente



El  $NH_3$  obtenido que es un gas, se destila por arrastre de vapor y se recibe en una solución de ácido bórico  $HBO_2$  con dos gotas de solución indicadora.

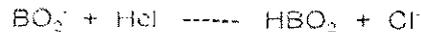


El ácido bórico ( $HBO_2$ ) cede un protón al  $NH_3$  que es una base y se forma el ion amonio y el ion borato.

### 3. Titulación

En virtud de que por cada átomo de nitrógeno presente se forma un ion borato  $BO_2^-$ , este puede neutralizarse con una solución valorada de ácido clorhídrico HCl y en forma indirecta conocer el contenido de nitrógeno.

La reacción de neutralización es la siguiente:



Cuando todo el borato  $BO_2^-$  ha sido neutralizado se termina la reacción cuyo final es señalado por un indicador.

Para calcular el porcentaje de nitrógeno en la muestra se debe contar con los siguientes datos:



- Gramos de muestra = 0.6535
- Cantidad de HCl gastados en ml = 28.5
- Cantidad de HCl gastados por el blanco en ml = 1.0
- Cantidad de HCl corregidos = 27.5
- Normalidad del HCl = 0.1025
- Miliequivalentes del Nitrógeno = 0.014

$$\begin{aligned} \text{La normalidad de HCl} &= \text{No. de equivalentes de HCl / lt de solución} \\ &= 0.1025 \text{ equivalentes / lt} \\ &= 0.1025 \text{ meq / ml} \end{aligned}$$

Sabiendo cuantos miliequivalentes hay en cada ml de solución de HCl, se puede saber el número total de miliequivalente de HCl gastados en la reacción multiplicando la normalidad por los mililitros de HCl gastados:

$$27.5 \text{ ml} \times 0.1025 \text{ meq / ml} = 2.81875 \text{ miliequivalentes de HCl gastados}$$

Puesto que las reacciones químicas son de equivalente a equivalente, se deduce que el número de miliequivalentes gastados de HCl neutralizaron al mismo número de miliequivalentes de nitrógeno.

$$\text{miliequivalentes de HCl} = \text{miliequivalentes de nitrógeno}$$

Por lo tanto, se tienen 2.81875 miliequivalentes de nitrógeno

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{Peso molecular o atómico}}{\text{No. de valencia}}$$



$$\text{Miliequivalente} = \frac{\text{Peso equivalente}}{1000}$$

por lo tanto un miliequivalente de nitrógeno pesa:

$$\text{Miliequivalente de nitrógeno} = \frac{14}{1 \times 1000} = 0.014 \text{ gr}$$

De lo anterior, sabemos que 1 miliequivalente de nitrógeno pesa 0.014 gr, si existen 2.81875 miliequivalentes de nitrógeno

¿Cuántos gramos de nitrógeno hay?

1 mil equivalente	pesa	0.014 gr
2.81875 miliequivalentes	pesarán	X

$$X = 0.0394625 \text{ gr de nitrógeno.}$$

Relacionando a 100, se obtiene el porcentaje de nitrógeno en la muestra.

Si en 0.6535 g de muestra hay	0.394625 gr de nitrógeno
en 100 gr de muestra hay	X

$$X = \frac{0.0394625 \times 100}{0.6535}$$

$$X = 6.04\% \text{ de N en la muestra.}$$

$$PB = \%N \times 6.25 \quad PB = 6.04 \times 6.25 \quad PB = 37.75\%$$



## DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO (EE)

Los lípidos son un grupo de compuestos de muy diferentes clases y se definen como sustancias insolubles en agua que pueden ser extraídas de las células por solventes orgánicos de baja polaridad.

Para la extracción del E.E o Grasa Bruta (GB) se usan diferentes solventes orgánicos como éter dietílico anhidro, éter de petróleo, hexano, cloroformo. El residuo que da después de evaporar estos solventes recibe el nombre de EE o GB.

En el EE están presentes compuestos que se consideran nutrientes (Glicéridos de los ácidos grasos, ácidos grasos libres, colesterol, lecitinas, vitaminas liposolubles) y compuestos que no son nutrientes (clorofila, resinas, ceras, xantofilas).

Excepto las grasas y los aceites cuyos contenidos son cercanos al 100%, los alimentos más abundantes en EE son las semillas de oleaginosas (entre 20 y 40%), sin embargo, son cultivadas para producción de aceite, pero los residuos son utilizados en la alimentación animal y dependiendo del método de extracción pueden contener entre 1 y 8% de EE.

El método de extracción por solventes orgánicos produce residuos con bajos % de EE, mientras que el método de extracción mecánica por presión produce residuos con mayor contenido de EE. En la práctica es importante conocer el contenido de grasa del alimento porque:



- El contenido de EE es la causa principal de la diferencia de la energía bruta de los alimentos ya que mientras los carbohidratos y las proteínas producen cerca de 5 calorías por gramo, el EE produce algo más de 9 calorías por gramo.
- Los animales en general tienen poca tolerancia a los alimentos grasos.
- La formación de grasa orgánica es más económica a partir de los carbohidratos.
- Debe tenerse en cuenta que harinas de pescado con más de 4% de grasa, afectan la calidad del huevo y la carne de los animales que la consumen.
- En las grasas hay ciertos ácidos grasos insaturados indispensables (linoléico, y linolénico). Tienen valor como nutriente por su contenido en glicerol, (grasas), caroteno (provitamina A), tocoferol o vitamina E, provitamina D todas de origen vegetal y vitamina A y D3 en los alimentos de origen animal.

Este método se fundamenta en la extracción continua mediante calor de todas las sustancias solubles en éter (que debe ser anhidro) de una muestra completamente seca para evitar que se disuelvan compuestos polares principalmente carbohidratos solubles, los cuales, al extraerse alteran el valor del E.E.

La extracción puede hacerse con éter etílico anhidro (punto de ebullición 34.6°C) o éter de petróleo (34-35°C).



Utilizando un equipo Extractor de Soxhlet, el éter atraviesa las muestras, durante aproximadamente 6 horas. Se obtiene en un balón el éter con el extracto etéreo. Posteriormente por calentamiento se recupera el éter quedando en el balón el E.E.

Mediante la siguiente fórmula se obtiene el % de E.E. de la muestra:

$$\% EE = \frac{(a - b) \times 100}{c}$$

- a = Peso del balón del Soxhlet más el EE
- b = Peso del balón vacío
- c = Peso de la muestra inicial en gramos

La diferencia de muestras paralelas debe ser menor al 0.2% cuando la muestra contiene hasta el 10% de grasa y de 0.3% cuando la grasa de la muestra es superior al 10%.

### DETERMINACIÓN DE FIBRA BRUTA (FB)

Todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas, que no se disuelven hirviendo los alimentos (previa extracción del EE) con ácidos y álcalis diluidos y a cuya cifra total se le resta el peso de las cenizas constituyen la FB.

La fracción FB teóricamente está constituida por celulosa, hemicelulosa y otro componente no nitrogenado llamado lignina.



Sin embargo, la determinación de FB posee errores que no permiten medir esta fracción de una manera aceptable. Para entender en que consisten esos errores, es necesario conocer el fundamento del método.

Este método consiste en someter la muestra seca (previa extracción del EE) a una primera digestión ácida y posteriormente a una digestión alcalina. La materia orgánica del residuo obtenido se considera el contenido de FB.

Al efectuar la digestión ácida se disuelve parte de la hemicelulosa y al efectuar la digestión alcalina se disuelve parte de la lignina; por lo tanto el producto final no puede considerarse como la totalidad de la fibra y los resultados obtenidos por este método son menores que los reales.

La importancia de determinar la FB en los alimentos radica en que influye en su digestibilidad y por lo tanto en el grado en que un alimento puede ser utilizado por un animal.

En los rumiantes existe una mayor capacidad para digerir la celulosa y hemicelulosa debido a la acción de las enzimas producidas por los microorganismos del rumen.

### EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (ELN)

En el ELN se encuentra una mezcla de sustancias orgánicas dentro de las cuales no figura ninguna que contenga nitrógeno. Estas se caracterizan por disolverse en las soluciones ácidas y alcalinas durante la determinación de la FB.

La determinación directa es imposible a causa de las diversas sustancias químicas que lo forman y además la dificultad que presenta aislarla analíticamente.



El ELN es una mezcla de almidones y azúcares de la muestra más algo de hemicelulosa y lignina, puede contener además vitaminas hidrosolubles, no obstante la mayor parte del ELN, se compone de almidón y azúcares (alto valor energético).

Por las dificultades que presentan aislar analíticamente los distintos compuestos que forman el ELN, para su determinación en el alimento se obtiene el porcentaje de humedad, proteína, fibra y cenizas se suman y se restan de 100. La diferencia representa el ELN.

$$\text{ELN} = 100 - (\%H_2O + \%PB + \%EE + \%FB + \%Cenizas)$$

La importancia del ELN radica en que:

- Es un índice útil en la práctica, de la porción de carbohidratos no celulósicos del alimento.
- Es principalmente una fuente inespecífica de energía.
- Constituye alrededor del 40% del peso seco de los no concentrados y el 70% en el caso de alimentos básicos (En granos el ELN es sinónimo de almidón y azúcares).

### LIMITACIONES DEL ANÁLISIS PROXIMAL

Las determinaciones de este sistema que poseen errores fundamentales son la FB y por consecuencia el ELN. La crítica al método se basa en que parte de los compuestos que constituyen la fibra, son disueltos en el tratamiento ácido y otra parte son disueltos en el alcalino, por lo tanto, este método no puede medir el contenido real de fibra que posee el alimento.



La fibra bruta era considerada la porción indigestible del alimento, hasta que se descubrió la digestibilidad y se encontró que en los rumiantes, la fibra posee un valor de digestibilidad.

Tampoco es posible considerar a la FB como una entidad química presente en el alimento, por que, el método no permite medir la totalidad de la fibra, por los errores en el fundamento de la metodología.

El análisis proximal no dice cuales compuestos y cuánto de cada uno de ellos contiene cada determinación, esta es otra de sus limitaciones que puede ser superada en gran parte, empleando otros métodos de análisis.

Excepto en la determinación de agua, donde es posible conocer el contenido exacto de este compuesto, en la determinación de EE, el resultado obtenido puede ser un solo compuesto o una mezcla de los compuestos que lo constituyen.

Para conocer la composición del EE de una muestra determinada es necesario aplicar otros métodos analíticos, mediante los cuales es posible saber que cantidad de grasas, aceites, que tipos de ácidos grasos están formando estos, que cantidad de clorofila, carotenoides, vitaminas liposolubles, etc.

De igual manera para conocer la cantidad de cada componente de la FB se aplican otros métodos que permiten determinar la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina presentes en el alimento. También es posible diferenciar y cuantificar cada carbohidrato soluble que constituye el ELN.



La cantidad de Nitrógeno que contiene un material puede ser cuantificada con mucha precisión mediante el método de Kjeldahl, pero la cantidad de PB se estima mediante un factor proporcional que asume que todo el Nitrógeno encontrado proviene de diversas sustancias proteicas, sin embargo, el N puede provenir de diversas sustancias nitrogenadas sean o no proteicas.

Pero, es posible saber que cantidad de sustancias proteicas y no proteicas contiene la muestra y mediante cromatografía saber que aminoácidos están formando esas proteínas y en que proporción se encuentran.

La determinación de cenizas da un resultado de conjunto, no obstante las cenizas de una muestra pueden estar constituidas por elementos nutritivos y/o por elementos sin ningún valor nutritivo. Esto solo puede saberse mediante el análisis de los elementos presentes en las cenizas, aplicando métodos químicos, espectroscópicos, polarográficos o potenciométricos.

Este sistema de análisis no mide ni siquiera en forma global el contenido de vitaminas del alimento, pero se puede conocer la cantidad de cada vitamina que se encuentra en una muestra mediante la aplicación de diversos métodos analíticos.

El análisis proximal o de Weende, tiene utilidad, pero se debe estar consciente de sus grandes limitaciones y defectos.

El análisis de alimento (antiguamente llamado análisis bromatológico) emplea además de los métodos químicos, métodos cromatográficos como la cromatografía en columna, de gases, de líquidos de alta presión y electroforesis; métodos electroquímicos como la polarografía y coulombometría; métodos espectroscópicos y métodos espectrofotométricos principalmente.



### METODO DE VAN SOEST

Es utilizado en el análisis de forrajes y alimentos toscos. Para tales efectos se llamara FORRAJE a cualquier planta que sea ofrecida al animal, en forma verde, cortada o no, henificada, deshidratada o ensilada.

Se llama ALIMENTO TOSCO a cualquier otro producto, subproducto o desecho empleado en la alimentación animal cuyo contenido de fibra sea superior al 18% en base seca.

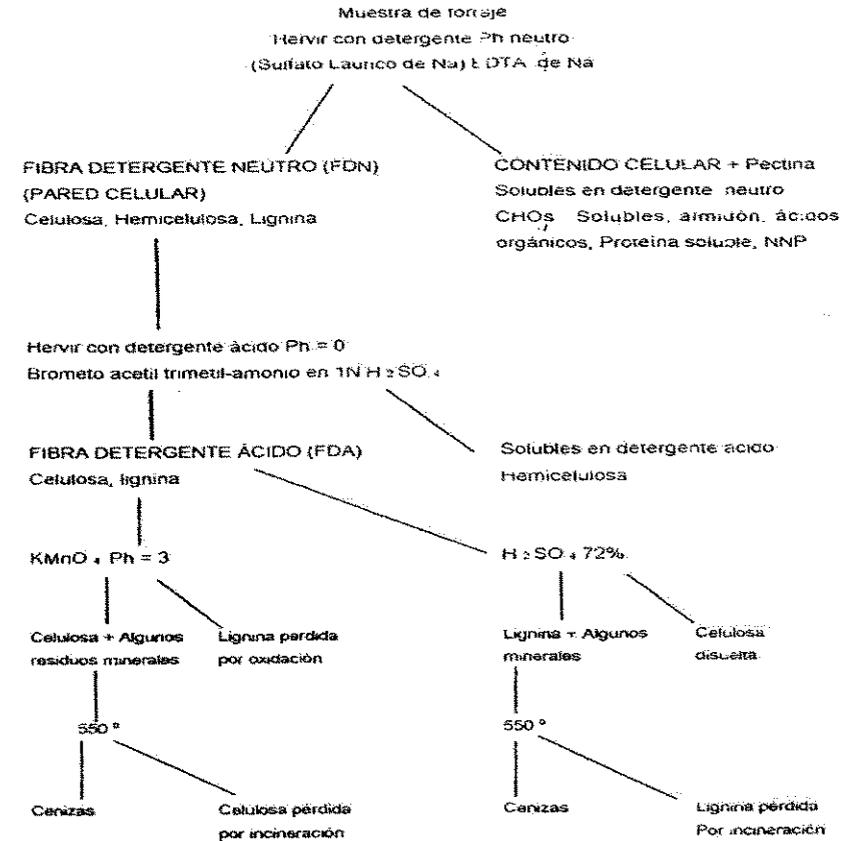
Estos materiales son utilizados principalmente en la alimentación de los rumiantes porque estos poseen microorganismos capaces de hidrolizar los carbohidratos estructurales a ácidos carboxílicos de cadena corta, como son los ácidos acético, propiónico y butírico llamados en nutrición AGV que son empleados como fuente de energía.

Sobre la base de las limitaciones del método de Weende con relación a la determinación de Fibra Cruda, Van Soest, diseñó un nuevo sistema para analizar la fibra, mediante la rápida división de los carbohidratos en los forrajes, en 3 partes, basados en la disponibilidad nutricional:

- 1.- Disponibles
- 2.- Parcialmente disponibles
- 3.- Indisponibles

Nutricionalmente, la materia seca de un alimento vegetal puede dividirse en dos fracciones, una, el CONTENIDO CELULAR, altamente digestible y otra, la PARED CELULAR; parcialmente digestible para rumiantes e indigestible para no rumiantes.

Análiticamente puede separarse el contenido celular de la pared celular, refluendo la muestra con un detergente neutro. El contenido celular es soluble en el detergente neutro y la pared celular es insoluble.





### FIBRA DETERGENTE NEUTRO (FDN)

Este método consiste en hervir a reflujo con detergente neutro, una muestra de alimento seco, que solubiliza los ingredientes de la célula (Contenido Celular), obteniéndose un residuo llamado FDN o Pared Celular que contiene celulosa, hemicelulosa y lignina.

### FIBRA DETERGENTE ÁCIDO (FDA)

La muestra es hervida a reflujo con una solución detergente en medio ácido. El detergente disuelve todo el contenido celular, hidroliza la hemicelulosa que está libre y la que se encuentra combinada con la lignina. El residuo insoluble está formado por paredes celulares (celulosa, lignina) sin hemicelulosa que se llama FDA, que es un paso intermedio para determinar lignina.

### LIGNINA

La FDA es sometida a una digestión en frío con ácido sulfúrico al 72% para oxidar los compuestos orgánicos excepto la lignina. El residuo contiene lignina y algunos minerales. La lignina se separa de los minerales (sílice) oxidándola a 550 grados celsius.

Otra vía para determinar lignina y celulosa sería la disolución de la lignina contenida en la FDA con una solución de  $KMnO_4$ . La pérdida de peso es considerada como el contenido de lignina. El residuo contiene celulosa y algunos minerales (sílice) los cuales se separan por incineración.



### DIGESTIBILIDAD Y MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

El análisis proximal nos da información sobre la composición química bromatológica del alimento. Siendo un indicador del valor nutritivo potencial de un alimento pero no indica el grado de aprovechamiento real del alimento por parte del animal en la digestión, absorción y metabolismo, para tales efectos se realizan pruebas de digestibilidad.

La digestibilidad se define como, la proporción de alimento que no es excretada en las heces y que se supone ha sido absorbida por el animal.

### DIGESTIBILIDAD APARENTE Y REAL

Los valores obtenidos en los ensayos de digestibilidad se les conoce con el nombre de coeficientes de digestibilidad aparente, por que solo toma en cuenta la proporción de alimento excretado en las heces.

Sin embargo, en el proceso de digestión de los rumiantes se produce metano que se forma por la fermentación de los carbohidratos y no se absorbe pero tampoco aparece en las heces porque es eliminado por la eructación, pérdida que al no ser tomada en cuenta conduce a un valor falso, otra fuente de error es que no todo el contenido de las heces consiste en residuos alimenticios no digerido, sino que parte del material fecal está formado por enzimas, microorganismos, células del revestimiento intestinal, entre otros.

Por lo anteriormente expuesto a los valores obtenidos se les llama digestibilidad aparente para distinguirla de la real o verdadera.



Esta última es más difícil de determinar en la práctica, ya que se debe determinar la fracción de las heces y la orina que corresponde al alimento y la que corresponde al animal. El coeficiente de digestibilidad real es el que se calcula tomando en cuenta todos los aspectos señalados anteriormente.

Los métodos para determinar la digestibilidad se dividen en:

- Digestibilidad In Vitro
- Digestibilidad In Vivo
- Digestibilidad In Situ.

#### DIGESTIBILIDAD "IN VIVO"

Existen dos formas para determinar la digestibilidad in vivo:

- Método Directo o convencional utilizando jaulas de digestibilidad.
- Método por indicadores.

#### MÉTODO DIRECTO O IN VIVO (RECOLECCIÓN DE HECES)

Consiste en medir los nutrientes consumidos por el animal durante un periodo determinado de tiempo y recoger toda la materia fecal producida durante el mismo periodo.

La prueba se realiza con varios animales de acuerdo con un diseño experimental debido a que aún siendo los animales de igual edad, sexo, raza, se presentan diferencias individuales. Los animales deben ser de preferencia machos porque facilita la recolección de heces y orina por separado.



#### Algunos Cuidados Que Deben Tenerse Con Este Método:

- Selección de los animales (uniformes, saludables, libres de parásitos, etc).
- Jaulas de metabolismo (comederos, bebederos).
- Colectores de heces y orina (cajas, bolsas, embudo).
- Periodos.
  - Transición  $\pm$  7 días, adaptación a las jaulas.
  - Adaptación a la ración  $\pm$  15 días, en los últimos 7 días hacer una evaluación del consumo.
  - Colectar heces y orina durante 5-7 días (continuos o alternos).
- Preparación del alimento.
  - Homogenización, muestreo, pesaje, congelar (para evitar alteraciones en su composición, especialmente si es ensilaje).
- Sobras de la ración pesar y muestrear.
- Recolectar heces libres de orina, pesar y muestrear.
- Formación de muestras compuestas (Juntar las muestras de un periodo de 5-7 días, y forma una sola muestra para análisis)





4. Calcular la Fracción de MS Fecal proveniente de la harina de carne

$$\text{Excreción Total de MS} - \text{MS Fecal proveniente del Heno} \\ 1.2 \text{ Kg MS} - 1.0 \text{ Kg MS} = 0.2 \text{ Kg MS}$$

5. Calcular el Coeficiente de Digestibilidad de la MS de la Harina de Carne

$$\text{CDMSHC} = \frac{\text{MS consumida} - \text{MS Excretada}}{\text{MS consumida}} \times 100$$

$$\text{CDMSHC} = \frac{0.5 - 0.2}{0.5} \times 100$$

$$\text{CDMSHC} = 60\%$$

Calcular la Digestibilidad de la PB de la Harina de Carne

1. Calcular la PB consumida proveniente del heno

$$\frac{100}{2} = \frac{10}{X_1} \quad X_1 = 0.2$$

2. Calcular la PB consumida proveniente de la H de C

$$\frac{100}{0.5} = \frac{40}{X_2} \quad X_2 = 0.2$$



3. Calcular consumo total de PB

$$X_1 + X_2$$

$$0.2 + 0.2 = 0.4$$

4. Calcular la PB excretada en las heces

$$\frac{100}{0.5} = \frac{15}{X} \quad X = 0.18$$

5. Calcular la Digestibilidad de la PB en la ración total

$$\text{DPB ración total} = \frac{\text{PB consumida} - \text{PB excretada}}{\text{PB consumida}} \times 100$$

$$\text{DPB ración total} = \frac{0.4 - 0.18}{0.4} \times 100$$

$$\text{DPB ración total} = 55\%$$

6. Calcular la PB excretada proveniente del heno

$$\text{PB del heno ingerida} \times \text{Indigestibilidad}$$

$$0.2 \times 0.25 = 0.05$$

Si la digestibilidad de la PB del heno es de 75% su indigestibilidad es 25% (0.25)

7. Calcular la PB excretada proveniente de la Harina de carne

$$\text{Excreción total de PB} - \text{Excreción de PB del heno}$$

$$0.18 - 0.05 = 0.13$$



**Digestibilidad de la Proteína Bruta de la Harina de Carne**

$$DPBHC = \frac{PB \text{ consumida proveniente de la H de C} - PB \text{ excretada proveniente de la H de C}}{PB \text{ consumida proveniente de la H de C}}$$

$$DPBHC = \frac{0.2 - 0.13}{0.2}$$

$$DPBHC = 35\%$$

Los cálculos de coeficientes de digestibilidad del ejemplo anterior también se pueden realizar de la siguiente manera:

Determinar las proporciones de Materi Seca de Heno y Harina de carne consumida

		%	Proporciones
Heno	2.0 Kg MS/día	80%	0.8
H de C	0.5 Kg MS/día	20%	0.2

$$DMS \text{ ración total} = (\text{Proporción de MS heno en la ración total} \times DMS \text{ heno}) + (\text{Proporción de MS de la H de C en la ración total} \times DMSHC)$$

$$\text{Proporción de MS de la H de C} \times DMSHC = DMS \text{ ración total} - (\text{Proporción de MS heno} \times DMS \text{ heno})$$

$$DMSHC = \frac{DMS \text{ ración total} - (\text{Proporción MS heno en la ración total} \times DMS \text{ heno})}{\text{Proporción de MS de la H de C en la ración total}}$$

$$DMSHC = \frac{0.52 - (0.8 \times 0.5)}{0.2}$$



$$DMSHC = 60\%$$

Proporción de heno 0.8 con 10% de PB	=	8	50	0.5
Proporción de HC 0.2 con 40% de PB	=	8	50	0.5
Total	=	16	100	1.0

$$DPB \text{ ración total} = (\text{Proporción de PB de heno ración total} \times DPB \text{ heno}) + (\text{Proporción PB de HC en la ración total} \times DPBHC)$$

$$(\text{Proporción PB de HC en la ración total} \times DPBHC) = DPB \text{ ración total} - (\text{Proporción de PB de heno} \times DPB \text{ heno})$$

$$DPBHC = \frac{DPB \text{ ración total} - (\text{Proporción de PB de heno ración total} \times DPB \text{ heno})}{\text{Proporción PB de HC en la ración total}}$$

$$DPBHC = \frac{0.55 - (0.5 \times 0.75)}{0.25}$$

$$DPBHC = 35\%$$



## MÉTODO POR INDICADORES

Es el método por el que se calcula la digestibilidad, añadiendo al alimento una sustancia que sea totalmente indigestible, se mide su concentración en el alimento y en las heces del animal; la relación que existe entre estas concentraciones nos da la digestibilidad del alimento.

$$\text{Digestibilidad} = \frac{\% \text{ indicador en las heces} - \% \text{ indicador en el alimento}}{\% \text{ indicador en las heces}}$$

Los indicadores son sustancias que pueden ser consumidas o administradas a un animal y que son completa y regularmente excretada, mezcladas uniformemente con el material fecal.

## CLASIFICACIÓN DE LOS INDICADORES

### 1 - ELEMENTOS INORGÁNICOS

- 1.1. Minerales raros  
Escandio (Sc), Lantano (La), Neodimio (Nd), Terbio (Tb), Lutecio (Lu), Cesio (Ce), Rutenio (Ru), Disproseo (Dy).
- 1.2. Minerales "mordantes" en fibra.  
  
Mordantes significa que se agregan a fibra formando complejos: Cromo (Cr), Cesio (Ce).
- 1.3. Isótopos naturales y artificiales ( $k_{70}$ ) y activación de neutrones.



## 2. COMPUESTOS

### 2.1. COMPUESTOS INORGÁNICOS

- 2.1.1. Óxidos de metales  
 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , (óxido de titanio)
- 2.1.2. Sales  
 $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CuSCN}$
- 2.1.3. Silica  
Ceniza insoluble

### 2.2. COMPUESTOS ORGÁNICOS

- 2.2.1. Naturales  
Lignina, celulosa, nitrógeno, FDAI, FDNI
- 2.2.2. Sintéticos  
- Etileno Diamino Tetra Acético (EDTA)  
- Poli Etileno Glicol (PEG).

Los indicadores también se pueden clasificar desde el punto de vista fisiológico, como:

1. Indicadores Internos: que son aquellos que están presentes en el propio alimento.
2. Indicadores Externos: Que son aquellos que se adicionan al alimento, estos pueden ser:
  - 2.1. Indicadores externos de fase sólida.
  - 2.2. Indicadores externos de fase líquida.



Las fases sólidas y líquidas de la digesta tienen comportamiento diferente, principalmente en las partes iniciales del aparato digestivo, de donde la fase líquida corresponde a más del 90% del total de la digesta y se puede separar fácilmente de la fase sólida. Esto implica la necesidad de utilizar indicadores específicos para cada fase cuando se quiere evaluar el flujo de ambas fases.

#### CARACTERÍSTICAS DE UN INDICADOR IDEAL.

1. Ser inerte, no tener efecto tóxico, fisiológico o psicológico.
2. No ser absorbido, ni metabolizado en el tracto gastrointestinal.
3. No representar un gran volumen en la ración del animal.
4. Mezclarse completamente y permanecer uniformemente distribuido en la digesta.
5. No tener influencia en la secreción, digestión, absorción y motilidad normal del aparato digestivo.
6. Tener propiedades físico-químicas que permitan su determinación cuantitativa, rápida y precisa en las muestras de digesta.
7. Debe tener costo accesible.



#### DIGESTIBILIDAD "IN VITRO"

Estos métodos se realizan en laboratorios tratando de reproducir las reacciones que tienen lugar en el tracto digestivo del animal, para así poder determinar la digestibilidad de los alimentos.

No es fácil reproducir en su totalidad la digestión de los animales, pero se han desarrollado varios métodos que se aproximan a las características digestivas de las diferentes especies animales.

Los métodos IN VITRO son generalmente simples y de bajo costo, proporcionan un ahorro de tiempo, una reducción en la variabilidad entre unidades experimentales y evitan el uso de técnicas quirúrgicas invasivas que resultan cada vez más difíciles de justificar. Además, permiten la valoración de muchos alimentos en un período de tiempo relativamente corto.

Por el contrario, estos métodos tienen el inconveniente de que suceden fuera del animal y como consecuencia son menos fisiológicos y no reflejan toda la realidad del rumen.

Uno de los inconvenientes más importantes es la ausencia de las interacciones entre las subpoblaciones microbianas y entre estas poblaciones y el animal.

#### MÉTODO IN VITRO CON LÍQUIDO RUMINAL

Este método consiste en incubar las muestras en líquido ruminal tamponado durante un período de tiempo variable para estimar la degradabilidad del alimento.



Se usa para determinar los aspectos cualitativos y cuantitativos de la digestión, consta de un equipo que asegura condiciones anaeróbicas, pH constante, reproduce el estado dinámico del rumen natural y su temperatura, se añade saliva artificial y permite la eliminación de los productos de la digestión.

Se realiza en tubos de ensayo.

Se utiliza líquido del rumen.

Se adapta un animal con la ración que va ser analizada. Para retirar el líquido del rumen, el animal debe estar en ayuna, se hace un filtraje grosero del líquido ruminal extraído para permitir el pasaje de microorganismos.

En el tubo de ensayo se coloca la muestra de alimento, se agrega líquido ruminal y saliva artificial (Tampón) e inyectar  $\text{CO}_2$ . Tapar con una válvula que permita la salida de los gases producto de la fermentación, pero que no permita la entrada de aire. Colocar el tubo de ensayo, en una incubadora que reproduce los movimientos del rumen, a  $39^\circ\text{C}$  durante 12 ó 24 horas. Retirar el tubo de ensayo, agregar  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2N para interrumpir la fermentación y analizar la muestra a través de determinaciones de materia seca, celulosa, hemicelulosa y almidón.

Varios factores pueden afectar la fermentación microbiana del sustrato, como el pH, el número de microorganismos y la disponibilidad de nitrógeno y energía entre otros. Por este motivo, es necesario asegurarse que los sistemas IN VITRO utilizados no limiten la actividad microbiana durante todo el tiempo de incubación. Los métodos IN VITRO que utilizan líquido ruminal se dividen en dos grupos:



- Métodos de cultivo no continuo
- Método de cultivo continuo

Los métodos de cultivo no continuo se pueden utilizar cuando el objetivo es la determinación de las características intrínsecas del sustrato por lo que hay que eliminar los factores extrínsecos que afectan la degradabilidad.

Las condiciones ideales son difíciles de alcanzar, ya que también es difícil conseguir una muestra representativa del líquido ruminal que contenga todos los tipos de microorganismos. Además los métodos IN VITRO dificultan el desarrollo de hongos y protozoos en favor de las bacterias. Por estas razones, estos métodos son útiles para comparar la degradabilidad relativa de los productos, pero su valor cuantitativo es limitado.

El método de cultivo no continuo más utilizado para estimar la degradabilidad IN VITRO de la materia seca o de algunas fracciones de un ingrediente durante un tiempo definido es el propuesto por Tilley y Terry (1963) y consiste en incubar las muestras durante dos días en líquido ruminal. A esta incubación le sigue generalmente una incubación con pepsina para simular la digestión en el abomaso.

La degradabilidad de las diferentes fracciones de un alimento (MS, FDN, Almidón, etc) se mide como la relación entre el nutriente desaparecido (Nutriente inicial menos nutriente final) respecto a la cantidad de nutriente inicial.



Otro método utilizado frecuentemente se basa en la medida de la presión provocada por los gases producidos durante la fermentación ruminal de un ingrediente. El gas resulta de la fermentación de los alimentos incubados en un medio tamponado con bicarbonato e inoculado con líquido ruminal. La fermentación del alimento libera una cantidad de gases (bióxido de carbono y metano) que se acumulan. La cantidad de gas producido es proporcional a la cantidad de sustrato degradado.

Los métodos de cultivos continuos, como los otros sistemas in Vitro, tienen como objetivo simular la fermentación que ocurre en el rumen y se basan fundamentalmente en una infusión semi continua o continua de saliva artificial y alimentos. Los sistemas más frecuentemente utilizados son entre otros el sistema semi continuo "RUSITEC" y el cultivo continuo de doble flujo.

Los sistemas continuo que tienen la ventaja de permitir el control de factores que pueden afectar a la degradabilidad como la ingestión, la velocidad de dilución y el Ph, entre otros.

Se considera que el sistema de cultivo continuo de doble flujo es un modelo excelente para el estudio de la fermentación microbiana ruminal, aunque su uso para el análisis rutinario de muestras no es adecuado debido a su costo y complejidad.



## MÉTODO CLORHÍDRICO PEPSINA

Este método se utiliza para medir la digestibilidad de las proteínas sometiendo la muestra de alimento a una digestión con CHI y pepsina. La proteína que queda en el filtrado se considera como la no digestible y por diferencia se obtiene el valor de la digestibilidad "in vitro".

La muestra de alimento con pepsina y HCl 0.1N se incuba a una temperatura de 40°C durante 24 horas para digestibilidad de proteína

## APLICACIONES Y VENTAJAS DE LOS MÉTODOS IN VITRO

- a. Isolar el efecto de la influencia animal.
- b. Dilucidar ciertos fenómenos relacionados con la digestibilidad.
- c. Estudiar microorganismos predominantes en función del sustrato.
- d. Cuando se asocia con datos de digestibilidad in vivo, se establecen correlaciones y regresiones entre parámetros.
- e. Comparar alimentos.
- f. Determinar la acción enzimática y bacteriana sobre nutrientes.
- g. Cuantificar producción total de gases o de AGV de un determinado sustrato ( "IN VIVO" los AGV son eructados o absorbidos).



- f. Terminología menos confusa.
- g. Menor número de factores afectan la técnica en condiciones de nutrición adecuada.
- j. Menor gasto de tiempo y dinero para estimar el valor nutritivo de un alimento.

#### Factores Que Afectan Los Resultados "In Vitro" Y Su Precisión.

1. Preparación del sustrato.
  - Homogeneización
  - Temperatura de secado
  - Grado de molienda
2. Preparación y obtención de líquido del rumen.
  - Filtración
  - Dilución
3. Dieta del animal donador y su estado de alimentación al momento de recolectar el líquido ruminal. Generalmente en ayunas 12 horas (solamente agua)
4. Mantenimiento de la temperatura, anaerobiosis y pH del medio de fermentación.
5. Periodo de incubación, para estimar consumo 12 horas, estandarizado para 24 horas.



#### Limitaciones Del Método "In Vitro"

1. Confiable en comparaciones de forrajes dentro de especies.
2. No es realizado en el animal.
3. Extensión de su aplicación es limitada.
4. No puede aceptarse como único criterio de evaluación de alimentos.
5. No hay absorción de los productos de la fermentación.
6. Falta de movimientos reales.

#### METODO IN SITU

Consiste en suspender en el rumen, a través de una fistula, bolsas que contienen una muestra de los ingredientes que se desea estudiar. Las bolsas se incuban durante periodos de tiempo predeterminado que suelen variar entre 2 y 96 horas.

El método permite determinar la cantidad de un nutriente en particular que desaparece de la bolsa en función del tiempo y considera que esta cantidad ha sido degradada. El método fue propuesto por primera vez por Quin et al. (1938) y en la actualidad es uno de los más utilizados para estimar la degradabilidad ruminal.

Es un método relativamente y de bajo costo comparado con la determinación In Vivo, además permite describir la evolución en el tiempo de la degradación y proporciona una ventaja en comparación con otros métodos de laboratorio, ya que toma en consideración los procesos digestivos que ocurren en el rumen del animal vivo.



Sin embargo, exige la preparación quirúrgica (Fistula ruminal) de los animales e instalaciones apropiadas para su mantenimiento, lo cual puede resultar costoso y poco práctico para análisis rutinarios y por otra parte tiene algunos inconvenientes.

#### Factores Que Afectan Los Resultados "In Situ"

- a. Tipo de tejido usado para la confección de las bolsitas.
- b. Lavado de las bolsitas.  
Porosidad x pérdidas  
Tipo de lavado (lavar hasta que salga agua clara)
- c. Tamaño de las bolsas y peso de la muestra.  
Tamaño x peso
- d. Posición relativa de las bolsas dentro del rumen.  
Posición y tipo de contrapeso.  
Posición y longitud del hilo de sustentación de las bolsas.
- e. Periodo de permanencia de las muestras en el rumen.  
Tiempo x tipo de muestra.



- f. Animal fistulado.  
Ayuno -Semejanza de dieta  
Periodo de adaptación a la dieta.
- g. Preparación del sustrato.  
Homogeneización  
Grado de molienda  
Tipo de muestra

#### Estandarización Del Método " In Situ"

- Porosidad del nylon 40-60 Mm
- Tamaño de partícula: Concentrado 2 mm, Forrajes 5 mm.
- Peso de la muestra/área: 10-20 mg/cm<sup>2</sup> de bolsita de nylon.
- Tamaño de la bolsita.
- Bovinos 15 x 8 cm Ovinos 3 x 5 cm
- Cálculo área de la bolsita 3 x 5 cm<sup>2</sup> x 2 lados de la bolsita = 30 cm<sup>2</sup>.
- Forma rectangular, cuadrada; bolsas móviles hexagonal o circular.
- Adaptar el animal al alimento, que va ha determinarse su digestibilidad.



**Aplicaciones Del Método "In Situ"**

- a. Determinar el efecto de la inclusión de granos y concentrados sobre la acción de las bacterias celulolíticas del rumen.
- b. Diferencias entre la capacidad digestiva entre cebuinos y taurinos.
- c. Efecto de algún nutriente (grasa, minerales) sobre la digestibilidad de la celulosa en el rumen.
- d. Efecto de los niveles de amonía en el rumen sobre la actividad microbiana.
- e. Estimar valor nutritivo de los alimentos.

**Limitaciones De La Técnica "In Situ"**

- a. No hay evidencias de que haya reabsorción de los productos de la fermentación.
- b. No hay seguridad de que el material removido de la bolsa, sea absorbido en el tracto digestivo.
- c. Recuperación de bolsas perdidas.
- d. Contaminación microbiana.

Microorganismos colonizan las partículas de alimento, por lo que puede haber mucha contaminación de la muestra.



**EJEMPLO 2**

Calcular la Digestibilidad "In Situ"

Consumo de MS	5 Kg
[ ] del Indicador	10 g
[ ] Indicador en el Abomaso	3.125 mg / g MS
[ ] Indicador en el Ileon	4.4 mg / g MS
[ ] Indicador en las heces	5.0 mg / g MS

- 1. Calcular el flujo de MS en el abomaso

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ g MS} \text{ ----- } 3.125 \text{ mg Indicador} \\
 X \text{ ----- } 10000 \text{ mg Indicador}
 \end{array}$$

$$X = 3.2 \text{ Kg MS / 24 horas}$$

**Flujo de MS en el Abomaso = 3.2 Kg MS / 24 horas**

- 2. Calcular el flujo de MS en el Ileon

$$\begin{array}{r}
 1 \text{ g MS} \text{ ----- } 4.4 \text{ mg Indicador} \\
 X \text{ ----- } 10000 \text{ mg Indicador}
 \end{array}$$

$$X = 2.273 \text{ Kg MS / 24 horas}$$

**Flujo de MS en el Ileon = 2.273 Kg MS / 24 horas**



3. Calcular en flujo de MS en las heces

$$\begin{array}{r} 1 \text{ g MS} \text{ -----} \quad 5 \text{ mg Indicador} \\ X \text{ -----} \quad 10000 \text{ mg Indicador} \end{array}$$

$$X = 2.0 \text{ Kg MS} / 24 \text{ horas}$$

Flujo de MS en las heces = 2.0 Kg MS / 24 horas

**DIGESTIÓN ( % DEL TOTAL INGERIDO)**

$$\text{Digestibilidad Aparente Total} = \frac{5 - 2}{5} \times 100 = 60\%$$

$$\text{Degradada en el rumen} = \frac{5 - 3.2}{5} \times 100 = 36\%$$

$$\text{En el Intestino Delgado} = \frac{3.2 - 2.273}{5} \times 100 = 18.5\%$$

$$\text{En el Intestino Grueso} = \frac{2.273 - 2}{5} \times 100 = 5.5\%$$

$$\text{Total} = 60\%$$



**DIGESTIÓN ( EN % DEL TOTAL DIGERIDO )**

$$\text{Total Digerido} = \text{Consumo Total} \times \text{Digestibilidad}$$

$$\text{Total Digerido} = 5.0 \times 0.6$$

$$\text{Total Digerido} = 3.0$$

$$\text{Degradada en el rumen} = \frac{5 - 3.2}{5} \times 100 = 60\%$$

$$\text{En el Intestino Delgado} = \frac{3.2 - 2.273}{3.2} \times 100 = 30.9\%$$

$$\text{En el Intestino Grueso} = \frac{2.273 - 2}{2} \times 100 = 9.1\%$$

$$\text{Total} = 100\%$$



## SISTEMAS PARA DESCRIBIR EL VALOR ENERGÉTICO DE LOS ALIMENTOS

El alimento es la fuente de energía para hombres y animales. Carbohidratos, grasas y proteínas son nutrientes que los alimentos aportan al organismo pueden ser utilizados en su totalidad como fuente de energía, para regular la temperatura orgánica y para mantener las funciones vitales y las actividades de producción y reproducción. Dependiendo de la especie y la edad, del 70 al 85% del total de la materia seca es utilizada en las funciones anteriormente descritas.

Los minerales, vitaminas y enzimas desempeñan funciones importantes en la digestión y en el metabolismo que transforman el alimento en energía disponible.

La principal fuente de energía es el sol o energía solar que es almacenada por la planta, a través de la fotosíntesis, en forma de carbohidratos, lípidos, y proteínas, esa energía química está disponible para los animales en la medida que sean capaces de consumir y digerir los vegetales.

El valor nutritivo de un alimento está dado por su capacidad para producir energía, que tiene gran influencia en el mantenimiento y producción de los animales, es por esto que para poder cubrir estos requerimientos sin excesos ni déficit, se deben estudiar los niveles de energía de los alimentos o su contenido calórico.

Los animales emplean la mayor parte de los nutrientes orgánicos para la construcción de los tejidos corporales, la síntesis de productos (leche, huevos) y como fuente de energía para trabajo



Las características comunes de todas estas funciones es que en todas ellas hay transferencias de energía, por lo tanto el valor nutritivo de un alimento viene dado por su capacidad para producir energía.

Un animal en ayuno, continua utilizando energía para aquellas funciones indispensables para la vida como son la actividad muscular esencial, el movimiento de sustancias disueltas contra gradientes de concentración y la síntesis de constituyentes orgánicos (hormonas, enzimas). Esta energía el animal la obtiene a partir del catabolismo de las reservas corporales, en primer lugar el glucógeno y posteriormente las grasas y las proteínas.

Cuando el animal utiliza la energía química del alimento para su mantenimiento, este no realiza ningún trabajo externo y la energía empleada de este modo se convierte en calor el cual sirve para mantener la temperatura corporal.

El calor producido durante el mantenimiento (animal en ayunas) y que puede ser medido bajo condiciones especiales se le conoce con el nombre de Metabolismo Basal. La energía que excede a la necesaria para el mantenimiento se utiliza para las distintas formas de producción (carne, leche, huevos).

## Clasificación de la energía de acuerdo a su utilización por el cuerpo animal.

### ENERGÍA BRUTA

El animal obtiene la energía a partir de su alimento. La cantidad de energía química que posee un alimento se determina convirtiéndola en energía calórica y midiendo el calor producido. Esta conversión se realiza oxidando el alimento por medio de la combustión.



Se conoce como Energía Bruta o calor combustible, la cantidad de calor que resulta de la oxidación completa de la unidad de peso de un alimento y se mide utilizando una bomba calorimétrica.

La unidad básica de la energía térmica es la caloría, definida como la cantidad de calor necesario para elevar en 1°C la temperatura de 1g de agua, en ambiente de 14.5°C a 15.5°C. Esta unidad es demasiado pequeña para su conveniente utilización en la Nutrición Animal. Por tal razón, la Kilocaloría (Kcal) o 1000 calorías es más usada, en casos de valores mayores se usa la Megacaloría (Mcal).

Existen opiniones para retornar a la unidad internacional de medición del trabajo y la energía, el Joule, sin embargo, la Unión Internacional de Ciencias Nutricionales ha recomendado que se continúe utilizando el concepto de caloría.

$$1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ KJ} \quad 1 \text{ J} = 0.239 \text{ cal.}$$

## ENERGÍA DIGESTIBLE

La determinación de la EB es un dato poco exacto para conocer realmente la energía utilizable por el animal, pues no tiene en cuenta las pérdidas que tienen lugar durante la digestión y el metabolismo.

La primera pérdida que hay es la ocasionada por el E.B. que contienen las heces, entonces, la Energía Digestible aparente de un alimento es su energía total menos la energía contenida en las heces procedentes del alimento.



Se llama E.D. aparente, por que la energía fecal incluye la procedente del alimento no digerido y la de los productos metabólicos del organismo.

La Energía Fecal metabólica consiste en fluidos digestivos y restos de la mucosa intestinal. Desde el punto de vista estrictamente nutricional esta pérdida es parte de los requerimientos de mantenimiento del animal.

La expresión Energía Digestible Verdadera se emplea para caracterizar el resultado de sustraer a la Energía Bruta la energía fecal exclusivamente de origen alimentario.

## ENERGÍA METABOLIZABLE

Cuando la energía perdida en los productos gaseosos de la digestión y a través de la orina, se sustrae de la Energía Digestible Aparente se obtiene la Energía Metabolizable del alimento que es la parte de la Energía total ingerida que puede ser transformada en el organismo.

Los productos gaseosos de la digestión resultan de las fermentaciones que se realizan en el tracto digestivo. Los gases producidos que contienen energía y resultan en una pérdida consisten casi totalmente de metano (CH<sub>4</sub>), con pequeñas cantidades de Hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. Estas pérdidas son de mucha importancia en rumiantes, pero en monogástricos son despreciables.

La orina contiene energía, que representa una pérdida, ésta es del orden del 2-3% de la ingestión de E.B. en el caso de porcinos y del 4-5% en bovinos. Las pérdidas urinarias resultan de la excreción de productos nitrogenados no completamente oxidados, básicamente urea en los mamíferos y ácido úrico en las aves.



Estas pérdidas urinarias provienen una parte del alimento y una parte de origen orgánico denominada Energía Urinaria Endógena.

### INCREMENTO CALÓRICO

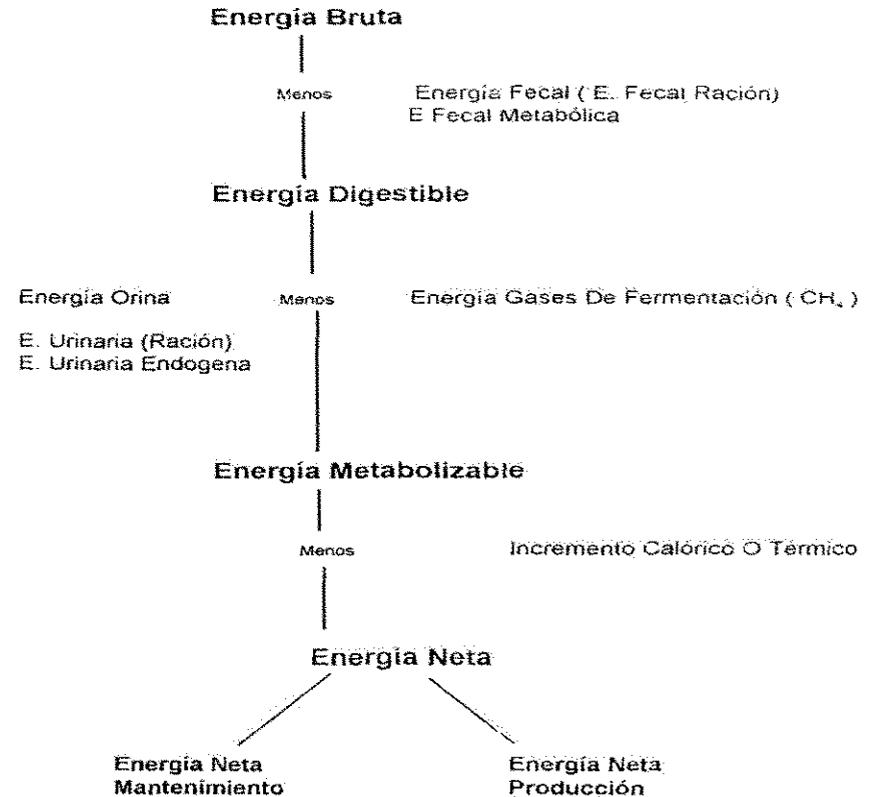
Después de la toma de alimento el animal no sólo pierde la energía química contenida en las excretas sólidas, líquidas y gaseosas, sino también las que se producen en formas de calor.

En todas las células de un organismo vivo, están constantemente ocurriendo reacciones químicas y parte de la energía química incluida se pierde como energía calórica. Esta pérdida de calor orgánico aumenta con el volumen de alimento consumido, a este aumento se le denomina Incremento Calórico o Incremento Térmico y consiste en Calor de Fermentación (CF) y Calor Metabólico del Nutriente.

El calor de fermentación, es el calor producido en el tracto digestivo como resultado de la acción microbiana y naturalmente es mucho mayor en los rumiantes que en otras especies. El Calor Metabólico del Nutriente, es la pérdida adicional de calor producido por la ingestión de alimentos debido a un aumento del ritmo metabólico inmediatamente después de la ingestión.

### ENERGÍA NETA

Cuando a la E.N. de un alimento restamos el incremento térmico nos resulta la energía Neta de un alimento que es aquella que el animal emplea para su mantenimiento y con fines productivos (carne, leche, huevos).



Esquema De Distribución De La Energía En El Animal (Sibbald, 1982)



### NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES.

Los nutrientes digestibles totales es la suma de la Proteína Digestible, Fibra Digestible, Extracto Libre de Nitrógeno Digestible y Grasa Digestible multiplicado por 2.25

La digestibilidad de cada nutriente de un alimento en particular es determinada por la especie, es de digestión

Los nutrientes digestibles se obtienen multiplicando el % de cada nutriente en el alimento (Proteína, Fibra, Extracto Libre de Nitrógeno y Grasa) por su coeficiente de digestibilidad. El resultado es expresado como proteína digestible, fibra digestible, ELN digestible y grasa digestible.

Los valores de energía que se tienen en consideración para cada nutriente son: 4 calorías por gramo para las proteínas, 4 calorías por gramo para los carbohidratos y 9 calorías por gramo para la grasa.

Estos valores se convierten a factores, dividiendo entre 4 cada uno de ellos, resultando 1, 1 y 2.5 para las proteínas, carbohidratos y grasa respectivamente.

Los NDT se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ NDT} = \% \text{ PB digestible} + \% \text{ FB digestible} + \% \text{ ELN digestible} + (\% \text{ EE digestible} \times 2.25)$$

El extracto etero se multiplica por 2.25 debido a que el valor energético de las grasas es aproximadamente dos veces y cuatro superior al de los carbohidratos y proteínas.

Los NDT son comúnmente expresados como % de la ración o por unidades de peso, no como valor calórico.



La principal ventaja del sistema NDT es su modo sencillo de cálculo, lo que ha permitido su utilización por mucha gente durante largo periodo de tiempo.

Las principales desventajas del sistema NDT son:

A pesar de ser NDT no incluye las vitaminas ni la materia mineral aprovechable.

En alimentos ricos en grasa, al multiplicar el EE por 2.25 puede resultar un % de NDT superior al 100%.

Es una fórmula empírica basada en determinaciones químicas que no están relacionadas con el metabolismo del animal.

Es expresada como un % o relacionada a su peso (Lb o Kg) en la ración, mientras que la energía se expresa en calorías.

Los NDT solamente consideran las pérdidas digestivas, no toma en cuenta otras pérdidas importantes como las pérdidas por la orina, gases e incremento calórico.

Debido a sus limitaciones el sistema NDT está siendo reemplazado por el Sistema de Evaluación Energética, particularmente Energía Neta para rumiantes y Energía Metabolizable para no rumiantes.

Para convertir NDT a megacalorías se utiliza la igualdad:

$$1 \text{ lb de NDT} = 2.0 \text{ Mcal} \text{ ó } 2000 \text{ Kcal.}$$

No obstante, es conocido que el componente forraje, en la ración afecta su valor energético. Entonces, cuando convertimos NDT a Mcal en una ración a base de forraje se utiliza la igualdad:

$$1 \text{ lb de NDT} = 1.5 \text{ Mcal} \text{ ó } 1500 \text{ Kcal.}$$



## DESCRIPCIÓN DEL VALOR PROTEICO DE LOS ALIMENTOS.

### VALOR BIOLÓGICO DE LAS PROTEÍNAS.

El organismo animal necesita más que de un mínimo fijo de materia nitrogenada indiferenciada, de un conjunto de aminoácidos unidos en proporciones definidas, materiales básicos con los que deben atender las sustituciones del nitrógeno perdido en varios órganos a fin de su continuado funcionamiento, crecimiento y producción.

El valor biológico de la proteína es el porcentaje de la proteína digerible del alimento que está disponible como proteína para el animal.

El valor biológico constituye una medida de la proporción de la proteína presente en el alimento que puede ser utilizada por el animal para la síntesis de las sustancias viviente y otras sustancias orgánicas.

El valor biológico también puede definirse como el % de nitrógeno absorbido que es retenido por el animal.

El valor biológico de una proteína es consecuencia del:

- Número
- Naturaleza.
- Proporcionalidad
- Forma de enlace de los aminoácidos que la constituyen.

El valor biológico de la proteína es un reflejo de la calidad y cantidad de aminoácidos disponibles para el animal después de la digestión de alimento. Si los aminoácidos disponibles para el animal están estrechamente relacionados en cantidad y calidad, con las necesidades para la formación de proteína corporal, su valor biológico es alto.



Si por otro lado, como resultado de la digestión del alimento hubiese exceso de ciertos aminoácidos y deficiencias de otros, el valor biológico de la proteína es bajo.

El valor biológico de una proteína será más alto, cuando más se aproxima en su constitución a las proteínas del organismo animal y su producción.

El valor biológico pudiera definirse por la capacidad de una proteína de origen alimentario para sustituir la que ha sido destruida por el organismo, en su funcionamiento o para formar la de una determinada producción.

Si una proteína tuviese la misma composición que la proteína endógena destruida se establecería el equilibrio nitrogenado administrando la cantidad igual a la destrucción de aquella y se hablaría de un valor biológico de 100.

Las proteínas de bajo valor biológico pueden elevarlo mediante la unión con proteínas de diferente procedencia, con lo que el valor biológico del conjunto se aumenta.

Es por ello que los efectos carenciales cualitativos no deben constituir una obsesión en la práctica de la alimentación, ya que cuando en la ración entran a formar parte 3,4 ó más alimentos diferentes, podemos tener la casi completa seguridad de que se han puesto a disposición del organismo los aminoácidos necesarios para su normal funcionamiento.

Para determinar el valor biológico (VB) de las proteínas se mide:

- N ingerido : Na
- N en heces : Nf
- N en orina : Nu



$$VB = \frac{Na - (Nf + Nu)}{Na - Nf} \times 100$$

Este VB se llama VALOR BIOLÓGICO APARENTE.

Parte del N en las heces está constituido por N fecal metabólico (Nfm) y parte del N de la orina está constituido por N endógeno urinario (NEU).

La presencia en las heces y la orina de una cantidad de N que no proviene directamente del N del alimento (Na) ha sido demostrado, porque cuando se alimenta a los animales con una dieta libre de N, siguen encontrándose pequeñas cantidades de este nutriente tanto en la excreta como en la orina. Esta ha sido la base para cuantificar las cantidades de Nfm y Neu.

Al excluir el Nfm y el Neu de la fórmula enunciada anteriormente permite obtener una valoración más exacta del valor biológico de las proteínas. La fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$VB = \frac{Na - (Nf - Nfm) + (Nu - Neu)}{Na - (Nf - Nfm)} \times 100$$

#### Aspectos A Tener En Cuenta Para Determinar El Valor Biológico

1. Al calcularse el VB debe tenerse en cuenta que la proteína de la dieta esté constituida en todo lo posible por la proteína que se estudia.



2. Hay que garantizar el consumo de proteína suficiente como para que permita una adecuada retención de nitrógeno.
3. No debe excederse a la cantidad necesaria para la retención máxima, pues sobrepasado este nivel, hay un catabolismo de aminoácidos que hace disminuir el VB que se determina.
4. La dieta debe cubrir los requerimientos en los demás nutrientes.

El animal necesita los aminoácidos absorbidos para la síntesis de proteínas orgánicas. La eficacia con que se realiza esta síntesis depende en parte, del grado de semejanza que guarda la proporción de aminoácidos absorbidos con la proporción en que se encuentran esos aminoácidos en las proteínas del organismo.

La capacidad de los animales para almacenar aminoácidos es muy reducida y cuando un aminoácido no es necesario para la síntesis inmediata de proteína es metabolizado y transformado en un aminoácido no esencial o bien es utilizado con fines no energéticos.

Como los aminoácidos esenciales no pueden ser sintetizados en el animal, un desequilibrio de estos en la dieta da lugar a un desaprovechamiento.

Las proteínas alimenticias que contienen un exceso o una deficiencia de cualquier aminoácido suelen tener un VB bajo.

Ejemplo: Vamos a considerar la proteína de dos fuentes alimenticias.

- La fuente A es rica en metionina y pobre en lisina.
- La fuente B es pobre en metionina y rica en lisina.

Si damos por separado ambas fuentes, se obtiene un valor biológico bajo, pero si las damos mezcladas se obtiene un buen valor biológico, por que se ha logrado una proporción adecuada de aminoácidos, ya que ambas fuentes se complementan.



### Balace de nitrógeno

El organismo para el crecimiento desde el inicio del período fetal utiliza los materiales plásticos contenidos en el alimento para la formación de sus tejidos. Estos tejidos a su vez en el funcionamiento vital del animal son destruidos y es necesario reponerlos.

En este proceso de destrucción y formación de tejidos los principios inmediatos experimentan cambios que se reflejan en los balances de sus componentes químicos (nitrógeno, carbono, sales y agua).

En cuanto al balance del nitrógeno vemos que los animales no tienen capacidad para utilizar el nitrógeno del aire, por lo que hay que admitir que el nitrógeno existente en el organismo animal proceda únicamente del contenido de los alimentos, su eliminación se realiza por la orina y en menor cantidad por las heces.

Pequeñas cantidades se pierden por la piel y cantidades infinitesimales por los pulmones en forma de nitrógeno amoniacal.

De esta forma el balance de nitrógeno queda prácticamente reducido a la determinación del contenido en los alimentos y el que aparecerá en las heces y orina. La diferencia entre el nitrógeno ingerido y el expulsado es el que queda retenido en el organismo.

Pasemos a determinar el nitrógeno del alimento retenido por el organismo animal.

Si:

$N_a$  : Nitrógeno en el alimento

$N_f$  : Nitrógeno en las heces

$N_u$  : Nitrógeno en la orina



$$N \text{ retenido o fijado} = N_a - N_f - N_u$$

Este nitrógeno se considera como **NITRÓGENO RETENIDO APARENTE** ya que dentro del nitrógeno fecal y el urinario se considera el nitrógeno fecal metabólico y el nitrógeno endógeno urinario (NEU) que no forma parte del alimento inicial.

El nitrógeno retenido real será entonces

$$N_R \text{ real} = N_a (N_f - N_{fm} + N_u - N_{eu})$$

En ambos casos se puede calcular y expresar la retención de nitrógeno en porciento.

$$\% \text{ de } N_{RA} = \frac{N_a - (N_f + N_u)}{N_a} \times 100$$

$$\% \text{ de } N_{RR} = \frac{N_a (N_f - N_{fm} - N_{eu})}{N_a} \times 100$$

Utilizando el factor calculado (6.25) en base al porciento de nitrógeno en las proteínas (16%) se puede determinar la proporción de proteína que corresponde a una cantidad determinada de nitrógeno hallada en el análisis. De esta forma podemos conocer la proteína fijada, excretada etc.

En los animales productores de leche, huevos, lana, se tendrá en cuenta adicionar este nitrógeno en las cantidades excretadas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Crampton, E. W. Nutrición Animal Aplicada. El uso de los alimentos en la formulación de raciones para el ganado. McDonald college McGill University, Quebec, Canada. Instituto del Libro
- Ensminger M. E., Oldfield J. E., Heinemann W. W. Feeds and Nutrition. Second Edition 1990
- Ensminger M. E., Oientine C. G. Alimentos y alimentación de los animales. Editorial Ateneo 1978
- Leonard A. Maynard, Jhon K. Loosli, Harold F. Hintz, Richard G. Warner. Nutrição Animal. 3a. Edição. Rio de Janeiro Freitas Bastos, 1984. 736 p. II
- Londono L. F. Fundamentos de Alimentación Animal. 1993 Managua, UNA, 182p.



### BIBLIOGRAFÍA

1. Crampton, E. W. Nutrición Animal Aplicada . El uso de los alimentos en la formulación de raciones para el ganado. McDonald college McGill University, Quebec, Canada Instituto del Libro
2. Ensminger M. E., Oldfield, J. E., Heinemann W. W. Feeds and Nutrition. Second Edition 1990
3. Ensminger M. E., Oientine C. G. Alimentos y alimentación de los animales. Editorial Ateneo 1978
4. Leonard A. Maynard, Jhon K., Loosli, Harold F. Hintz, Richard G. Warner, Nutrição Animal, 3a. Edição. Rio de Janeiro Freitas Bastos, 1984. 736 p. il.
5. Londoño I. F. Fundamentos de Alimentación Animal 1993. Managua, UNA, 182p.