



## LOS ALIMENTOS Y SU VALOR NUTRITIVO

Lic. Mónica GAGGIOTTI  
INTA Rafaela  
mgaggiotti@rafaela.inta.gov.ar

### 1. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE LA DIETA. DEFINICIÓN DE NUTRIENTES Y ALIMENTO.

Tradicionalmente, los objetivos de mayor peso de los programas de mejoramiento de las especies forrajeras han sido el incremento en el rendimiento de materia seca (MS) junto a una mayor persistencia y resistencia a las enfermedades.

La importancia del valor nutritivo de los mismos en la producción animal fue reconocida sólo a partir del desarrollo del sistema proximal de análisis en Alemania. Los esfuerzos para mejorar el valor nutritivo a través de la mejora genética son relativamente recientes.

El manejo de cualquier especie forrajera involucra un compromiso entre producción de materia seca y valor nutritivo del pasto. La cantidad de materia seca aumenta casi linealmente hasta el punto de madurez fisiológica, sin embargo, el valor nutritivo de esta invariablemente decrece.

Hasta no hace mucho tiempo, el criterio de selección por valor nutritivo se basaba en el contenido de proteína bruta y en la relación tallo-hoja de la planta. El descubrimiento de que el contenido de proteína bruta se relacionaba con la digestibilidad y que, en algunas plantas, los tallos inmaduros eran más digestibles que las hojas, definieron diferentes parámetros de selección. La relación directa hallada entre la digestibilidad y el valor energético de los forrajes impulsó al uso de este parámetro como criterio de selección.

En los últimos 20 años se ha generado, a nivel mundial, apreciable cantidad de información que describe la relación entre la calidad de los alimentos y el comportamiento productivo del ganado lechero. En la actualidad es posible producir con una mayor eficiencia y a menores costos si se formulan dietas sobre la base de calidad y potencial valor nutritivo de cada uno de los alimentos.

En términos de calidad, se establece que para optimizar la producción de los rumiantes a partir de forrajes, es necesario optimizar la digestibilidad y el consumo, maximizar la eficiencia del crecimiento microbial y ajustar los nutrientes lo más estrechamente posible a las cantidades y balances requeridos para la función productiva.

Un alimento puede ser definido como cualquier componente de una dieta o ración que aporta los nutrientes necesarios para el organismo animal. Los nutrientes son compuestos orgánicos y/o inorgánicos esenciales para los procesos metabólicos (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y minerales).

### 2. CLASIFICACIÓN DE LOS ALIMENTOS.

Cualquier producto de origen vegetal o animal puede ser clasificado como un alimento, siendo los animales capaces de utilizar sus componentes orgánicos e inorgánicos (sin riesgo para su salud).

Los alimentos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: forrajes y concentrados. El criterio para la caracterización de ambos grupos es el contenido de fibra bruta (FB); en general los forrajes contienen más del 18 % de FB y los concentrados menos del 18 %. Sin embargo, ésta clasificación es imperfecta y arbitraria. La FB no incluye totalmente a la lignina y a la hemicelulosa. Por ejemplo, la pulpa de remolacha que tiene un 17 % de FB y 47 % de pared celular (FDN), es considerada, de acuerdo a esta clasificación, como un concentrado, mientras que la alfalfa inmadura con 24 % de FB y 36 % de FDN es clasificada como un forraje.

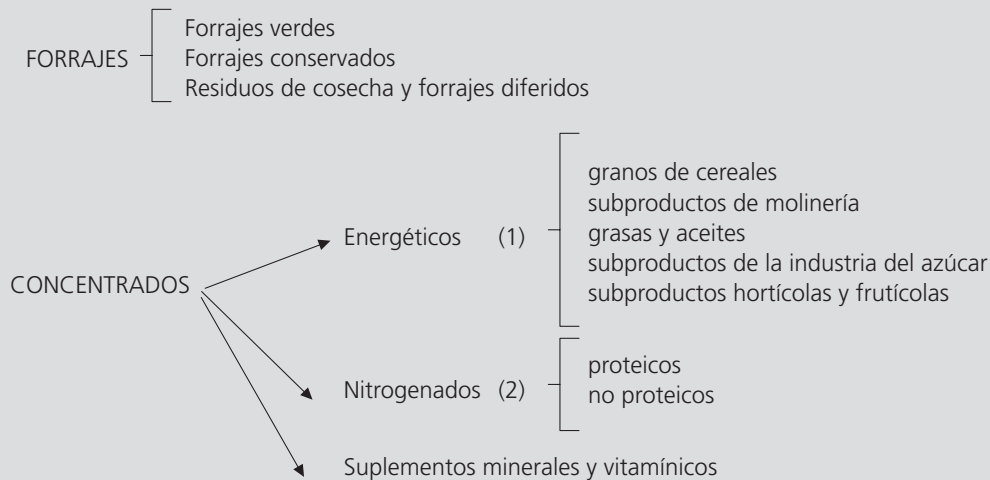
Los alimentos dentro de cada grupo varían considerablemente. Algunos forrajes frescos, como gramíneas y leguminosas en estado temprano de crecimiento, pertenecerían al grupo de los concentrados, pero se los clasifica como forrajes debido a que su alto contenido de humedad disminuye la concentración de nutrientes por unidad de peso. Esto también se aplica a otros forrajes cuando su contenido de humedad es mayor al 40 %. Los criterios de clasificación serían los siguientes: (Cuadro 1).

**Cuadro 1: Clasificación de los alimentos.**

Alimento	Materia seca del alimento (%)	Nivel de nutriente por unidad de peso	Fibra bruta (%)
Forrajes	Menos del 60%	Bajo	Más del 18%
Concentrados	Más del 60%	Alto	Menos del 18%



Alimentos más comunes comprendidos dentro de cada grupo



(1) Más de 2,5 Mcal/kg MS de energía metabolizable.

(2) Más del 20% PB

Teniendo en cuenta el contenido de fibra detergente neutro de los alimentos para rumiantes (FDN), los forrajes se podrían caracterizar de la siguiente forma:

- Forrajes verdes: Entre 25 y 40 % FDN
- Forrajes conservados: Entre 40 y 70 % FDN
- Residuos de cosecha y forrajes diferidos: Mayor a 70% FDN

### 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ALIMENTOS.

Los constituyentes de los alimentos son el agua y la materia seca. La materia seca incluye compuestos orgánicos (carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos y vitaminas) e inorgánicos (minerales).

#### 3.1. El agua

El contenido de agua de los alimentos está sujeto a un amplio rango de variación. Puede oscilar desde un 8 % o menos en los alimentos secos (granos y rastrojos) hasta un 80-90 % en los alimentos succulentos (forrajes muy tiernos, raíces y tubérculos). El agua contenida en las plantas en crecimiento está en relación con el grado de desarrollo, siendo mayor en plantas jóvenes que en las de mayor edad. La proporción de agua de las pasturas es de aproximadamente 90 % a comienzo de primavera y de 65 % en verano, de manera que, la densidad de nutrientes se ve aún más disminuida en primavera que en verano (Cuadro 2).

En las dietas basadas principalmente en pasturas, la presencia de agua diluye en forma marcada la concentración de nutrientes. Por otra parte es importante destacar que el agua en las pasturas es predominantemente intracelular, contribuyendo al volumen de la dieta. La densidad y el contenido de

agua de un forraje están intrínsecamente ligados y ambos pueden tener un gran impacto sobre el consumo voluntario.

En varios trabajos se ha registrado que el contenido de agua en las pasturas tendría un efecto negativo sobre el consumo total de MS.

#### 3.2. Los carbohidratos

Las plantas se distinguen de las demás formas de vida por su habilidad para utilizar la radiación solar en la síntesis de compuestos orgánicos. Los primeros productos de la fotosíntesis son carbohidratos y cumplen fundamentalmente funciones estructurales. Los alimentos que componen las dietas de los rumiantes son en su mayoría forrajes. El principal objetivo en la alimentación del ganado es sin dudas, la conversión eficiente de estos materiales en proteínas y lípidos (carne/leche), lo cual se logra a través de la población microbiana del rumen que es capaz de metabolizarlos, con beneficios para su huésped.

Las plantas contienen carbohidratos en diferentes estados de polimerización, que van desde monosacáridos hasta polímeros de alto peso molecular, como el almidón, la celulosa, la hemicelulosa y la pectina. Los últimos tres están integrados en la matriz de la pared celular y por lo tanto se los ha



**Cuadro 2: Concentración de nutrientes de una pastura de raigrás y trébol blanco, sobre base seca y húmeda.**

Composición del forraje	Base seca (%)	Base húmeda (%)
Carbohidratos no estructurales	27,0	4,1
Fibra detergente neutro	30,2	4,5
Proteína bruta	25,3	3,8
Lípidos	6,1	0,9
Cenizas	11,4	1,7
Agua	-	85,0

denominados carbohidratos estructurales. Son causantes de la fibrosidad del alimento, no están disponibles para el metabolismo energético de la planta, son insolubles en agua y poseen una fermentabilidad potencial lenta y limitada. La pectina constituye una excepción debido a que es completamente fermentable en el rumen. Los restantes carbohidratos, que no forman parte de la pared celular se denominan carbohidratos no estructurales (CNE). Son compuestos activos en el metabolismo de la planta, se almacenan en órganos de reserva y están constituidos principalmente por azúcares libres, almidón y fructosanos. Este grupo de carbohidratos posee un potencial de fermentación rápida y total en el rumen, al igual que en el proceso de fermentación del ensilaje.

Los componentes del contenido y de la pared celular se pueden clasificar de acuerdo a su biodisponibilidad en tres clases (Cuadro 3).

Los alimentos que poseen un alto contenido de pared celular (voluminosos) limitan el consumo en los rumiantes pero las dietas deben contener un mínimo de fibra de adecuada calidad y propiedades físicas para mantener las condiciones normales de fermentación y evitar desórdenes metabólicos.

Con alimentos demasiados fibrosos, el consumo puede incrementarse a través del procesamiento (picado, peleteado, reducción del tamaño de partí-

cula y ruptura de la estructura de la pared celular) dando como resultado un incremento en la densidad de la dieta y una disminución en el trabajo de digestión y rumiación. Los ventajas de estos tratamientos dependerán de la naturaleza del alimento. En términos generales los voluminosos menos beneficiados son los de mayor digestibilidad.

Entre los carbohidratos no estructurales, el almidón contenido en el endosperma del grano de los cereales, es uno de los compuestos relevantes en la alimentación intensiva del ganado lechero.

El balance de los nutrientes contenidos en los alimentos es esencial a los fines de obtener la mayor eficiencia de conversión del alimento en producto. La velocidad y la proporción en la que son fermentados en rumen, son aspectos a tener en cuenta en el momento de seleccionar los componentes de la ración. Los carbohidratos poseen diferentes tasas de fermentación relativa. Los azúcares solubles tienen una tasa de fermentación que duplica o triplica a la de los almidones de los granos de cereales y a su vez entre estos últimos existen diferencias marcadas (avena, cebada, maíz, en orden decreciente de tasa de fermentación).

**Cuadro 3: Biodisponibilidad de los componentes celulares.**

Componente	Digestibilidad (%)	Factor limitante
Clase 1:		
- Carbohidratos solubles	100	Consumo
- Almidón	+ 90	Pérdida fecal
- Ácidos orgánicos	100	Consumo/toxicidad
- Proteínas	+ 90	Fermentación
- Pectina	100	Fermentación
Clase 2 (pared celular)		
- Celulosa	variable	Lignificación, silificación y cutinificación
- Hemicelulosa	variable	
Clase 3:		
- Lignina	indigestible	Limitan la utilización de la pared celular.
- Cutina	indigestible	
- Sílice	indigestible	
-Taninos, aceites esenciales y polifenoles		Inhibidores de proteasas y celulasas



### 3.3. Componentes nitrogenados

El nitrógeno (N) de los alimentos puede dividirse en dos grupos principales: proteína verdadera (PV) y nitrógeno no proteico (NNP) soluble, obviando los ácidos nucleicos y otras formas de NNP. En los forrajes el contenido de ácidos nucleicos es insignificante pero los productos fermentados, ricos en microorganismos, pueden tener una cantidad apreciable de estos componentes.

En general, las plantas contienen cerca del 80 % de PV, compuesta por las proteínas de las hojas y tallos, y las de reserva de las semillas. Las proteínas de las hojas se encuentran en el citoplasma y los cloroplastos. Estas son de alto valor biológico, pero muchas veces se les estima un valor menor debido a la tradición de expresar la proteína bruta (PB) como el contenido de N total x 6,25, olvidando las diferentes formas de nitrógeno que existen en las plantas. Las proteínas citoplasmáticas están en forma soluble en el contenido celular y son muy sensibles al calor y al cambio de pH. Como ejemplo, se puede citar la baja solubilidad de estas proteínas en los henos.

Los concentrados proteicos de origen vegetal son generalmente derivados de semillas de plantas de oleaginosas, que contienen proteínas de alta solubilidad (globulinas y albúminas), las cuales son propensas a la desnaturalización por calor y por los solventes a los que son sometidas en la extracción del aceite.

En forrajes verdes la fracción de NNP soluble está compuesta básicamente de aminoácidos no esenciales, pero en silajes y henos éstos pueden ser sustituidos por amoníaco y aminas. En forrajes fertilizados con N el contenido de NNP aumenta debido al incremento de los aminoácidos libres y nitratos.

Los actuales sistemas de evaluación de proteína para el ganado (ARC, NRC, INRA) separan la proteína del alimento en proteína que se degrada en el rumen (proteína degradable) de la proteína que se escapa de la degradación ruminal y pasa al intestino delgado (proteína no degradable). La proteína soluble se encuentra dentro de la fracción de proteína degradable. La proteína que se fermentará en el tracto digestivo posterior y la insoluble que está ligada a la fibra, se encuentran dentro de la fracción de proteína no degradable.

La competencia entre pasaje y digestión ruminal para el sustrato potencialmente digestible define la proporción de alimento fermentado que pasará al omaso y abomaso. Este pasaje es importante debi-

do a que determinará que proporción de proteínas alcanzará la digestión peptídica.

En la reducción de la solubilidad de las proteínas están involucrados dos tipos fundamentales de reacciones químicas: a) la desnaturalización y b) la formación de uniones conjugadas con otras sustancias.

En los forrajes y otros alimentos para el ganado, que por alguna causa natural o artificial hayan sido sometidos a la acción del calor, ocurre con frecuencia la formación de productos de la llamada reacción de Maillard. La reacción de Maillard, de carácter no enzimática, involucra la condensación de azúcares con aminoácidos, seguida por una polimerización. Se forma una sustancia de color marrón que contiene alrededor de 11 % de nitrógeno y que tiene muchas de las propiedades físicas de la lignina. Este proceso, que se acelera en presencia de agua, puede insolubilizar gran parte de las proteínas (por ejemplo en henos y ensilajes mal preservados), haciéndolas resistentes a la hidrólisis proteolítica. La temperatura crítica de reacción parece estar en el orden de los 60° C o menos. Los polímeros de Maillard integran la proteína insoluble.

### 3.4. Los lípidos

La dieta de los rumiantes es normalmente escasa en lípidos debido a que su contenido en los forrajes es muy bajo (1-4%). Este tipo de dietas, con predominancia de fibra, ha conferido ciertas adaptaciones a los rumiantes, de manera que ellos son intolerantes a elevados niveles de grasa en el medio ruminal.

Los lípidos de los forrajes son alterados durante la digestión en los pre-estómagos, en virtud del proceso de hidrogenación de ciertas especies microbianas, de manera que los lípidos que el animal absorbe son bien diferentes a los que ingiere. Desde el punto de vista cuantitativo, los lípidos pueden ser agrupados en:

- a) los compuestos de reserva en las semillas (triglicéridos);
- b) los lípidos de las hojas (galactolípidos) y
- c) las ceras, carotenoides, clorofila, aceites esenciales, etc.

Las grasas que se denominan de liberación lenta en rumen, como la semilla de algodón y el poroto de soja, contienen alrededor de un 20 % de grasa altamente insaturada, mientras que las del sebo animal son relativamente saturadas y comparativamente inertes, por su alto punto de fusión.



### 3.5. Minerales y vitaminas

El contenido mineral de una planta depende de la especie y la disponibilidad en el suelo. Los valores medios (g/Kg MS) que se han registrado de macrominerales en gramíneas y leguminosas templadas, respectivamente son: calcio 5,9 y 18,6, fósforo 3,3 y 3,6, magnesio 1,8 y 2,9, sodio 2,3 y 1,9. Estos valores enfatizan la importancia de las leguminosas como fuente de macrominerales. Las leguminosas contienen además, una mayor cantidad de cobre, cobalto y zinc que las gramíneas.

En el proceso de pastoreo el ganado ingiere una cierta cantidad de suelo y absorbe minerales bajo la forma en que se encuentran en el mismo. Las retenciones de Calcio, Magnesio y Fósforo se ven incrementadas por la ingestión de suelo y ésta puede ser una importante fuente de elementos trazas para el animal en pastoreo. La cantidad absorbida dependerá de la altura de la pastura y el nivel de contaminación con suelo.

La influencia de la fertilización sobre el contenido mineral del forraje es compleja. El efecto puede ser el incremento o la disminución de un mineral en particular, dependiendo del contenido del suelo, la interacción con otros minerales y los cambios inducidos en la composición botánica de la pastura.

Se han identificado como mínimo 15 minerales considerados esenciales para los rumiantes. De ellos siete son macroelementos (Calcio, Sodio, Potasio, Fósforo, Cloro, Azufre y Magnesio) y ocho microelementos (Cobre, Cobalto, Iodo, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Selenio y Zinc). Un elemento mineral es considerado esencial si su deficiencia en la dieta es capaz de producir daño funcional y/o estructural.

Muchos de los minerales considerados esenciales pueden tener efectos tóxicos cuando se suministran en grandes cantidades, como por ejemplo el Cobre, Cobalto, Iodo, Manganeso, Molibdeno, Selenio y Zinc. De igual manera, algunos elementos como el Aluminio, Arsénico, Cadmio, Plomo y Mercurio son considerados tóxicos.

Las vitaminas son nutrientes orgánicos requeridos en cantidades pequeñas para numerosas funciones bioquímicas diferentes y en general no pueden sintetizarse en el organismo y, por lo tanto, deben recibirse de los alimentos.

Las vitaminas se clasifican en dos grupos principales:

- Hidrosolubles (complejo vitamínico B y el ácido ascórbico -vitamina C-) y
- Liposolubles (A, D, E, K).

Las necesidades vitamínicas de los rumiantes son, a nivel del metabolismo general y celular, las mismas que la de los monogástricos. Sin embargo, las vías y los medios para cubrir estas necesidades son diferentes, debido a que las síntesis llevadas a cabo por los microorganismos del rumen hacen a los rumiantes independientes con respecto al aporte exógeno de las vitaminas del complejo B.

Sin embargo, en cuanto a las vitaminas liposolubles, los rumiantes dependen, al igual que los monogástricos, de los aportes de los alimentos, particularmente para las vitaminas A y E, y en menor medida para las del grupo D.

### 4. VALOR NUTRITIVO DE UN ALIMENTO.

El valor nutritivo de los alimentos está determinado por:

- la concentración de nutrientes,
- la digestibilidad de esos nutrientes y
- la naturaleza de los productos finales de la digestión.

El valor nutritivo hace referencia a las características del forraje consumido, que determina su concentración de energía digestible y su eficiencia parcial de utilización.

La disponibilidad de los nutrientes de un alimento está esencialmente determinada por su composición química (concentración de nutrientes disponibles y no disponibles y estructuras orgánicas e inhibidores a los que están ligados, que pueden limitar su biodisponibilidad).

La caracterización de la disponibilidad de energía y proteína de los alimentos requiere de un sistema de análisis que permita la determinación de la digestibilidad y otros parámetros del valor nutritivo. La estimación del valor nutritivo de los alimentos utilizados en producción animal puede obtenerse por pruebas de laboratorio o evaluando el aprovechamiento de las distintas fracciones en pruebas "in vivo".

Los métodos tradicionales de laboratorio (análisis químicos convencionales - "química húmeda" -) involucran varios procedimientos para determinar los principales componentes químicos. Son los más usados y están basados en principios químicos y bioquímicos sólidos. La obtención de resultados precisos depende de que se realice un buen mues-



treo, de una correcta manipulación de las muestras después de la recolección y de procedimientos analíticos adecuados.

#### 4.1. Análisis proximal.

El sistema convencional que divide a la MS en cinco fracciones:

- extracto etéreo (lípidos): EE
- fibra bruta: FB
- proteína bruta (nitrógeno total x 6,25): PB
- cenizas
- extracto no nitrogenado: ENN

Este sistema es la base sobre la cual se calcula el Total de Nutrientes Digestibles (TND). No obstante ser ampliamente usado fue objeto de severas críticas.

#### 4.2. Sistema detergente o Método de Van Soest

Un nuevo método de química húmeda fue desarrollado por Van Soest, debido a que la FB no diferencia suficientemente bien los componentes de la pared celular. El sistema de análisis proximal fue criticado por subestimar forrajes de buena calidad y sobrestimar forrajes de calidad pobre.

El sistema de detergentes es la forma más común de particionar a los alimentos y propone el siguiente esquema de partición de la materia orgánica:

- fracción soluble en detergente neutro (contenidos celulares): lípidos, azúcares, almidón, proteína soluble, NNP, ácidos orgánicos y sustancias solubles en agua.
- fracción insoluble en detergente neutro (paredes celulares o fibra detergente neutro -FDN-):
- Solubles en detergente ácido: proteína insoluble y hemicelulosa
- Insoluble en detergente ácido (FDA): celulosa, lignina, compuestos nitrogenados lignificados, proteína alterada por calor, cutina, sílice.

Desde el punto de vista de su digestibilidad los constituyentes de la pared celular pueden ser agrupados en dos fracciones perfectamente diferenciadas:

- *polisacáridos*: celulosa e hemicelulosa que son utilizables parcialmente por la fermentación enzimática de la flora del rumen. Las gramíneas pueden contener una proporción hasta casi tres veces mayor de hemicelulosa que las leguminosas para un mismo porcentaje de celulosa. En cuanto a la lignina las leguminosas contienen una proporción dos o tres veces mayor que las gramíneas.

- *lignina, cutina y sílice*: tienen una digestibilidad prácticamente nula.

Se ha demostrado que la FDN está correlacionada negativamente con el consumo de materia seca. La FDN aumenta con el avance de la madurez de los forrajes. La FDA está relacionada en forma negativa con el porcentaje de digestibilidad que tiene el forraje al ser suministrado.

#### 4.3. Digestibilidad

Una de las medidas más útiles del valor nutricional de los alimentos es la digestibilidad aparente de la materia seca, pero debido a que su determinación "in vivo" es laboriosa y consume grandes cantidades de alimentos, se han propuestos varios métodos de laboratorio (biológicos y químicos) para su estimación.

Los métodos de digestibilidad "in vitro" simulan los procesos digestivos de los rumiantes. El método en dos etapas, basado en el uso de licor ruminal y seguido por un tratamiento con pepsina, para completar la degradación de los componentes proteicos del alimento y de las bacterias adheridas al mismo, es el que está más difundido. Este método propuesto por Tilley y Terry es confiable, exacto y preciso para la predicción de la digestibilidad "in vivo" de una amplia variedad de forrajes.

Los sistemas "in vitro" tienen el potencial de ser más exactos que los químicos, debido a que los microorganismos y las enzimas son sensibles a factores indeterminados que afectan la tasa y el porcentaje de digestibilidad. El inconveniente de este método es la necesidad y el costo de mantener animales donantes fistulados y a que puede existir gran variabilidad entre distintas tandas de licor ruminal (especie donante, dieta suministrada, cambios en el manejo de la alimentación, momento en que se recolecta el licor ruminal).

Para evitar la dependencia de animales fistulados se desarrollaron las técnicas enzimáticas. Estas consisten en digerir los alimentos con celulasas fúngicas con pretratamientos con pepsina o solución detergente neutro.

Otro método, actualmente utilizado, es el de digestibilidad "in situ", en el cual la digestibilidad es medida colocando el alimento en bolsas especiales e incubarlo en las mismas dentro del rumen del animal.

Otra forma de estimar la digestibilidad es utilizando los datos de composición química de los alimentos





El uso de ecuaciones empíricas es el método más común que usan los laboratorios comerciales. Estas ecuaciones se derivan de regresionar la digestibilidad sobre la concentración de una fracción química en particular.

#### **4.4. Análisis por espectroscopía de reflectancia infrarroja cercano (NIRS)**

Es un método instrumental que permite determinar la composición química de un alimento utilizando la información generada por él mismo cuando es excitado con una radiación infrarroja cercana. Las ventajas que ofrece son alta velocidad de trabajo, preparación simple de la muestra, posibilidad de realizar múltiples análisis en una sola operación y la no destrucción de la muestra. La gran desventaja que presenta es la dependencia de un complicado proceso de calibración.