
APLICACION DE LA TECNOLOGIA DEL NIRS PARA EL ANALISIS DE CALIDAD DE LOS PRODUCTOS AGRICOLAS

Daniel Cozzolino*

* Ing. Agr., Nutrición Animal, INIA La Estanzuela.

Título: APLICACION DE LA TECNOLOGIA DEL NIRS PARA EL ANALISIS DE CALIDAD
DE LOS PRODUCTOS AGRICOLAS

Autor: Daniel Cozzolino

Serie Técnica N° 97

© 1998, INIA

ISBN: 9974-38-089-8

Editado por la Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA.
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Este libro no se podrá
reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

INDICE

Página

1. INTRODUCCION	1
2. ENLACES QUIMICOS Y SU ABSORCION EN EL INFRARROJO	2
3. CALIBRACION	4
4. METODOS DE REFERENCIA PARA EL ANALISIS INFRARROJO	5
5. INSTRUMENTACION	6
6. APLICACIONES DEL INFRARROJO EN LA AGRICULTURA.....	7
6.1 Determinación de calidad de granos	7
6.2 Determinación de calidad de forrajes, concentrados y ensilajes	7
6.3 Determinación de calidad de carnes	9
6.4 Análisis cualitativo	9
7. OTRAS APLICACIONES	9
8. CONSIDERACIONES FINALES	10
9. AGRADECIMIENTOS	10
10. BIBLIOGRAFIA.....	11

APLICACION DE LA TECNOLOGIA DEL NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) PARA EL ANALISIS DE LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS AGRICOLAS

1. INTRODUCCION

La población mundial depende de la producción de fibra, carne y de otros productos agrícolas para su subsistencia. Desde los comienzos históricos de la agricultura estos productos han sido comercializados en el mercado en base a su volumen o peso (toneladas, metros cúbicos, etc.), pero desde los pasados 100 años comenzó a ser importante la caracterización de los alimentos en función de sus características físicas y propiedades químicas, pasando a primer plano el tema: **calidad del producto**. A tales efectos numerosos métodos y técnicas de laboratorio se han desarrollado para proveer de la información necesaria del valor nutritivo y calidad de los alimentos y productos agrícolas generados a los agricultores, investigadores e industriales. Sin embargo, estos métodos siguen siendo caros, consumen tiempo y mano de obra, además de ser altamente contaminantes del medio ambiente, debido a la gran demanda de reactivos químicos y gases tóxicos producidos en las reacciones químicas involucradas.

Las técnicas que se basan en la utilización de la espectrofotometría infrarroja cercana (en inglés: near infrared reflectance spectroscopy, NIRS) ofrecen la ventaja de ser rápidas, de bajo costo, no destructivas, no invasivas y no contaminantes, debido a que no hacen uso de reactivos químicos. La utilización del NIRS se ha extendido no solamente al campo de la agricultura, sino que también en la farmacéutica, química, petro-

química, medicina, industria alimenticia, cosméticos, etc., podemos encontrar extensos ejemplos de su aplicación.

Uno de los primeros reportes que aparecen en la literatura relacionados con el NIRS data del año 1938. Pero el desarrollo más importante de la tecnología se debe a los trabajos de Norris y colaboradores en la década de los 60.

Norris fue uno de los pioneros en reconocer el potencial de esta tecnología para el análisis de granos, desarrollando la aplicación de la reflectancia difusa para el análisis de numerosos productos agrícolas (carne, granos, huevos, etc.). A partir de la década de los 80, con el desarrollo de nuevos instrumentos, computadoras y programas es que la tecnología infrarroja empieza a tener su espacio en el análisis de diferentes materiales y productos. Debido a que los instrumentos de NIRS son fáciles de utilizar han sido usados extensivamente por la industria de los alimentos. Un operador coloca la muestra en el instrumento, activa un botón y en segundos aparece la información disponible en la pantalla de la computadora, siendo este proceso para muchos una especie de "caja negra o mágica", que suministra resultados. Pero en realidad la técnica es muy sencilla y fácil de entender.

El objetivo de esta publicación es el de presentar la tecnología del NIRS e introducir los elementos más importantes que componen la misma para que los futuros usuarios posean una referencia rápida sobre las aplicaciones y limitaciones de esta metodología.

2. ENLACES QUIMICOS Y SU ABSORCION EN EL INFRARROJO

Dyer y Feng, (1997) ilustran el principio del NIRS a través del siguiente ejemplo. Estos autores comentan: "Piense en una pastura. Asuma que esta es verde y pregúntese, ¿Porqué es verde? Porque la luz que intercepta la pastura, absorbe las longitudes de onda del color rojo y refleja las amarillas y azules, las cuales combinadas producen el color verde que perciben nuestros ojos. Si la pastura esta dispersa, el color verde es menos intenso, y cuanto más densa es la pastura, más intenso es el color. No solamente podemos distinguir cuanta pastura hay viendo el color verde, sino que también podemos distinguir a la pastura de una calle o una tierra arada. Nuestra vista puede dis-

tinguir la pastura de la calle en base al color, debido a que la pastura y el asfalto reflejan diferentes porciones de longitud de onda de la luz. Este mismo principio es el que domina a la técnica del NIRS".

Los productos agrícolas tienen las mismas características espectrales que otros materiales. Con la excepción de la fase gaseosa, el NIRS (700 hasta 2500 nm) incluye las absorciones moleculares de las principales moléculas (700 hasta 1800 nm) y las correspondientes combinaciones (1800 hasta 2500 nm).

La figura 1 presenta la posición en el espectro electromagnético del infrarrojo cercano. Las vibraciones moleculares existen en el NIRS bajo la forma de enlaces X-H (hidrógeno), donde la X puede ser C (carbono), N (nitrógeno) u O (oxígeno). En general la composición y comportamiento de los

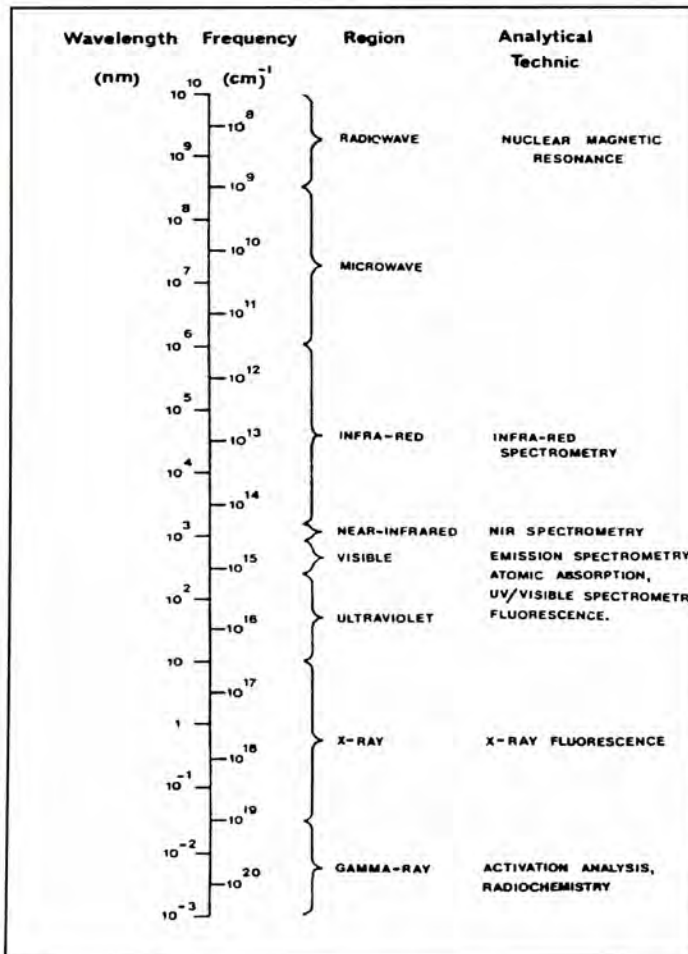


Figura 1. Diagrama del espectro electromagnético.

vegetales y animales son una directa consecuencia de su constitución química. Los componentes más importantes en todas estas sustancias son las proteínas, los carbohidratos, las grasas, las vitaminas y los minerales. Las proteínas, carbohidratos y grasas son complejas moléculas, constituidas por unidades más simples tales como aminoácidos, ácidos grasos, azúcares simples, etc. Su configuración espacial, el grado de hidratación y los enlaces covalentes y cargas electro - estáticas de estas unidades determinan su capacidad para combinarse y crear una extensa gama de propiedades químicas y físicas que caracterizan a estas complejas moléculas (Murray y Williams, 1987).

La materia orgánica esta constituida de átomos, fundamentalmente carbono, nitrógeno e hidrogeno. Estos átomos se combinan mediante enlaces covalentes y electrocovalentes para formar las moléculas. Debido a estas cargas electro-estáticas que poseen los átomos y moléculas, estos se encuentran en un "continuo movimiento", definido como el nivel cero o basal. Las moléculas vibran a determinadas frecuencias y estas se corresponden con longitudes de onda especificas definidas en el espectro del NIRS. La figura 2 presenta el espectro de un

producto agrícola en el NIRS y las principales absorciones moleculares.

La intensidad de la absorción de las moléculas en el NIRS puede ser descrita en términos de transmitancia o absorbancia, donde la intensidad se expresa usando la ley de Beer/Lambert:

$$\log (I_0 / I) = \log (I / T) = k c l = A$$

Donde:

- A:** es absorbancia (densidad óptica)
- k:** es la constante de la absorción molecular que es característica para cada molécula
- c:** es la concentración de la absorción de las moléculas
- l:** distancia que recorre la energía irradiada a través de la muestra. En el NIRS esta ecuación se expresa en términos de reflectancia tomando la forma de :

$$A = \log (1 / R)$$

Donde:

- R:** es la reflectancia de la muestra y **A:** es la absorbancia.

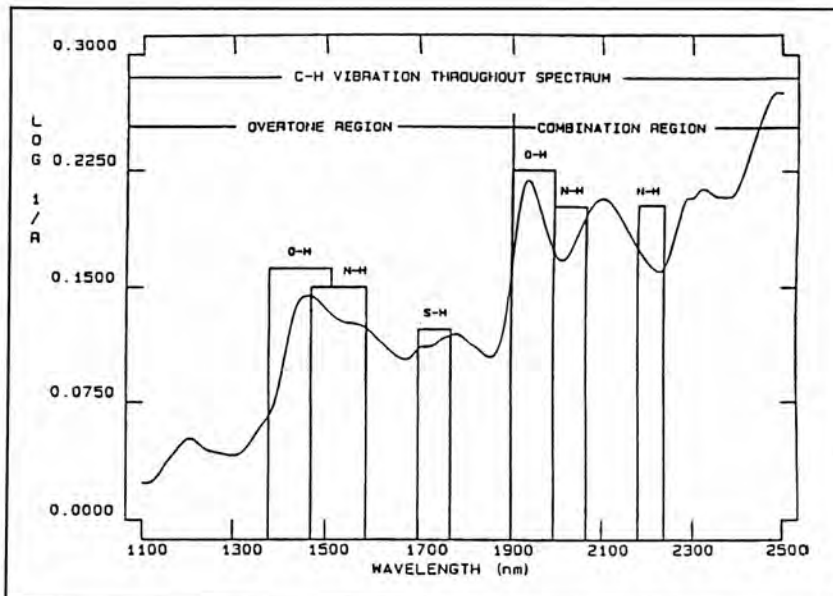


Figura 2. (Tomado de Handbook NIRS).

El cuadro 1 presenta las absorciones características de entidades químicas en el NIRS espectro. Cada longitud de onda se relaciona con una estructura química definida, por ejemplo las absorciones moleculares de los O - H a 1410 y 1940 nm se relacionan con el contenido de humedad de la muestra. Y es donde se encontrarían las altas correlaciones entre la química y el NIRS para cada componente.

3. CALIBRACION

El proceso de la calibración de un instrumento es comparado por algunos autores como el afinado de los instrumentos en una orquesta sinfónica. Se necesita de la armonía de todos los componentes para ejecutar la melodía (Martens y Naes, 1989)

Medir se puede definir en general en términos de cuantificar algo. La literatura técnica, usa este termino solamente para entidades físicas (por ejemplo : temperatura) y utiliza el término determinación para la cuantificación de entidades químicas (porcentaje de proteína en trigo) (Hruschka, 1987). Las muestras son analizadas por uno o varios componentes específicos, y podemos distinguir entre análisis cuantitativo

cuando el componente ha sido **determinado** o análisis cualitativo, cuando el componente ha sido **detectado**.

Los instrumentos que se basan en el NIRS determinan proteína y otros componentes mediante la medición del log 1/R (inverso reflectancia), los cuales están relacionados con la cantidad del componente medido por otro método llamado referencia o método estándar. Estableciendo la relación entre el instrumento y el método estándar, y usando una población de muestras con composición química conocida podemos calibrar al instrumento. La relación entre los valores de log 1/R y los valores del método estándar son expresados como una aproximación estadística y siempre se relacionan utilizando una ecuación de regresión. La ecuación de regresión así definida se integra de las constantes, de las variables independientes (combinaciones matemáticas de los log 1/R a varias longitudes de onda) y de una variable dependiente (el valor del método de referencia). El ejemplo más común en el NIRS es la utilización de la regresión múltiple lineal que toma la forma de:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Cuadro 1. Caracterización de las principales bandas de absorción en el infrarrojo cercano.

Longitud de onda (nm)	Entidad química
1410	O - H (agua)
1450	O - H (agua)
1510	N - H (proteína)
1725	- CH ₂ (lípidos)
1940	O - H (agua)
2140	C - H (lípidos)
2300	C - H (proteína)

Tomado del Handbook of NIRS Analysis (1992).

Donde:

- Y es la variable a determinar
- X son los valores del log 1/R a las diferentes longitudes de onda
- a: es el intercepto. Una vez que el instrumento ha sido calibrado utilizando el método de referencia, este puede ser utilizado para estimar nuevas muestras de composición química desconocida.

4. METODOS DE REFERENCIA PARA EL ANALISIS INFRARROJO

El infrarrojo cercano contiene la información de los mayores enlaces químicos X-H que constituyen los productos agrícolas. El espectro por definición es dependiente de todos los grupos funcionales que absorben radiación infrarroja, los cuales están correlacionados con los componentes químicos, físicos y sensoriales de una sustancia (Shenk *et al.*, 1992). En contraste, los actuales procedimientos de laboratorio que son utilizados para calibrar los instrumentos, no son químicamente bien definidos y a veces son difíciles de relacionar con la información espectroscópica. Los métodos químicos tradicionales en el área de la agricultura fueron desarrollados en general para un solo propósito, para estimar la composición química y valor nutritivo de los alimentos para los animales. Estos procedimientos pueden ser categorizados en tres grandes grupos:

1) el análisis proximal, desarrollado hace más de 100 años, el cual estima el valor nutritivo en general de los alimentos (proteína cruda, fibra cruda, extracto no nitrogenado, extracto etéreo y cenizas),

2) el método de Van Soest de uso de detergentes, desarrollado en la década de los 60 y 70, para estimar las fracciones de paredes celulares y carbohidratos,

3) específicos métodos analíticos designados para estimar o medir una entidad química específica (aminoácidos, vitaminas, etc.).

Cuando la técnica del NIRS comenzó a ser disponible en la década de los 70, los pioneros de la misma se presentaron ante una importante dilema (que aún hoy persiste). La industria agrícola en general está familiarizada con los métodos químicos de laboratorio (métodos de referencia) debido a que ha trabajado con ellos desde hace muchos años, incluso desarrollando tablas de contenido de alimentos y balanceo de raciones entorno a la química tradicional. La premisa que la comunidad agrícola ponía para cambiar a una nueva tecnología como ser el NIRS, era de que la nueva tecnología duplicará exactamente los resultados que la química tradicional ofrecía hasta ese momento. Esta es la mayor dificultad que los pioneros de la tecnología enfrentaron en el desarrollo del NIRS a lo largo de las décadas del 70 y 80, ya que los métodos tradicionales eran difíciles de relacionarse con el nivel de química molecular y espectroscopia que el NIRS considera. Dos de los ejemplos que ilustran este conflicto son la determinación de humedad (materia seca) y proteína en los productos agrícolas.

El más común de los métodos de medición de humedad en el laboratorio es el secado de la muestra en estufa a temperaturas que varían desde 60 hasta 100 °C. Un cuidadoso examen del espectro en el NIRS de estas "aparentes muestras secas" revelaba que existía aún humedad presente en la muestra, aún después de secada a 100 °C. El trabajo de Windham y colaboradores (1987), demostró que el infrarrojo cercano se correlaciona mejor con el método de extracción de humedad de Karl Fisher (titulación) que con el secado a estufa en la mayoría de los productos agrícolas. Estos autores sugieren que el secado a estufa determina el contenido de humedad "bruta" de la muestra, siendo más válido el método de Karl Fisher, para la determinación de la humedad total.

El segundo ejemplo es el cálculo de la proteína cruda de un alimento. Los actuales métodos de determinación de proteína en una muestra se basan en la medición del nitrógeno contenido en la misma y relacionarlo, a través del uso de un factor con el contenido de proteína cruda o total de una muestra (método de Kjeldahl). Así de simple la determinación de proteína cruda es la

medición de nitrógeno en la muestra. Pero, de acuerdo a lo presentado en el punto 2, el nitrógeno no presenta por si mismo una absorción en el infrarrojo cercano. Por definición entonces no podríamos medir directamente proteína con el NIRS. Sin embargo, el infrarrojo mide las vibraciones moleculares de los enlaces N-H que forman parte del total de la proteína de la molécula. Lo que el NIRS mide es al menos, los enlaces N-H presentes en la muestra, estimado así el contenido de proteína cruda de la misma (Shenk *et al.*, 1992). Es importante entonces en esta tecnología conocer el método de referencia y saber que información el NIRS puede brindar.

5. INSTRUMENTACION

La mayoría de los equipos comerciales miden señales en la región entre 1100 a 2500 nm en lo que se llama Reflectance mode (modo de reflectancia). Reflectancia, es en términos generales equivalente a absorbancia. Las intensidades de las bandas en el infrarrojo están referidas en términos de transmitancia o absorbancia. Transmitancia es la relación entre la energía transmitida a través de la muestra y la recuperada en el instrumento. Absorbancia es el

logaritmo en base diez del inverso de la transmitancia. Reflectancia representa la cantidad de energía que es difusamente reflejada desde la muestra y la energía recuperada en el instrumento (Williams, 1987).

No pretendemos en este trabajo presentar una lista de los equipos disponibles en el mercado. Mencionaremos que existen dos tipos básicos de instrumentos, aquellos que poseen filtros y los monocromadores.

Los primeros poseen filtros a discretas longitudes de onda (fragmentos del espectro), mientras que los monocromadores brindan la posibilidad de obtener todo el rango de longitudes de onda en el infrarrojo cercano (700 hasta 2500 nm). La figura 3 muestra un esquema del funcionamiento de los instrumentos de transmitancia y reflectancia en el NIRS.

Ambos, instrumentos con filtros y monocromadores necesitan que el espectro se estandarice para poder predecir la composición química de las muestras. Los monocromadores, debido a que pueden escanear toda la región de la longitud de onda, son considerados más flexibles para el análisis de diferentes componentes en la muestra (Vastenhoudt, 1995). La figura 3 presenta el esquema básico de las modalidades de Transmitancia y de Reflectancia.

6

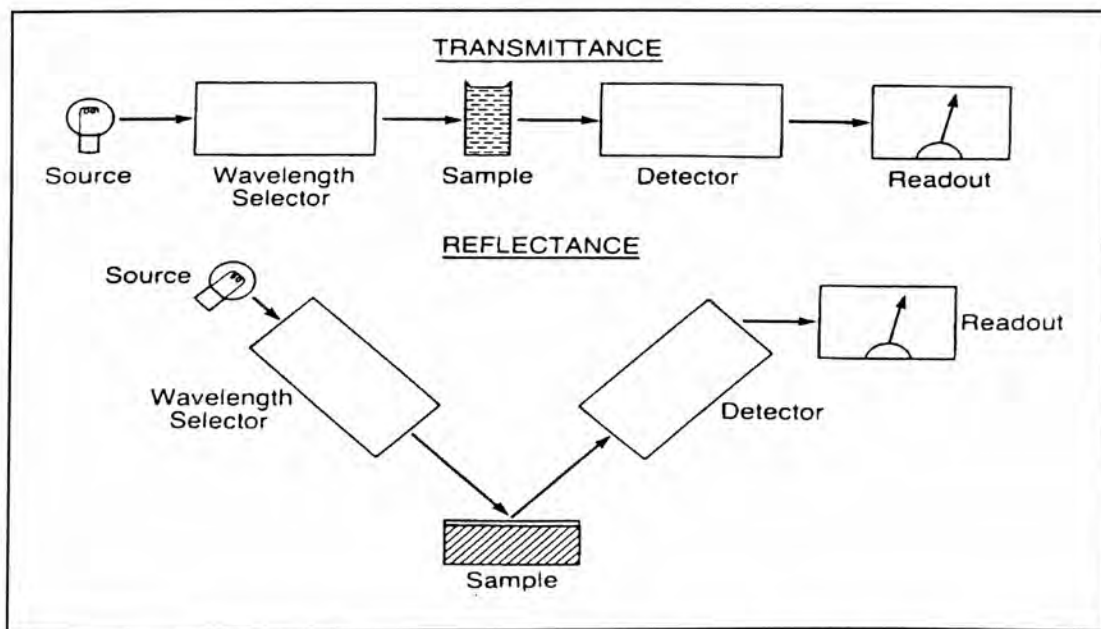


Figura 3. Transmitancia y reflectancia. Esquema de funcionamiento (Tomado de Handbook NIRS).

6. APLICACIONES DEL INFRARROJO EN LA AGRICULTURA

Numerosos ejemplos existen en la bibliografía sobre las aplicaciones del NIRS en análisis de alimentos y productos agrícolas. Debido a que no se pretende en esta publicación agotar el tema, presentaremos algunos ejemplos sobre la aplicación del NIRS en la determinación de calidad de granos, forrajes y carne.

6.1. Determinación de calidad de granos

La determinación de proteína y humedad en el grano de trigo es por lejos una de las primeras aplicaciones del NIRS en la industria. El cuadro 2 presenta los resultados de calibración de humedad para granos de trigo y cebada usando NIRS.

Los análisis de granos no solo se limitan al trigo o a la cebada, sino que también existe abundante bibliografía relacionada a determinación de humedad, proteína y aceites en granos de maíz, girasol, soja y canola. Por ejemplo, para el caso de la canola existen trabajos donde determinaron el contenido de clorofila, aceite y glucosinolatos utilizando el NIRS. Los errores estándares obtenidos fueron de 0.83, 0.88, 0.99 y 1.5 en porcentaje en base seca, para contenido de aceite, proteína, clorofila y glucosinolatos, respectivamente (Tkachuk and Kuzina, 1982;

Williams, 1975). Novedosas aplicaciones están relacionadas con la determinación de aminoácidos y ácidos grasos en granos (por ejemplo en grano de soja). Algunos autores determinaron contenido de ácido oleico y lisina en grano de soja. Los resultados fueron un coeficiente de multideterminación en calibración (R^2) de 0.99 y 0.95 para el ácido oleico y lisina respectivamente (Dyer and Feng, 1997). Los trabajos más recientes se dirigen a tratar de relacionar parámetros físicos (habilidad molinera, peso específico, densidad de grano y otros parámetros físicos) con las propiedades ópticas de la muestra.

6.2. Determinación de calidad de forrajes, concentrados y ensilajes

La mejor definición de calidad de un forraje es en términos del valor nutritivo que un determinado forraje posee para la producción de leche, carne o lana. El alto costo de los experimentos con animales en ensayos de alimentación o digestibilidad *in vivo* no permiten que estos sean utilizados en los análisis de rutina. Los métodos de laboratorio predicen la calidad de un forraje mediante el análisis de los componentes químicos, los cuales son costosos y demandan tiempo en la realización de los mismos. Agrónomos, mejoradores forrajeros, nutricionista, extensionistas, productores, requieren de métodos rápidos para determinar la composición química y el valor nutritivo de los forrajes y alimentos.

Cuadro 2. Determinación de humedad (expresada en porcentaje) en granos de trigo y cebada mediante NIRS.

Tipo de Grano	Rango de Humedad	n	R ²	SEC
grano de cebada entero	13.6 - 20	134	0.97	0.38
grano de trigo entero	13.6 - 20	37	0.99	0.27
grano de cebada molido	13.4 - 25.9	90	0.99	0.38
grano de trigo molido	13.1 - 26.1	117	0.99	0.43

n: número de muestras utilizadas en la calibración.
 R²: coeficiente de multideterminación en la calibración.
 SEC: desvío estándar residual en la calibración.

Norris y colaboradores (1976), en uno de los primeros trabajos citados por la literatura en relación a pasturas y NIRS, analizaron 87 forrajes (alfalfa, festuca, bromus), heno y ensilaje. Las muestras fueron analizadas químicamente para fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad *in vitro* e *in vivo* de la materia orgánica. Shenk y colaboradores (1979), realizaron un segundo trabajo de similares características. Numerosa bibliografía existe disponible en relación a la calidad de forrajes y

ensilaje, y escapa al objetivo de esta publicación brindar un exhaustivo listado de la misma (O'Keeffe *et al.*, 1987; Kjos, 1991; Herrero *et al.*, 1996). Algunos de los resultados se presentan en el cuadro 3.

En relación a la aplicación de esta tecnología en los concentrados y alimentos balanceados, al igual que en los forrajes las citas bibliográficas son numerosas. En el cuadro 4 se resumen algunos de los parámetros estimados por el NIRS en relación a concentrados y dietas balanceadas.

Cuadro 3. Predicción de composición química de forrajes utilizando NIRS.

Parámetro	n	R	SEC	SD
CP	87	0.98	1.07	5.98
FDN	87	0.92	5.3	12.3
FDA	87	0.90	2.5	5.6
<i>In vitro</i> Dig.	75	0.90	2.5	7.75
<i>In vivo</i> Dig.	75	0.81	4.4	6.9
Consumo	75	0.79	7.8	13.26

n: número de muestras.

R: coeficiente de correlación NIRS vs. análisis químico.

SE: error estándar en la calibración, SD: desvío estándar del análisis químico. (Norris *et al.*, 1976).

Cuadro 4. Estimación de parámetros de calidad en concentrados y dietas balanceadas.

Parámetro	media	SD	R	SEP
Humedad	11.1	1.0	0.95	0.3
PC	22.3	5.9	0.98	1.1
FC	12.4	2.9	0.95	0.9
EE	4.9	1.1	0.95	0.3
Cenizas	9.7	1.8	0.70	1.3
DMO	89.7	3.7	0.94	1.3

SD: desvío standard.

R: coeficiente de multideterminación.

SEP: error estándar de la predicción.

PC: proteína cruda.

FC: fibra cruda.

EE: extracto etéreo.

DMO: digestibilidad de la materia orgánica. (de Boever *et al.*, 1995).

6.3. Determinación de calidad de carne

El primer trabajo registrado en la bibliografía en relación a la calidad de la carne o de un producto carne es el de Ellis y Bath en 1938. Estos investigadores trabajaron con gelatina, para determinar la composición y absorciones de las proteínas en diferentes tejidos animales. Ben Gera y Norris (1968), determinaron grasa y contenido de humedad en panceta, jamón y otros embutidos. Lanza (1983), correlacionó humedad, proteína y grasa en carne de cerdo y vacuna. Mitsumoto *et al.*, (1991) determinaron pH, colágeno, humedad y proteína, en carne vacuna. Valdez *et al.*, (1986), Cozzolino *et al.*, (1996) determinaron composición química de carne de pollo. El cuadro 5 resume los resultados de los trabajos en relación a la calidad de carne en algunas especies animales.

6.4. Análisis Cualitativo

Los puntos anteriormente tratados se relacionaban fundamentalmente a la determinación cuantitativa de uno o más parámetros químicos en una muestra. Otra de las importantes ventajas de la aplicación del

NIRS en el análisis de alimentos es el análisis cualitativo. Dado que el espectro de una muestra es característico de la misma, este puede ser considerado como la huella digital de la muestra. Por ejemplo una variedad de grano de trigo tiene diferentes características (proteína, gluten, etc.), que la hacen distinta de otra variedad de grano. El NIRS, mediante un análisis de las propiedades ópticas de la muestra permite distinguir una variedad de grano de la otra sin realizar el análisis químico previo. Esta ventaja del espectro en el infrarrojo cercano ha sido explotada en la autenticación de productos tales como jugo de naranja, variedades de café, mezclas de aceites (Downey *et al.*, 1990, 1992 y 1996) diferente origen en harinas, tratamiento de frío en carne (Thyholt y Isackson, 1996), entre otras aplicaciones. Esta herramienta esta siendo utilizada para la discriminación de diferentes productos agrícolas en la Unión Europea.

7. OTRAS APLICACIONES

El cuadro 6 presenta un resumen de otras aplicaciones del NIRS en la agricultura y en la agroindustria.

Cuadro 5. Resumen de la información sobre usos del NIRS en calidad de carne.

Tipo de muestra	Parámetro	R ²	Referencia
Músculo bovino	grasa	0.93	Mitsumoto <i>et al.</i> , 1991
	grasa	0.99	Lanza, 1983
	proteína	0.81	Mitsumoto <i>et al.</i> , 1991
	humedad	0.88	Mitsumoto <i>et al.</i> , 1991
	humedad	0.98	Lanza, 1983
Músculo ovino	grasa	0.99	Bartholomew and Osuala, 1988
	proteína	0.99	idem
Pollo	grasa	0.95	Valdes and Summer, 1986
	grasa	0.93	Cozzolino <i>et al.</i> , 1996
	humedad	0.96	Cozzolino <i>et al.</i> , 1996
Salmón	grasa	0.85	Isaksson <i>et al.</i> , 1995
	humedad	0.76	idem

Cuadro 6. Otras aplicaciones del NIRS.

Area	Aplicación
Horti - fruticultura	Determinación de acidez total en frutas Determinación de pH en frutas Identificación de diferentes orígenes de jugos Determinación de corazón negro en papa
Suelos	Determinación de pH Carbono, Nitrógeno Nitrógeno Total Materia Orgánica y Cenizas Capacidad de Intercambio Catiónico Algunos minerales (Fósforo, Calcio, Magnesio)
Medicina / Veterinaria	Oxigenación en sangre Urea en suero y plasma Determinación de parámetros de gestación en líquido amniótico Pigmentos (hemoglobina, oxyhemoglobina) Glucosa, ácido úrico, colesterol
Industria Alimenticia	Procesos de Oxidación de lípidos (aceites y grasas) Color en alimentos Acidos grasos, aminoácidos, almidón Glucosinolatos, taninos

Adaptado de trabajos presentados al 8th. International Conference on Near Infrared Spectroscopy (1997).

8. CONSIDERACIONES FINALES

La tecnología del NIRS esta siendo usada por la mayoría de los países desarrollados del mundo. Es una tecnología que ofrece muchas ventajas dado su velocidad en los análisis, no destructiva de la muestra (conservación de muestras) y no contaminante del medio ambiente. Mas allá de estas ventajas, la aplicación de este método esta revolucionando el análisis de los alimentos e introduciendo un concepto moderno en los análisis de la calidad en el laboratorio. El desconocimiento de esta técnica por mu-

chos de los investigadores en el área agrícola y el costo de los instrumentos, ha sido una de las causas de la no aplicación de ésta tecnología en forma extensiva. En Uruguay, y especialmente en el INIA se ha dado un gran paso para la incorporación de la tecnología para ser utilizada en los diferentes proyectos de investigación del Instituto.

9. AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los comentarios y correcciones en el manuscrito realizados por E. Fernández y J. Mieres.

10. BIBLIOGRAFIA

- BARTHOLOMEW, D. T. AND OSUALA C.I.** 1988. Use of the infranalyzer in proximate analysis of mutton. *J. Food Sci.* 53: 379-382.
- BEN - GERA, I AND NORRIS K.H.** 1968. Direct spectrophotometric determination of fat and moisture in meat products. *J. Food Sci.* 33: 64-67.
- COZZOLINO, D.; MURRAY, I.; SCAIFE, J AND PATERSON, R.** 1996. Visible and Near Infrared reflectance spectroscopy for the assessment of moisture, protein and fat in chicken breast and thigh muscles. *J. NIRS* 4: 213-223.
- DE BOEVER, J.L.; COTTYN, B.G.; VARRACKER, J.M. AND CH. V. BOUCQUE.** 1995. The use of NIRS to predict the chemical composition and energy value of compound feed for cattle. *Anim. Feed Sci Tech.* 51: 243-253.
- DOWNEY, G., ROBERT, P., BERTRAND, D. AND KELLY, P.** 1990. Classification of commercial skim milk powders according to heat treatment using factorial discriminant analysis of near infrared reflectance spectra. *Appl. Spectroscopy.* 44: 150-155.
- DOWNEY, G.** 1994. Qualitative analysis in the near infrared region. *Analyst.* 119: 2369-2375.
- DOWNEY, G.** 1996. Authentication of food and food ingredients by near infrared spectroscopy: a review. *J. NIRS* 4:47-61.
- DYER, D. AND FENG, P.** 1997. NIRS destined to be major analytical influence. *Feedstuffs.* Vol 69:16-19,24.
- ELLIS, J.W. AND BATH, J.** 1938. Modifications in the near infrared absorption spectra of protein and of light and heavy water molecules when water is bound to gelatin. *J. Chem Phys.* 6: 723-729.
- HERRERO, M.; I. MURRAY, R.H. FAWCETT, AND J.B.** 1996. Prediction of the in vitro gas production and chemical composition of kikuyo grass by near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Sci. Feed Tech.* 60: 51 -67.
- HRUSCHKA, W. R.** 1987. Chapter 3. In: *Near Infrared technology in the Agricultural and Food Industries.* Edited by P. Williams and K. Norris. 35-53.
- ISAKSSON, T., TOGERSEN, G., IVERSEN, A. AND KJELLIVAR, H.** 1995. Non destructive determination of fat, moisture and protein in salmon fillets by use of near infrared diffuse spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* 69: 95-100.
- KJOS, N.P.** 1991. The content of neutral and acid detergent fibre in forages predicted by NIRS analysis. *Anim. Feed Sci. Tech.* 32 :13-16.
- LANZA, E.** 1983. Determination of moisture, protein, fat and calories in raw pork and beef by near infrared spectroscopy. *J. Food Sci.* 48:471-474.
- MARTENS, H AND NAES, T.** 1989. *Multivariate calibration.* John Wiley and Sons, Great Britain.
- MITSUMOTO, M., MAEDA, S., MITSUHASHI, T. AND OZAWA, S.** 1991. Near infrared spectroscopy determination of physical and chemical characteristics in beef cuts. *J. Food Sci.* 56: 1493-1496.
- MURRAY, I AND WILLIAMS P.C.** 1987. Chemical principles of NIRS technology. Chapter 2. 17-35. In: *Near Infrared technology in the Agricultural and Food Industries.* Edited by P. Williams and K. Norris.
- NORRIS, K.H., BARNES, R.F., MOORE, J.E. AND J.S. SHENK.** 1976. Predicting forage quality by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Anim. Sci.* 43:889-893.
- O'KEEFE, M., DOWNEY, G. AND BROGAN, J.C.** 1987. The use of near infrared reflectance spectroscopy for predicting the quality of grass silage. *J. Sci. Food Agric.* 38:209-216.
- PANFORD, J.** 1987. Application of near infrared reflectance spectroscopy in North America. Chapter 10. 201-211. In: *Near Infrared technology in the Agricultural and Food Industries.* Edited by P. Williams and K. Norris.

- SHENK, J.S., WESTERHAUS, M.O. AND HOOVER, M.R.** 1979. Analysis of forages by infrared reflectance. *J. Dairy Sci.* 62: 807-812.
- SHENK, J.; WORKMAN, J AND WESTERHAUS, M.** 1992. Application of NIR spectroscopy to agricultural products. 383-431. in: *Handbook of NIRS Analysis*. Edited by D.Burns and E. Ciurczak.
- SPECTROSCOPY, SENSORS AND CHEMOMETRICS.** 1997. Resumen de trabajos presentados en el 8th. International Conference on Near Infrared Spectroscopy. Sep. 15-19, Essen, Germany.
- THYHOLT, K AND ISAKSSON, T.** 1996. Differentiation between fresh and frozen beef using near infrared spectroscopy. *J.Sci. Food Agric.* 73: 525-532.
- TKACHUK, R AND KUZINA, F.D.** 1982. Chlorophyll analysis of whole rapeseed kernels by near infrared reflectance. *Can. J Plant. Sci.* 62: 875-884.
- VALDES, E. V. AND SUMMER, J.D.** 1986. Determination of crude protein and fat in carcass and breast muscle samples of poultry by near infrared reflectance spectroscopy. *Poult. Sci* 65:485-490.
- VASTENHOUDT, T.** 1995. Near infrared spectroscopy: The way forward. *Feed Mix* 3: 18-21.
- WILLIAMS, P.C.** 1975. Application of near infrared reflectance spectroscopy to analysis of cereal grains and oilseeds. *Cereal Chem.* 52: 561-576.
- WILLIAMS, P.C.** 1987. Commercial near infrared reflectance analyzers. Chapter 5. 107-142. In: *Near Infrared technology in the Agricultural and Food Industries*. Edited by P. Williams and K. Norris.
- WINDHAM, W.R.,** 1987. Robertson, J.R. and Leffler, R.G. *Crop Sci* 4: 777-783.