



Revista Cubana de Ciencia Agrícola
ISSN: 0034-7485
rcca@ica.co.cu
Instituto de Ciencia Animal
Cuba

Valenciaga, Daiky; Oliveira Simoes Saliba, Eloisa de
La espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la
evaluación de forrajes
Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 40, núm. 3, 2006, pp. 259-267
Instituto de Ciencia Animal
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017723001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes

Daiky Valenciaga¹ y Eloisa de Oliveira Simoes Saliba²

¹*Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas. La Habana, Cuba*

Correo electrónico: dvalenciaga@ica.co.cu

²*Escuela de Veterinaria. Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Brasil.*

Correo electrónico: saliba@vet.ufmg.br

La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (Near Infrared Reflectance Spectroscopy, NIRS) ha alcanzado un gran desarrollo a nivel mundial por su precisión y exactitud. Se trata de una técnica que no destruye ni contamina y tiene además, potencialidades para ser automatizada. Su práctica permite analizar, de forma rápida y relativamente fácil, un gran número de muestras. En el presente artículo se pretende dar a conocer las ventajas de ésta y sus potencialidades para la evaluación de forrajes. Se revisan sus fundamentos físicos y se exponen algunas de sus aplicaciones en el campo de la producción animal. Se refieren también varios trabajos que han utilizado este método para la predicción de la composición nutricional de forrajes, así como para el control de la calidad de productos agropecuarios provenientes de diversas fuentes.

Palabras clave: *NIRS, evaluación de forrajes, fundamentos físicos, aplicaciones.*

INTRODUCCION

El control analítico de los alimentos y productos es un punto crítico en lo que se refiere a la aplicación práctica de los conocimientos científicos generados en el campo de la nutrición animal. Los métodos tradicionales de análisis, cuantitativos y cualitativos, son laboriosos, demandan tiempo, mano de obra y son de elevado costo. Por esto, se hace necesario desarrollar técnicas rápidas y confiables que permitan evaluar los alimentos, así como controlar la calidad de los productos agropecuarios (Davies y Grant 1987).

Desde la década del setenta del siglo XX, se perfila a nivel mundial la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS), como una técnica alternativa a los métodos químicos y químico-biológicos tradicionales. Esta presenta muy buen potencial para obtener estimaciones seguras y muy rápidas en lo que se refiere a la composición química y nutricional de los forrajes (Givens y Deaville

1999, Cozzolino 2002 y Ferrari *et al.* 2004), así como de otros productos de muy diversa procedencia (González *et al.* 2004 y Dambergs *et al.* 2005).

Los Estados Unidos fueron el primer país en desarrollar esta técnica, a mediados de la década de los 70 del siglo pasado. El Departamento de Agricultura la utilizó para el análisis de cereales y sugirió la posibilidad de utilizar filtros discretos en el infrarrojo cercano, para el análisis de proteína y materia seca en granos y, en el caso de la soya, para proteína, grasa y humedad. Posteriormente, se extendió su aplicación a otros productos de la industria petroquímica, farmacéutica y textil (Shenk y Westerhaus 1993).

En los últimos años se han desarrollado numerosas aplicaciones para evaluar composición, monitorear procesamiento y certificar la calidad de los alimentos, tanto para animales, como para humanos, y todo hace suponer

que las aplicaciones aumentarán (Fontaine *et al.* 2001, Cozzolino *et al.* 2004 y Ramírez *et al.* 2005).

En la actualidad, muchas publicaciones científicas, libros específicos y memorias de Conferencias Internacionales confirman el potencial de la técnica NIRS para la caracterización de alimentos y productos, de forma instantánea y en sus aspectos cuantitativos y cualitativos.

Esta técnica se destaca por su rapidez (segundos), cuestión muy importante para el análisis de grandes producciones a escala industrial, así como para el rutinario análisis químico de gran cantidad de muestras que tiene lugar

en los laboratorios. También puede utilizarse en plantas productoras de harinas de forrajes, sin menospreciar su eficiencia en laboratorios que controlan la calidad de los piensos, entre otras aplicaciones. Es una técnica no contaminante y no destructiva, lo que permite analizar los productos sin transformarlos, así como su recuperación posterior (Cajarville *et al.* 2002 y Cozzolino *et al.* 2005).

El objetivo de este estudio es el análisis de las ventajas y potencialidades de esta técnica en la evaluación de forrajes, así como destacar algunas de sus aplicaciones en la producción animal.

FUNDAMENTOS DE LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIRS)

La palabra espectroscopia se deriva de la combinación latina de spectrum 'imagen' y del griego skopia 'ver'. De esta forma, la espectroscopia infrarroja es un tipo de espectroscopía vibracional, que permite el análisis de las vibraciones moleculares. Específicamente, la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) es la medición de la longitud de onda e intensidad de la absorción de luz infrarroja cercana, que realizan determinados componentes químicos de la muestra.

La luz infrarroja cercana se extiende en un rango de 700 nm – 2500 nm y tiene energía suficiente para excitar sobretones y combinaciones de vibraciones moleculares a altos niveles de energía (Deaville y Flinn 2000). Se usa típicamente para medir de forma cuantitativa grupos funcionales orgánicos, especialmente O-H, N-H y C=O.

Cuando la luz incide en una muestra, una parte de los fotones puede transmitirse a través de la misma, y el resto se absorbe por algunos enlaces covalentes que actúan como resortes oscilantes, acoplados con la frecuencia o longitud de onda exacta de la radiación lumínica (Mieres *et al.* 2000 y Cajarville *et al.* 2003). Al absorber energía, los enlaces de las moléculas vibran en dos formas fundamenta-

les: se extienden, aumentando la distancia interatómica a lo largo del eje entre dos átomos (lo que ocurre a frecuencias más altas o a menor longitud de onda), o se doblan (a frecuencias más bajas o mayor longitud de onda) cambiando el ángulo de enlace entre dos átomos (Windhan *et al.* 1989 y Alomar y Fuchslocher 1998). La energía resultante se disipa y se provoca un calentamiento de la muestra. La absorción es selectiva y depende de los grupos moleculares involucrados. Así, la absorción de luz se estima por diferencia entre la luz incidente y la reflejada o transmitida.

La interacción de la energía con la materia obedece a la ley de Lambert-Beer, la cual establece que la absorbancia, a cualquier longitud de onda, es proporcional al número o concentración de las moléculas absorbentes presentes en el camino que recorre la radiación (Cozzolino y Fassio 2003). Esto determina que, para una muestra de naturaleza química heterogénea, o con numerosos componentes químicos, el espectro obtenido en la región del infrarrojo cercano sea una compleja combinación de bandas sobrepuertas o muy cercanas, o picos de absorción parciales. Estos suelen confundirse en una línea suavizada, en la que se encuentran picos, valles y curvaturas en forma de hombros (Alomar y

Fuchslocher 1998 y Deaville y Flinn 2000) y que sólo tienen sentido cuando dicha información se puede interpretar con la ayuda de una computadora.

En su aplicación al análisis de forrajes y otros compuestos, la técnica se basa en que el espectro lumínico cercano al infrarrojo puede proporcionar información acerca de los principales elementos estructurales asociados a los organismos vivos, ya que los grupos funcionales que responden a la radiación en este espectro son C-H, O-H, N-H, S-H y C=O (Shenk y Westerhaus 1995). Así, los principales componentes del tejido vegetal, que consisten en combinaciones muy diversas de los grupos citados, tienen propiedades de absorción en esta región del espectro (Cozzolino *et al.* 2002a), que pueden usarse para diferenciar un componente de otro.

En la tabla 1 se presentan las bandas de absorción de los principales componentes orgánicos en los alimentos y los enlaces tentativos que los representan.

Una de las ventajas del trabajo en la región del infrarrojo cercano del espectro es que, al utilizar longitudes de ondas menores (en relación al infrarrojo medio), la penetración de la radiación es mayor, debido a que el grado de absorción es más débil, con respecto a la banda de absorción fundamental en el sector del infrarrojo medio. Esto hace posible analizar por reflectancia una muestra sólida de mayor grosor, obteniendo información más representativa y, al mismo tiempo, permite trabajar en modo transmisión (o transmitancia) muestras húmedas heterogéneas más gruesas y que sea más fácil el manejo que en la región del infrarrojo medio (Beyer 1997).

Tabla 1. Bandas de absorción de enlaces químicos en la región NIRS (Davies y Grant 1987)

Longitud de onda, nm	Constituyentes	Enlace asignado
1200	Lípidos	C-H
1440	Agua y Carbohidratos	O-H
1730	Lípidos	C-H
1780	Lípidos	C-H
1940	Agua	O-H
1980	Proteínas	N-H
2080	Carbohidratos	O-H
2180	Proteínas	C=O, N-H
2320	Lípidos	C-H
2350	Lípidos	C-H

DESARROLLO DE CALIBRACIONES

Para estimar la composición química de una muestra mediante este método, se requiere previamente hacer calibraciones, para lo que se necesita de un conjunto amplio de muestras representativas de una misma población, colectar sus espectros, analizar las muestras mediante un método de referencia confiable (técnicas analíticas clásicas), así como desarrollar las ecuaciones de calibración que relacionen los datos espectrales con los resultados del método de

referencia y, finalmente, validarlas con otras muestras de la misma población general, pero que no formen parte del conjunto de calibración.

Según Murray *et al.* (2000), el grupo de muestras seleccionadas para desarrollar una calibración debe cumplir ciertas condiciones ideales:

- Representar un rango amplio de composiciones o calidades.

- Tener una distribución uniforme y pareja (no normal) con respecto a la población total.

-Contar con datos precisos de su composición química.

Las ecuaciones de calibración tienden a tener mejor valor predictivo cuando se desarrollan en muestras de naturaleza relativamente homogénea o correspondientes a un mismo tipo de producto. En cambio, cuando se intenta desarrollar calibraciones para poblaciones más heterogéneas, de base más amplia (pajás, henos y ensilajes de distintas especies vegetales), la precisión y exactitud tienden a disminuir (Shenk y Westerhaus 1995).

Uno de los primeros aspectos que se plantea al desarrollar una calibración, es el número de muestras que será necesario incluir para obtener resultados satisfactorios. No existe un número mínimo definido, este depende de la entidad que se va a predecir y de la naturaleza del producto que se pretende evaluar. Cuando se pretenden analizar entidades químicas simples, de productos relativamente homogéneos, como es el tenor de nitrógeno, puede bastar con 30 a 40 muestras. En cambio, si se pretende evaluar el contenido de proteína en productos más heterogéneos, o productos con mayores niveles y variedad de proteínas, se requieren más de 100 muestras (Ferrari *et al.* 2004). En este sentido, es poco probable obtener calibraciones robustas en su uso rutinario para analizar forrajes, si se cuenta con menos de 100 muestras, excepto cuando se utilizan para predecir componentes simples como el contenido de humedad y nitrógeno (Flores *et al.* 2000). Mientras mayor es el número de muestras, mayor precisión se logra en la determinación y, por tanto, en la calibración.

Al desarrollar una calibración NIRS, la información espectral (óptica) se relaciona mediante un algoritmo con la información de la composición físico-química (método de referencia), utilizando modelos estadísticos. Entre las técnicas disponibles están la regresión múltiple, la regresión múltiple paso a paso, así como la de los componentes principales y cuadrados mínimos parciales (Alomar y Fuchslocher 1998).

Generalmente, se encuentran mejores resultados con las últimas dos técnicas, en las que se reduce toda la información espectral a

un grupo más pequeño de variables independientes (componentes principales) y, al mismo tiempo, se controla el riesgo de sobreajuste (Shenk y Westerhaus 1993).

El uso de redes neuronales es otra técnica que se perfila con gran potencial, ya que es capaz de resolver relaciones no lineales en los datos espectrales, lo que mejora la exactitud (Shenk y Westerhaus 1995).

Las diferentes opciones de tratamientos matemáticos y técnicas de regresión permiten disponer de un gran número de ecuaciones para cada una de las variables a predecir, por lo que es necesario seleccionar la que se considere más confiable (Shenk y Westerhaus 1993).

Según Pires y Prates (1998), Fontanelli *et al.* (2000) y Saliba *et al.* (2003), las variables más utilizadas en la validación de ecuaciones de calibración son el error estándar de la diferencia entre los cálculos del equipo NIRS y los resultados del método de referencia [error estándar de calibración (EEC)], así como el coeficiente de determinación (R^2). Los buenos resultados deben tener R^2 alto y EEC bajo.

Davies y Grant (1987) y Alomar y Fuchslocher (1998) plantean que existen tres categorías de ecuaciones, atendiendo a la magnitud de los estadígrafos de calibración y, particularmente, a la del error estándar de calibración (EEC):

1. Está constituida por aquellos productos y constituyentes que muestran una alta correlación entre la información espectral y los valores de referencia. En esta categoría se incluyen humedad y proteína bruta, en la mayor parte de granos, grasa en concentrados proteicos y en varios subproductos de origen animal.

2. Incluye productos que muestran errores de calibración algo superiores. Aquí se incluyen la proteína bruta y humedad en forrajes y piensos y fraccionamiento de la fibra en productos forrajeros.

3. Está formada por productos y constituyentes en los que la correlación entre la medida espectral y el método de referencia es baja y, por tanto, los errores de calibración son mayores. Aquí se incluyen los minerales de los productos forrajeros.

APLICACIONES DE LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO EN EL ANÁLISIS DE FORRAJES

Desde la década del setenta, se ha utilizado la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS), como una técnica alternativa a métodos químicos y químico-biológicos tradicionales, con muy buen potencial para obtener estimaciones seguras y muy rápidas en lo que se refiere a la composición química y nutricional de los forrajes (Deaville y Flinn 2000).

Entre los indicadores tradicionalmente analizados se deben destacar: materia seca, digestibilidad *in vitro* de la materia seca, la proteína bruta, fibra (FB, FND, FAD, lignina, celulosa, hemicelulosa), extracto etéreo, cenizas, minerales y energía (EB, EM).

En los últimos años se han informado gran número de investigaciones que demuestran las potencialidades del NIRS para predecir la composición química de diversos productos agrícolas como el ensilaje de maíz (Cozzolino y Fassio 2003), sorgo (Saliba *et al.* 2003 y Ramírez *et al.* 2005), alfalfa (Pires y Prates 1998). También tiene aplicación en gramíneas forrajeras como bromo (*Bromus valdivianus*), pasto cebolla (*Arrhenatherum elatius*, ssp *bulbosus*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), pasto miel (*Holcus lanatus*) y Chépica (*Agrostis capillaris*) (Flores *et al.* 2000), en semillas de girasol (Cozzolino y Fassio 2005), granos de trigo (Garnsworthy *et al.* 2000), de soya y chícharo, harinas de canola y girasol (Fontaine *et al.* 2001). Se utiliza también en determinación de minerales en leguminosas (Cozzolino y Moron 2004), así como en la determinación de los parámetros de calidad de ensilaje de gramíneas (Cozzolino 2002), entre otras.

En la tabla 2 pueden apreciarse las potencialidades de esta técnica para predecir diferentes indicadores de la calidad en ensilajes.

Desde las primeras incursiones en el uso de esta técnica en la valoración de forrajes, el avance ha sido tal que, al comparar diversas técnicas de laboratorio de uso común para predecir la digestibilidad de más de 150 ensilajes evaluados *in vivo*, en Gran Bretaña, Barber *et al.* (1990) concluyeron que NIRS es actualmente la mejor en términos de precisión y exactitud, siempre que se cuente con calibraciones apropiadas. Además, el costo del análisis por muestra es menor que los realizados hasta ahora por las técnicas analíticas clásicas. El costo es el del equipo y sus repuestos (ambos caros), pero normalmente la inversión se recupera en menos de un año, debido a la economía de la materia prima, energía y tiempo. Los costos fijos se reducen y la calidad de la producción se incrementa. Su única desventaja es que la calibración requiere tiempo, cuidado y personal con conocimientos básicos de estadística y computación (Ferrari *et al.* 2004).

Tabla 2 Calibración y validación cruzada NIRS para distintos parámetros de calidad en ensilaje de maíz (Cozzolino y Acosta 2000)

	ESC	R ²
MS	0.6	0.94
PB	0.4	0.94
Cenizas	0.4	0.80
FDA	1.2	0.91
FDN	2.8	0.90
pH	0.2	0.80

APLICACIONES DE LA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA EN EL INFRARROJO CERCANO EN LA PREDICCIÓN DE OTROS INDICADORES DE INTERÉS EN ALIMENTACIÓN Y PRODUCCIÓN ANIMAL

Si bien la mayor parte de los trabajos NIRS que se informan en la bibliografía, hacen referencia al análisis de los indicadores citados anteriormente, los trabajos de investigación comienzan a extenderse a otras aplicaciones interesantes en el terreno de la alimentación animal: mejora genética, clínica animal y control de la calidad de los productos, entre los que podemos destacar:

- Degradabilidad in sacco.
- Cinética de degradación en el rumen.
- Proteína dañada por calor en forrajes.
- Determinación de pH, ácido láctico, ácido acético, amonio y azúcar en ensilajes.
- Determinación de azúcares solubles en forraje verde.
- Determinación de glucosinolatos, fenoles, ácido erúcico, inhibidor de tripsina, fitatos y glucanos en granos y forrajes.
- Determinación de aminoácidos en granos y harinas.
- Conteo de células somáticas.
- Determinación de óxido crómico en dietas de animales.
- Determinación de la composición química y físico-química de la leche y derivados lácteos.
- Determinación de la proporción de ingredientes simples en mezclas.
- Determinación de la composición botánica de los pastos.

El espectro de productos agrícolas proporciona una huella característica que viene determinada por todos los grupos funcionales que absorben radiación NIRS. Estos, a su vez, están relacionados con las características químicas, físicas y sensoriales del producto.

Al comienzo del desarrollo de la tecnología NIRS, algunos intentos de utilizar la técnica para análisis cualitativos y de autentificación estuvieron limitados, fundamentalmente por lo inadecuado de los tratamientos matemáticos que se utilizaron para extraer la información espectroscópica relevante y, asimismo, en otros

casos, por la dificultad de utilizar muestras que fueran auténticas o puras en su totalidad.

Los progresos en el conocimiento del espectro y sus propiedades y la incorporación de diferentes algoritmos matemáticos en los programas que acompañan a los equipos para el análisis multivariado de datos espectrales, ha posibilitado la extracción eficiente de información espectral relevante. También han favorecido que el análisis cualitativo NIRS sea una realidad y constituya una poderosa herramienta en la identificación automática de productos que se desvían de un determinado patrón de calidad, así como en la detección de adulteraciones, entre otras aplicaciones (Cozzolino *et al.* 2005).

En este sentido, González *et al.* (2004) mostraron la viabilidad de la tecnología NIRS para la predicción instantánea y simultánea de parámetros analíticos y organolépticos, definidos por la normativa comunitaria internacional de la calidad del aceite de oliva. Los resultados obtenidos indican que esta tecnología permite predecir con excelente precisión y fiabilidad diferentes indicadores: grado de acidez, polifenoles totales, estabilidad oxidativa, humedad, así como puntos de cata con coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.90. Esto representa una enorme contribución para los laboratorios de industrias, cooperativas, consejos reguladores y laboratorios de inspección y control del aceite de oliva.

El uso de NIRS se proyecta también al análisis cualitativo, el cual permite diferenciar sustancias parecidas, pero con diferentes grupos funcionales, mediante el análisis discriminante. Esto abre un importante campo de aplicación en el control de calidad a nivel agropecuario e industrial. Entre las aplicaciones estudiadas para productos agropecuarios que difieren de los forrajes puede citarse el estudio de las propiedades sensoriales en carne porcina (Barlocco *et al.* 2003), la calidad del tejido adiposo de jamones de cerdo (González

et al. 2005), la calidad de la canal de ovinos (Murray *et al.* 2000 y Cozzolino *et al.* 2004), la determinación de microelementos en suelo (Moron y Cozzolino 2003), el análisis de muestras de heces de bovinos (Cozzolino *et al.*

2002b), así como el análisis de calidad de la miel de abejas (Cozzolino *et al.* 2002a) y de diferentes variedades de vinos (Kwiatkowski *et al.* 2004) y el análisis de calidad de las uvas (Dambergs *et al.* 2005), entre otras.

CONCLUSIONES

La Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) es una técnica alternativa a los métodos químico-biológicos tradicionales, con buen potencial para obtener, de modo rápido y seguro, estimaciones de la composición química y nutricional de los forrajes, así como de los productos agropecuarios.

El éxito de la técnica puede atribuirse, en gran parte, a su habilidad para la realización del análisis de rutina rápido, con alta repetibilidad, reproducibilidad y exactitud en laboratorios de nutrición animal. Esto permite tomar decisiones

rápidamente. Requiere además, una nula o escasa preparación de la muestra (análisis no destructivo de las muestras) e implica un ahorro considerable de reactivos. No genera residuos químicos contaminantes (tecnología limpia).

En los últimos años se han desarrollado numerosas aplicaciones para evaluar la composición, controlar el procesamiento y certificar la calidad de alimentos, tanto para los animales, como para la población humana. La realidad hace suponer que las aplicaciones de esta técnica aumentarán.

REFERENCIAS

- Alomar, D. & Fuchslocher, R. 1998. Fundamentos de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forrajes. Agro Sur 26:88
- Barber, G.D., Givens, D., Kridis, M., Offer, M. & Murray, I. 1990. Prediction of the Organic Matter Digestibility of Grass Silage. Anim. Feed Sci. Tech. 28:115
- Barlocco, N., Cozzolino, D., Ballesteros, F. & Gallietta, G. 2003. The use of visible and near infrared reflectance spectroscopy to measure colour on both intact and homogenised pork muscle. J. Food Sci. Tech. 36: 195
- Beyer, E. 1997. Dinámica de degradación ruminal de la materia seca de ensilajes y su predicción por espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS). Tesis Lic. Agronomía. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 118 pp
- Cajarville, C., Repetto, J.L., Curbelo, A., Soto, C. & Cozzolino, D. 2002. Evaluación del potencial de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la determinación de la degradabilidad de pasturas. Rev. Argentina Producción Animal. 22:237
- Cajarville, C., Repetto, J.L., Curbelo, A., Soto, C. & Cozzolino, D. 2003. Determination of dry matter (DM) and nitrogen (N) degradability in forages by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). Proc. British Society of Anim. Sci. Annual Meeting. USA. p.154.
- Cozzolino, D. 2002. Uso de la espectrofotometría de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la determinación de parámetros de calidad en silo de pradera. Revista Argentina Producción Animal. 22:236
- Cozzolino, D. & Acosta, Y. 2000. Uso del infrarrojo cercano NIRS para la determinación de la composición química en planta entera de maíz. XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Montevideo, Uruguay .p.7
- Cozzolino, D., Brito, G. & San Julián, R. 2004. Determinación de terneza y color en músculo *Longissimus dorsi* ovino mediante la espectrofotometría de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS). Rev. Argentina Producción Animal. 22:415
- Cozzolino, D., Corbella, E., Ramallo, G. & Maidana, G. 2002a. Análisis de calidad de miel mediante la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo

- (NIRS). Rev. Argentina Producción Animal. 22: 416
- Cozzolino, D. & Fassio, A. 2003. Prediction of chemical composition on maize silage by near infrared reflectance spectroscopy in Uruguay. Proc. British Society Anim. Sci. Annual Meeting, USA. p. 152
- Cozzolino, D. & Fassio, A. 2005. Non-destructive determination of moisture and oil in sunflower seeds by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). 11th International NIR Conference. Cordoba -Spain. p.15.
- Cozzolino, D., Fassio, A. & Fernández, E. 2005. Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano para el análisis de calidad de ensilaje de maíz. Agric. Téc. 63:387
- Cozzolino, D. & Moron, A. 2004. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict trace minerals in legumes. Anim. Feed Sci. Tech. 111: 161.
- Cozzolino, D., Vaz Martins, D. & La Manna, A. 2002b. Use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to analyse bovine faecal samples. J. Near Infrared Spectroscopy. 10:309
- Dambergs, R.G., Cozzolino, D., Esler, M.B., Cynkar, W.U., Kambouris, A., Francis, I.L., Hoj, P.B. & Gishen, M. 2005. The use of near infrared spectroscopy for grape quality measurement. Aust. N Z Grapegrowers and Winemakers J. 473:69
- Davies, A.M. & Grant, A. 1987. Review: Near infrared analysis of food. J. Food Sci. Tech. 22:191
- Deaville, E.R & Flinn, P.C. 2000. NIRS: An alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. En: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. Eds. D.I Givens, R.F.E. Owen, H.M. Axford. CABI. Publishing, UK. p. 301
- Ferrari, M., Mottola, L & Quaresima, V. 2004. Principles, techniques, and limitations of Near Infrared Spectroscopy. Canadian J. Applied Physiology. 56:332
- Flores, M., Alomar, D. & Balocchi, L. 2000. Efecto del periodo de rezago sobre la calidad de cinco gramíneas forrajeras y su predicción por NIRS. Agro Sur. 28:10
- Fontaine, J., Hörr J. & Schirmer, B. 2001. Near-Infrared reflectance spectroscopy enables the fast and accurate prediction of the essential amino acid contents in soy, rapeseed meal, sunflower meal, peas, fishmeal, meat meal products and poultry meal. J .Agric. Food Chem. 49:57
- Fontanelli, R.S., Durr, J.W.& Basso, S.M.S. 2000. Evaluación de la calidad de ensilaje de maíz a través de la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS). Reunión Anual de la Sociedad brasileña de Zootecnia. 37. Vizosa. Brasil. SBZ. p. 3
- Garnsworthy, P.C., Wiseman, J. & Fegeros, K. 2000. Prediction of chemical nutritive and agronomic characteristics of wheat by near infrared spectroscopy. J. Agric. Sci. Cambr. 135:409
- Givens, D.I. & Deaville, E.R. 1999. The current and future role of NIRS in animal nutrition: A Review. Aust. J. Agric. Res. 50:1131
- González, C., Varo, A., Pineda, T., Olmo, J., Alcalá, R., Horcas, J. & Jiménez, A. 2004. Estudio de viabilidad de aplicación de la tecnología NIRS al control de calidad del aceite de oliva. Foro de la Industria y la calidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba, España. p 12
- González, M., González, P., Álvarez – García, N. & González Cabrera, J.M. 2005. On-line determination of fatty acid composition in intramuscular fat of Iberian pork loin by NIRS with a remote reflectance fibre optic probe. Meat Sci. 69:243
- Kwiatkowski, M.J., Cozzolino, D., Parker, M., Cynkar, W.U., Dambergs, R.G., Gishen, M. & Herderich, M.J. 2004. Prediction of phenolic compounds in red wine fermentations by visible and near infrared spectroscopy. Anal. Chim. Acta 513: 73
- Mieres, J., Cozzolino, D. & Acosta, Y. 2000. Determinación del valor nutritivo del ensilaje de maíz mediante infrarrojo cercano NIRS. XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Montevideo, Uruguay. p. 11
- Moron, A. & Cozzolino, D. 2003. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy to study physical properties and microelements in soils. J. Near Infrared Spectroscopy 11:145
- Murray, I., Scaife, J. R. & Paterson, R. 2000. Study of dissected lamb muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy for composition assessment. J. Anim. Sci. 70: 417
- Pires, F.F. & Prates, E.R. 1998. Uso de la técnica NIRS para la predicción de la composición química de alfalfa (*Medicago sativa*, L.). Rev. Bras. Zootec. 27:1076
- Ramírez, E., Anaya, A.M. & Mariscal, G .2005. Predicción de la composición química del grano de sorgo mediante espectroscopía de reflectancia

- en el infrarrojo cercano. Técnica Pecuaria en México. 43:1
- Saliba, E.O.S., Gontijo Neto, M.M., Rodríguez, N.M., Miranda, L.F., Obeid, J.A., Teixeira, G.L. & Oliveira, M.A. 2003. Prediction of sorghum chemical composition by near infrared spectroscopy technique. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 55: 357
- Shenk, J.S. & Westerhaus, M. 1993. Analysis of Agriculture and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Monograph. Dept. Agronomy, Penn State University and Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA, p.116
- Shenk, J.S. & Westerhaus, M. 1995. The application of near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to forage analysis. En: Forage Quality, Evaluation, and Utilization. Eds. Fahey, G.C. Madison, USA. WI. p.406
- Windhan, W.R., Mertens, D.R. & Barton, F.E. 1989. Protocol for NIRScalibrations: sample selection and equation development and validation. En: Definition of NIRS analysis. NIRS: Analysis of forage quality. Washington, USD. p. 50

Recibido: 12 de octubre de 2005.