

**Establecimiento y validación de curvas de
calibración NIRS para determinar la calidad
química del jamón Virginia**

Eva Danira Borjas Orellana

Honduras
Diciembre, 2002

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para determinar la calidad química del jamón Virginia

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Eva Danira Borjas Orellana

Honduras
Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Eva Danira Borjas Orellana

Honduras
Diciembre, 2002

Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para determinar la calidad química del jamón Virginia.

presentado por:

Eva Danira Borjas Orellana

Aprobada:

Gladys Fukuda, M.Sc.
Asesor Principal

Claudia García, Ph.D.
Coordinadora de Carrera de
Agroindustria

Adela Acosta, D.C.T.A.
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano Académico

Mario Contreras, Ph.D.
Director General

DEDICATORIA

A mis padres, Enrique y Gloria Esperanza, por depositar toda su confianza en mí, apoyarme en todas mis decisiones y animarme a alcanzar todas mis metas. Muchísimas gracias, los quiero mucho.

A mis hermanos Edda Maritza, Mario y Vercelly, mi abuela Simona, por los consejos, ánimos y apoyo que me han entregado y por compartir conmigo lo mejor de ustedes, los quiero muchísimo.

A mis sobrinas María José, Edda María y Marbelly.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta.

A mi familia por su esfuerzo y apoyo en todo momento.

A mis asesoras, Lic. Gladys Fukuda y Dra. Adela Acosta, por sus consejos y amistad brindada.

A Iván e Isabel por su ayuda y los momentos compartidos en el laboratorio.

A los empleados de la Planta de cárnicos, especialmente a Helio, Robert, al Ing. Rommel Benavides por su colaboración, consejos y amistad brindada, muchas gracias.

A Varinia García por su colaboración y alegría compartida.

Al Dr. Raúl Espinal por sus oportunos consejos.

A la Dra. Claudia García, por sus consejos para la vida profesional.

Al cuerpo docente de la Carrera de Agroindustria: gracias por entregar siempre lo mejor de sí en cada momento.

A los padrinos de la Residencia Washington, Ing. Rogel y Suyapa Castillo, por brindarme su amistad y una familia en Zamorano.

Por el tiempo juntos, cariño, alegría y apoyo compartido, a Ernesto Espinal.

A mis amigos y colegas: Adriana Ramos, Ligia Luna, Liliana, Kyra, Carlos Soto, Neptalí, Jaime, Saúl, Arturo, Daniel Chávez, Salinas, Deyvi, Audelio, Luis García, Alejandro Del Río, Daniel Arias, Cynthia, Pedro Avendaño, Yury, Pedro Valiente, Regina y todos los que me alentaron y apoyaron en la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco al Fondo Dotal Hondureño, por la contribución financiera brindada para la realización de mis estudios de I y II año en Zamorano.

Al Fondo Food for Progress y a la Agencia Sueca ASDI, por la contribución financiera otorgada para la realización de mis estudios en III y IV año, respectivamente.

Agradezco a la Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras, por el apoyo financiero otorgado en la realización de mis estudios.

A la Zamoempresa de Lácteos y Cárnicos, especialmente al Lic. Oscar Sanabria, por el apoyo económico brindado en la realización de esta tesis.

Agradezco a mis padres por el apoyo financiero brindado durante todo el programa de estudios en Zamorano.

RESUMEN

Borjas, Eva. 2002. Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para determinar la calidad química del jamón Virginia. Trabajo de graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano. 35 p.

La composición química de un producto está asociada a la calidad de la materia prima y debe ser siempre constante. Para asegurarse que los lotes tienen la calidad química esperada, se debe hacer una evaluación rápida del mismo antes de distribuirlos, máxime en el caso de jamones que poseen una matriz compleja. Actualmente se realizan estimaciones de composición química de alimentos rápidamente, sin contaminar el medio ambiente y a un menor costo, con la espectroscopía de infrarrojo cercano, ampliamente conocido como NIRS por sus siglas en inglés. El objetivo del proyecto fue desarrollar y validar ecuaciones de calibración para la estimación del contenido de humedad, grasa y proteína del Jamón Virginia. Se utilizaron 110 muestras del jamón, provenientes de 12 lotes, para la calibración del instrumento FossNIR SY-3650-II. Para la regresión se usó el modelo de cuadrados mínimos parciales modificado, con el cual se obtuvo para humedad un R^2 de 0.997 y error estándar de predicción (EEP) de 0.348; para proteína un R^2 de 0.996 y EEP de 0.175; y para grasa un R^2 de 0.993 y EEP de 0.078. Adicionalmente se realizó una validación externa de las curvas con 30 muestras; una prueba t de diferencia de medias demostró que las diferencias entre los valores reales y estimados no son significativas ($P > 0.01$) para humedad, grasa y proteína. Se concluye que estas curvas de predicción pueden ser usadas para estimar la composición del Jamón Virginia. El análisis químico muestra que los lotes de Jamón Virginia no son homogéneos en su composición química; sin embargo, dentro de cada lote no hay diferencias entre muestras. Se recomienda estandarizar la materia prima usada y el proceso de elaboración, para que la calidad química sea constante y, una vez logrado esto, se pueda elaborar la etiqueta nutricional del producto.

Palabras claves: espectro NIRS, grasa, humedad, jamón, proteína.

Gladys Fukuda, M.Sc.

NOTA DE PRENSA

IMPLEMENTANDO NUEVA TECNOLOGÍA EN EL ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Para determinar el contenido nutricional que existe en un alimento, tradicionalmente se utilizan sustancias corrosivas y peligrosas en los análisis químicos. Este tipo de análisis posee dos desventajas importantes para la industria, en primer lugar el tiempo requerido para obtener los resultados del proceso es largo y en segundo lugar, se produce contaminación del ambiente. Se han realizado muchas investigaciones para implementar el uso de nuevas tecnologías en el análisis de alimentos que brinden resultados rápidos, confiables y amigables con el ambiente.

Actualmente, en el análisis de alimentos, se utiliza una tecnología llamada Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano, conocida mundialmente por sus siglas en inglés NIRS (Near Infrared Spectroscopy), que ha demostrado ser útil en la estimación rápida de la composición química de granos, forrajes, concentrados, carnes y productos lácteos, entre otros. Este principio es aplicado en la ejecución de controles de calidad de materia prima, productos intermedios y finales, asegurando la entrega al cliente de un producto homogéneo.

En la Escuela Agrícola Panamericana “Zamorano”, se llevó a cabo un estudio que comprobó la utilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos con esta nueva tecnología, en la predicción del contenido de humedad, grasa y proteína del jamón Virginia. Este jamón es elaborado en la Planta de cárnicos de Zamorano y comercializado en distintos puntos de venta en la ciudad de Tegucigalpa.

El estudio consistió en el análisis de 110 muestras de Jamón Virginia para determinar el contenido de humedad, grasa y proteína, utilizando los métodos convencionales y las ecuaciones desarrolladas en la calibración del instrumento NIRS. El NIRS mide la cantidad de luz, de longitudes de onda específicas, absorbida por los enlaces químicos presentes en los alimentos. Se desarrollaron ecuaciones de predicción NIRS, que toman como base la absorción de luz y los valores de referencia obtenidos en el laboratorio, que permiten realizar una estimación de la composición química del jamón Virginia.

Para determinar la confiabilidad de las estimaciones realizadas por el instrumento, se analizaron 30 muestras tanto por los métodos químicos convencionales, como por las ecuaciones NIRS. Al comparar ambos resultados, se concluyó que las ecuaciones NIRS desarrolladas en el estudio, son útiles en la estimación rápida de humedad, grasa y proteína del jamón Virginia.

Se espera ampliar las investigaciones y aplicar esta tecnología en la estimación de la composición química de las materias primas cárnicas y otras líneas de productos de la Planta de cárnicos de Zamorano, para aseguramiento de calidad y reducción tanto de costos como del impacto al medio ambiente.

Lic. Sobeyda Alvarez

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	x
	Índice de Cuadros.....	xii
	Índice de Figuras.....	xiii
	Índice de Anexos.....	xiv
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivo específico.....	2
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	GENERALIDADES.....	3
2.1.1	Definición de jamón curado cocido.....	3
2.1.2	Composición del jamón Virginia.....	3
2.1.3	Importancia de los constituyentes químicos del jamón.....	4
2.1.3.1	Agua.....	5
2.1.3.2	Grasa.....	5
2.1.3.3	Proteína.....	5
2.1.4	Etiquetado nutricional.....	6
2.2	ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO.....	6
2.2.1	Espectro electromagnético.....	6
2.2.2	Definición de espectroscopía en el infrarrojo cercano.....	6
2.2.3	Principios de la espectroscopía en el infrarrojo cercano.....	6
2.3	BANDAS DE ABSORCIÓN EN EL NIRS.....	8
2.4	CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO NIRS.....	8
2.5	MÉTODOS DE REGRESIÓN.....	9
2.5.1	Regresión por componentes principales (RCP).....	9
2.5.2	Cuadrados mínimos parciales (CMP).....	9
2.5.3	Cuadrados mínimos parciales modificado (CMPM).....	9
2.6	VALIDACIÓN NIRS.....	10
2.7	PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD.....	10

3.	MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1	LOCALIZACIÓN.....	11
3.2	MATERIALES.....	11
3.3	MUESTREO.....	11
3.4	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	12
3.5	VARIABLES MEDIDAS.....	12
3.5.1	Análisis físicos.....	12
3.5.2	Análisis químicos.....	12
3.6	CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS.....	13
3.6.1	Centrado de los espectros y datos de referencia del laboratorio.....	13
3.6.2	Desarrollo de la ecuación.....	13
3.7	VALIDACIÓN DE CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS.....	14
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	14
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
4.1	ANÁLISIS FÍSICOS.....	15
4.1.1	Color.....	15
4.1.2	Actividad de agua (Aw).....	16
4.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS.....	16
4.3	CALIBRACIÓN NIRS.....	17
4.3.1	Espectros NIRS.....	17
4.3.2	Comparación entre los datos del laboratorio y los estimados por NIRS.	18
4.3.2.1	Humedad.....	18
4.3.2.2	Grasa.....	18
4.3.2.3	Proteína.....	19
4.3.3	Confiablez de las curvas de calibración NIRS.....	19
4.4	VALIDACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS.....	20
4.4.1	Validación interna	20
4.4.2	Validación externa.....	21
4.5	COMPARACIÓN DENTRO DEL LOTE.....	22
4.6	COMPARACIÓN ENTRE LOTES.....	23
4.7	CONTROL DE CALIDAD.....	23
4.7.1	Pruebas con materia prima cárnica.....	24
5.	CONCLUSIONES	27
6.	RECOMENDACIONES	28
7.	BIBLIOGRAFÍA	29
8.	ANEXOS	31

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Composición aproximada de carnes de res, cerdo y jamón.....	4
2	Bandas de absorción de los principales componentes de los alimentos.....	8
3	Análisis físicos utilizados en el análisis del jamón Virginia.....	12
4	Métodos químicos utilizados en el análisis del jamón Virginia.....	13
5	Estadística descriptiva del color de las muestras de jamón Virginia.....	15
6	Estadística descriptiva de la actividad de agua del jamón Virginia.....	16
7	Estadística descriptiva de la composición química del jamón Virginia (%)......	17
8	Comparación de composición química del jamón Virginia con su formulación y un jamón comercial magro.....	17
9	Medidas estadísticas para las curvas de calibración NIRS para jamón Virginia.....	20
10	Medidas estadísticas para la validación interna de las curvas NIRS de jamón Virginia.....	21
11	Medidas estadísticas de la validación externa, comparando las estimaciones NIRS con las obtenidas por métodos de química húmeda.....	21
12	Coeficientes de variación para las medias de humedad, grasa y proteína dentro de cada lote de producción.....	22
13	Separación de medias de lote para la composición química del jamón Virginia.....	23

Cuadro

14	Medidas estadísticas para las pruebas de estimación NIRS de carne de cerdo magra, usando las curvas desarrolladas para jamón Virginia.....	24
15	Medidas estadísticas para las pruebas de estimación NIRS de carne de res magra, usando las curvas desarrolladas para jamón Virginia.....	25

INDICE DE FIGURAS**Figura**

1	Esquema del funcionamiento del instrumento NIRS.....	7
2	Espectros NIRS de 110 muestras de jamón Virginia.....	18
3	Aplicación del Cuadrado de Pearson en la estandarización de mezcla cárnica.....	26

INDICE DE ANEXOS**Anexo**

1	Formulación del jamón Virginia (%).....	32
2	Flujo de proceso de elaboración del jamón Virginia.....	33
3	Gráficos de correlación entre los datos de referencia de laboratorio (DRL) y los estimados de humedad, grasa y proteína en jamón Virginia.....	34

1. INTRODUCCIÓN

La Zamoempresa de Lácteos y Cárnicos proyecta un aumento en las ventas de los productos de mayor demanda. Dentro de éstos se encuentran la leche descremada, leche con chocolate, queso cabaña, chorizo campeño y los jamones. Actualmente se distribuye producto en la ciudad de Tegucigalpa, donde compite con marcas ya posicionadas en el mercado. La estrategia de venta es la marca Zamorano, que representa para los consumidores un sinónimo de calidad. Se desea ofrecer al cliente un producto de calidad química, física y sensorial homogénea y constante, lo que es una condición fundamental para incluir la etiqueta nutricional en el empaque de estos productos.

Dentro de los productos cárnicos de mayor importancia está el jamón Virginia, que se define como un producto curado, reestructurado y embutido, elaborado con una combinación de carne de res y cerdo.

Hasta el momento no se han realizado estudios de evaluación de la variabilidad en composición química del producto final de esta línea, para asegurar la calidad del mismo. Tampoco se cuenta con información respaldada por suficientes muestras para incluir la información en la etiqueta nutricional. La determinación de la composición química de este jamón, que es la información necesaria para la elaboración de la etiqueta nutricional, tradicionalmente se realiza mediante análisis químicos convencionales. Estos métodos tienen la desventaja que utilizan muchos reactivos y cristalería, requieren de 1 a 3 días para obtener resultados y generan residuos de químicos que contaminan el medio ambiente.

Actualmente se realizan análisis químicos de alimentos rápidamente, sin contaminar el medio ambiente y a un menor costo, con la Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano, ampliamente conocido como NIRS, por sus siglas en inglés. Esta es una tecnología que se empezó a desarrollar desde el año 1960 e inicialmente fue utilizado para predecir el contenido de humedad en trigo. Hoy en día este método es usado para estimar componentes como proteína, fibra, humedad, grasa y aminoácidos en muestras de leche, carne, granos, concentrados y forrajes, entre otros.

La espectroscopía en el infrarrojo cercano obtiene información sobre los componentes del alimento según el número y tipo de enlaces orgánicos presentes en el producto, basado en el principio de que los enlaces moleculares absorben frecuencias específicas de luz (Van Kempen, 1996).

Esta tecnología ofrece muchas ventajas; es simple, exacto y de procedimiento rápido, no se necesitan reactivos ni material de vidriería y no se destruye la muestra. Aunque el costo

inicial del equipo es muy alto, la inversión se recupera rápidamente. Otra ventaja que ofrece el instrumento es su fácil operación, que no requiere de personal técnico calificado.

NIRS ha sido aceptada por la industria como un método de medición de diferentes componentes; sin embargo, es un método secundario pues requiere de valores de referencia, obtenidos por métodos convencionales, para el desarrollo de las curvas de calibración.

Con las curvas de calibración NIRS del jamón Virginia, no será necesario realizar el análisis químico proximal tan a menudo. Esto podría representar una reducción del presupuesto anual en reactivos químicos y cristalería del Centro de Evaluación de Alimentos de Zamorano y la contaminación al medio ambiente.

La principal ventaja será la obtención rápida de estimaciones válidas de composición química del jamón Virginia. Se ofrecerá así la oportunidad de realizar el control de calidad a la planta de cárnicos con resultados instantáneos, antes de empacar el producto y sacarlo al mercado. También existe la posibilidad de brindar en el futuro, el servicio de análisis químico de jamones a empresas fuera del Zamorano.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Establecer y validar las curvas de calibración de humedad, proteína y grasa para jamón Virginia, producido en la planta de cárnicos de Zamorano.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar la composición química del jamón por métodos convencionales.
2. Evaluar la homogeneidad química entre lotes.
3. Establecer las curvas de calibración NIRS para el jamón en estudio.
4. Validar las curvas de calibración NIRS.
5. Elaborar la etiqueta nutricional del jamón en estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Definición de jamón curado cocido

El estándar No. 96-1981 del Codex Alimentarius para jamón curado cocido, describe el producto como preparado con carne de las patas traseras del cerdo, separadas transversalmente del resto del costado en un punto no anterior al extremo del hueso de la cadera, excluyendo la carne triturada o picada. Especifica que los huesos, cartílagos, tendones y ligamentos deben ser removidos. La piel y la grasa pueden o no ser removidas.

El estándar indica que dicha norma no se aplicará a los productos a base de jamón cocido cuyas características de composición sean distintas de las especificadas en esta norma y se designen con una declaración que los califique reflejando esa diferencia. También exige que el tratamiento térmico al que ha sido sometido el producto y el tipo de curado y de envasado deberán ser suficientes para asegurar que el producto no presenta un peligro para la salud del consumidor y que éste se mantenga inalterado en condiciones normales de almacenamiento, transporte y venta.

Los ingredientes esenciales a partir de los cuales se elaborará el producto serán jamón no curado, salmuera compuesta de agua, sal y nitrito de sodio o potasio. Los ingredientes facultativos comprenden: sacarosa, dextrosa, lactosa, maltosa, jarabe de glucosa, miel, especias, aderezos y condimentos, proteínas hidrolizadas y cualquier alimento susceptible de aportar al jamón características sensoriales.

El contenido de carne, expresado como porcentaje medio de proteínas de carne en el producto sin grasa, debe ser mayor al 16.5% del producto.

2.1.2 Composición del jamón Virginia

El jamón Virginia de la Zamoempresa de Lácteos y Cárnicos, es un embutido reestructurado a partir de carne de cerdo y de res. Debido a su contenido de carne de res, este producto no está dentro de los estándares contemplados en la definición de jamón del Codex Alimentarius. En los Anexos 1 y 2 se presentan la composición porcentual de ingredientes y el flujo de proceso de elaboración del jamón Virginia en Zamorano.

En Honduras no existe ninguna regulación acerca de la composición de carnes del jamón, por esta razón este producto se comercializa bajo dicha denominación. La etiqueta de presentación del producto indica el contenido de ambas carnes en su composición. Además de los ingredientes cárnicos, se agregan otros ingredientes que proporcionan las características propias del producto. García (2000) afirma que los ingredientes no cárnicos imparten características únicas a los productos cárnicos procesados, por lo que es necesario conocer las propiedades funcionales de dichos ingredientes.

El glutamato monosódico es un efectivo potenciador de sabor y además es un agente antioxidante. El eritorbato o ascorbato sódico es un acelerador del proceso de cura debido a su acción reductora, ayuda a preservar el color del embutido, disminuye el pH y es antioxidante.

La sal imparte sabor al producto, lo preserva al reducir la actividad de agua, extrae y solubiliza las proteínas miofibrilares, es bacteriostático y prooxidante. El nitrito produce el color rosado, provee sabor a los productos curados y es bacteriostático, especialmente para la bacteria *Clostridium botulinum*. La referencia del nivel máximo de nitrito establecido por el Codex Alimentarius en el jamón curado cocido es 125 mg/kg, expresado como nitrato de sodio, solo o mezclado con nitrato de potasio.

Los fosfatos incrementan la capacidad de retención de agua de la carne, por lo que reduce las mermas de peso del producto final y mejora el rendimiento de la formulación. Acelera la formación del color rosado y secuestra metales catalistas de la oxidación lípida, entre otras funciones de interés.

2.1.3 Importancia de los constituyentes químicos del jamón

Es necesario describir los componentes del jamón y su importancia nutricional, al igual que las regulaciones que rigen el contenido de los mismos en los embutidos. El Cuadro 1 presenta una composición promedio de proteína, humedad y grasa en la materia prima (cortes magros de carne) y en el jamón, como parámetros de referencia.

Cuadro 1. Composición aproximada de carnes de res, cerdo y jamón.

Tipo de carne	Porcentaje			Calorías en cada 100 g
	Proteína	Humedad	Grasa	
Res, magra cruda	20.78	70.62	6.16	144
Res, magra cocida	29.58	59.25	9.91	222
Cerdo, cruda	20.22	71.95	6.76	147
Cerdo, cocida	27.04	58.97	13.04	233
Jamón magro	19.35	70.52	4.96	131
Jamón regular	17.56	64.64	10.57	182

Fuente: Alberle *et al.*, 2001

2.1.3.1 Agua. Según García (2001), el agua actúa como solvente y vehículo de otros ingredientes en los productos cárnicos procesados. Es regulador de temperatura, modifica la textura de la carne y reduce el costo de la formulación.

Alberle *et al.* (2001) afirman que el agua representa del 45 al 80% del peso final de productos cárnicos procesados. La humedad proviene de dos fuentes; de la materia prima cárnica y del agua o hielo agregado como parte del resto de ingredientes de la formulación. Existen varias razones para agregar agua en el procesamiento de productos cárnicos, por ejemplo, puede ejercer la función de un sustituto parcial de grasa, de medio transportador de los ingredientes de cura y de mejorador de textura, entre otros beneficios.

La importancia económica radica principalmente en el bajo costo del agua y la significativa mejora en rendimiento del producto final que se puede obtener. En Estados Unidos existen regulaciones para controlar la cantidad de agua agregada en carnes ahumadas, así como en jamones curados. El estándar está basado en la cantidad de proteína libre de grasa en el producto final (PFF, de las siglas del inglés, “Protein Fat Free”), que exige un mínimo de contenido de proteína sin considerar directamente el contenido de agua. El valor PFF mínimo establecido para jamón es 20.5%. El valor PFF se determina mediante la ecuación 1.

$$\text{PFF} = \frac{\% \text{ proteína en la carne}}{100 - \% \text{ grasa}} \times 100 \quad [1]$$

2.1.3.2 Grasa. El contenido de grasa en la carne es generalmente el componente más variable; tiene muchas fuentes de variación: especie, raza, estado nutricional, composición del alimento, edad, selección genética, etc. En el caso del jamón Virginia, éste contiene únicamente la cantidad de grasa intramuscular que poseen las materias primas: carne de res extra magra y carne de cerdo sin grasa dorsal.

La planta de cárnicos actualmente no realiza ningún tipo de análisis previo, de la materia prima cárnica, que permita determinar su contenido de grasa y calcular así la proporción adecuada para obtener un producto final con el porcentaje preciso de grasa.

Según Prändal *et al.* (1994) la grasa posee un alto valor calórico y de no ser transformada en energía, es almacenada en el organismo en forma de depósitos grasos. Por esta razón muchos consumidores prefieren reducir el consumo de productos con contenido alto de grasa. Sin embargo, el consumo de grasa es importante para asegurar el abastecimiento de vitaminas liposolubles. El jamón Virginia es un producto bajo en grasa, teóricamente un 5%, y por ello cuenta con una buena aceptación en el mercado local.

2.1.3.3 Proteína. La carne posee un alto contenido de proteína, principalmente en el músculo y tejido conectivo. Esta proteína es de alta calidad; es decir, contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidades equivalentes a los requerimientos humanos, es altamente digerible y de fácil absorción.

Porciones magras de carne cruda contienen de 19 a 23% de proteína; este contenido varía inversamente a la cantidad de grasa presente. Debido a la humedad y pérdida de grasa durante la cocción, el contenido de proteína aumenta de 25 a 30% en la carne cocida (Alberle *et al.*, 2001).

2.1.4 Etiquetado nutricional

La información nutricional provee información útil a los consumidores que se preocupan por la composición de su dieta. Los productos cárnicos empacados deben presentar un panel indicando el tamaño de porción, número de porciones por paquete, contenido total de calorías, calorías provenientes de grasa, grasa total, grasa saturada, colesterol, sodio, carbohidratos totales, fibra dietética, azúcar, proteína, vitamina A, vitamina C, hierro y calcio. Se deben presentar cantidades y porcentajes del valor diario recomendado (Alberle *et al.*, 2001).

2.2 ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO

2.2.1 Espectro electromagnético

La radiación infrarroja fue descubierta por el astrónomo William Herschel (1738-1822) en 1800, al medir la alta temperatura más allá de la zona roja del espectro visible. La radiación infrarroja es energía electromagnética con longitudes de onda más grandes que la luz visible, pero más cortas que las microondas. La banda infrarroja se divide en tres secciones próximas a la visible (780 - 2500 nm), intermedia (2500 - 50000 nm) y lejana (50000 nm - 1mm). Toda molécula que tenga una temperatura superior al cero absoluto (-273°C) emite rayos infrarrojos y éstos serán mayores entre más temperatura tenga el objeto (López, 2001).

2.2.2 Definición de espectroscopía en el infrarrojo cercano

La espectroscopía en el infrarrojo cercano funciona con luz directa que ha sido separada en longitudes de onda específicas, irradiadas hacia la muestra y medida la cantidad de luz que se refleja. Utilizando estas medidas, las muestras pueden ser matemáticamente analizadas y determinados sus componentes basándose en la correlación con las medidas reales de los mismos, obtenidas utilizando métodos tradicionales de laboratorio (Oatway *et al.*, 2000).

2.2.3 Principios de la espectroscopía en el infrarrojo cercano

Los alimentos están compuestos básicamente de materia orgánica. Los enlaces moleculares más comunes en los alimentos son entre hidrógeno y los elementos carbono, oxígeno, fósforo, azufre y nitrógeno. La frecuencia de vibración entre estas moléculas

hace que estos enlaces generalmente absorban luz en la región infrarroja. NIRS utiliza el principio de absorción de frecuencia de luz específica por los enlaces, para obtener información acerca del número y tipo de enlaces orgánicos presentes en las muestras.

Según Van Kempen (1996), para comprender el principio básico de NIRS es necesario entender las bases del color. La luz blanca está compuesta por todos los colores del arco iris. Cuando esta luz cae sobre un objeto, ciertos colores dentro del espectro son absorbidos por el objeto, mientras el resto es reflejado (o transmitido). La luz reflejada puede ser observada por el ojo y es interpretada como el color del objeto.

El principio del instrumento es la iluminación del producto con luz de frecuencia (longitud de onda) específica y conocida, en la región del infrarrojo cercano. La luz absorbida por el producto es luego medida como la diferencia entre la cantidad de luz emitida por el instrumento NIRS y la cantidad de luz reflejada por la muestra (Van Kempen, 1996).

La Figura 1 presenta el esquema que describe el principio básico de la espectroscopía en el infrarrojo cercano. La luz (1) es enfocada a través de un espejo cóncavo (2), que separa la luz en diferentes longitudes de onda (3). Una longitud de onda o frecuencia específica es seleccionada (4) y cae sobre la muestra (5). La cantidad de esta luz que es reflejada por la muestra es medida (6) para obtener la absorción correspondiente a la respectiva frecuencia. Al cambiar la orientación del espejo, es posible seleccionar diferentes frecuencias de luz para obtener medidas de absorción de todas las longitudes de onda de interés. La gráfica presenta la frecuencia específica seleccionada versus la absorción de luz en dicha frecuencia y ésta es llamada espectro (7).

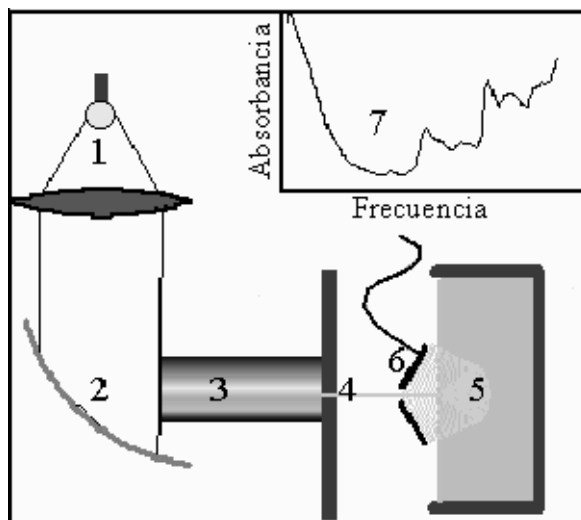


Figura 1. Esquema del funcionamiento del instrumento NIRS (Van Kempen, 1996).

La teoría del NIRS ha sido utilizada desde los años 60, para análisis cuantitativos y cualitativos de alimentos. En productos alimenticios, se han realizado estudios para

predecir cuantitativamente la concentración de varios componentes, por ejemplo contenido de proteína en diversos productos alimenticios a base de cereales como maíz, avena y trigo (Kays *et al.*, 2000); determinación del contenido de azúcar en remolachas (Roggo *et al.*, 2002); predicción de humedad, grasa y proteína en pechuga y pierna de pollo (Cozzolino *et al.*, 1996); efecto de molienda de la muestra y de la especie en el análisis de carne (Cozzolino y Murray, 2002).

Otras aplicaciones del NIRS son en el análisis de *Longissimus dorsi* (músculo del lomo) de res como un medio discriminatorio de régimen alimenticio con pastos y ensilaje de maíz (Cozzolino *et al.*, 2002); en detección de proteína de soya y aislados de trigo en la leche en polvo (Maraboli *et al.*, 2002) y en estudios preeliminares en caracterización de miel (Davies *et al.*, 2002), entre otras investigaciones.

2.3 BANDAS DE ABSORCIÓN EN EL NIRS

La espectroscopía en el infrarrojo cercano se basa en la absorción de grupos funcionales que tienen un átomo de hidrógeno unido a un carbono, nitrógeno u oxígeno, estas absorciones son los sobretonos y bandas de combinación. Estos enlaces son los más comunes en los principales constituyentes del alimento, como el agua, proteínas, lípidos y carbohidratos (Wehling, 1998). El Cuadro 2 presenta el detalle de algunos componentes orgánicos de los alimentos y las longitudes de onda de absorción de los mismos.

Cuadro 2. Bandas de absorción de los principales componentes de los alimentos.

Constituyente	Absorción	Longitud de onda (nm)
Agua	-OH estiramiento/ deformación	1920-1950
	combinada.	1400 – 1450
Proteínas	-OH estiramiento	
	-NH deformación	2080-2220 1560-1670
Lípidos	Metileno –CH estiramiento	2300-2350
	CH ₂ y CH ₃ estiramiento	1680-1760
Carbohidratos	C-O, O-H combinación de estiramiento.	2060-2150

Fuente: López, 2001.

2.4 CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO NIRS

Según López (2001), las ecuaciones de calibración cuantifican la relación de la absorción del NIRS y los datos de referencia de laboratorio (DRL). La precisión de esta conversión es medida como el error estándar de calibración (EEC), que indica la variación dentro de la población que no es explicada por la calibración, y como el error estándar de validación cruzada (EECC), que indica la variabilidad esperada de un valor estimado. También es

útil el error estándar de predicción (EEP), el valor R^2 que es la variación explicada por la curva de calibración y finalmente el valor de residuales o “bias” que es la diferencia sistemática entre los valores reales y predicción NIRS.

2.5 MÉTODOS DE REGRESIÓN

Los métodos de regresión son procedimientos estadísticos que cuantifican el grado de relación entre dos o más variables. El modelo matemático del sistema de regresión es $Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_pX_p$, donde Y es la variable a ser predicha y B_0 es el intercepto en la ecuación, B_1 y B_p son los coeficientes y relacionan los cambios en la variable X y Y . El valor p es el número de variables X . En nuestro ejemplo, Y es un valor de referencia del laboratorio y X_1 y X_p son los valores de absorción NIRS (FOSS NIRSystems, 2000). Los métodos de regresión que utiliza el instrumento NIRS son:

- Regresión por componente principal (RCP)
- Cuadrados mínimos parciales (CMP)
- Cuadrados mínimos parciales modificado (CMPM)

2.5.1 Regresión por componentes principales (RCP)

El procedimiento para componentes principales reduce la información espectral en factores independientes (componente principal). Dichos factores son formados sin la información química y explican únicamente la variación espectral por la intercorrelación. Un puntaje (“score”) es producido por la multiplicación de los valores espectrales de absorbancia para cada componente principal. Esto produce una condensación de la información espectral en algunos “scores” y al final la regresión múltiple se aplica a estos “scores” (FOSS NIRSystem, 2000). En inglés este método se denomina PCR, “Principal Component Regression”.

2.5.2 Cuadrados mínimos parciales (CMP)

El procedimiento utiliza todo el espectro y para determinar los factores utiliza los datos de referencia de laboratorio (DRL), de manera que este método es más preciso que RCP. La denominación en inglés es PLS, “Partial Least Squares”.

2.5.3 Cuadrados mínimos parciales modificado (CMPM)

Este método es más preciso y estable que el de cuadrados mínimos parciales (CMP). Los residuales NIRS en cada longitud de onda, obtenidos después de calcular cada factor, son estandarizados antes de calcular el siguiente factor (FOSS NIRSystems, 2000).

Cozzolino *et al.* (2002) en su investigación recomiendan ejecutar el análisis estadístico de muestras cárnicas, utilizando el método de CMPM, (en inglés, “Modified Partial Least Squares”, MPLS) con validación interna cruzada (“internal cross-validation”).

2.6 VALIDACIÓN NIRS

El programa estadístico WINISI posee un método para validar las curvas de calibración a través de un proceso conocido como validación cruzada, tomando la población de espectros almacenados que poseen sus valores de referencia del laboratorio (DRL), como base a partir de la cual selecciona una de las muestras y predice su composición, dato que luego compara con el DRL original de dicha muestra.

2.7 PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD

El aseguramiento de la calidad en la línea de productos cárnicos en estudio es un factor clave en el posicionamiento de la marca en el mercado, la satisfacción del cliente y las utilidades de la planta de Zamorano.

Cantú (2001) señala que un producto es de calidad cuando sus características tangibles e intangibles satisfacen los gustos y necesidades de los clientes. Entre esas características menciona las funciones operativas del producto (en el caso del jamón, características de sabor, apariencia, textura), el precio, durabilidad, seguridad, facilidad de uso, que sea simple de manufacturar y mantener en condiciones operativas, fácil de desechar, etc. Todo esto le otorga al producto la llamada calidad al consumidor.

Según Bisgård (1999), el objetivo principal en una industria de productos cárnicos debe ser el control del proceso de producción, la detección temprana y corrección de los errores. Es también necesario que los métodos implementados para el control del proceso sean precisos y rápidos, tomando en cuenta el intervalo de tiempo requerido entre la toma de las muestras y el reporte de los resultados para la toma de decisiones en el proceso. Por ejemplo, si el punto del proceso que se está controlando es lento con relación a la obtención de resultados, entonces las correcciones al proceso pueden realizarse sin necesidad de incurrir en grandes pérdidas de materia prima, simplemente afectando un poco los costos de manufactura y con un mínimo retraso en la programación de la producción. Sin embargo, si el proceso es rápido en comparación a dicho intervalo, como lo es para la mayoría de métodos químicos convencionales, entonces la obtención de un producto que cumpla con los estándares establecidos no será posible.

La tecnología apropiada para realizar el control de calidad del proceso en la industria cárnica debe cumplir con varias características como por ejemplo: precisión, rapidez, confiabilidad, costo, adaptabilidad al ambiente, espacio requerido y retorno de la inversión a la planta de procesamiento (Bisgård, 1999).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El muestreo se realizó en la planta de cárnicos y los análisis químicos y físicos de las muestras se llevaron a cabo en el Centro de Evaluación de Alimentos del Zamorano, ubicada a 30 km al sur de Tegucigalpa, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

3.2 MATERIALES

Materia Prima:

jamón Virginia elaborado por la Zamoempresa de Lácteos y Cárnicos.

Para el análisis químico:

Procesador de alimentos Cuisinart.

Reactivos químicos.

Equipo de laboratorio necesario para el análisis proximal.

Para el análisis NIRS:

Instrumento NIR, SY –3650-II. Analizador versátil de alimentos y bebidas.

Paquete de software estadístico “WINISI II” para el desarrollo de calibraciones y validación.

3.3 MUESTREO

Se siguió la recomendación del Codex Alimentarius (FAO/OMS, 1995), en el Nivel de Inspección I para muestreo normal. Esta norma indica que, para lotes de producción menores a 48,000 unidades donde una unidad es menor a 1 kg, se deben muestrear 6 unidades por lote.

La frecuencia de producción de la línea de jamón en estudio es semanal, con un volumen de 91 kg por semana. De un lote de producción se empacan fundas de aproximadamente 8 kg, que luego son rebanados y empacados en paquetes de 200 g. Se tomaron como mínimo 6 paquetes provenientes de distintas fundas, para procurar obtener una muestra representativa del lote; en total se muestrearon 12 lotes de producción de la línea en estudio.

Un total de 110 muestras se tomaron de la planta de cárnicos de Zamorano. Se recolectó muestras en los meses de octubre y noviembre del año 2001 y en enero, abril y mayo del 2002.

3.4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

De acuerdo con las recomendaciones de Cozzolino y Murray (2002), referente a la presentación más adecuada para analizar carnes con el método NIRS, el contenido del paquete fue molido en el procesador de alimentos Cuisinart. Inmediatamente se tomó su espectro NIRS y se realizó el análisis de humedad, grasa y proteína por los métodos químicos convencionales. El resto de la muestra fue depositado en bolsas plásticas para su almacenamiento a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5 VARIABLES MEDIDAS

3.5.1 Análisis físicos

Para realizar los análisis físicos, se tomó una rodaja del paquete y se realizó las mediciones de Color y Actividad de agua (A_w) con los instrumentos disponibles en el Centro de Evaluación de Alimentos (Cuadro 3). Es necesario aclarar que esta información no es utilizada en la calibración del instrumento NIRS, sino que sirvió para caracterizar el producto.

Cuadro 3. Análisis físicos utilizados en el análisis del jamón Virginia.

Característica	Equipo
Color	COLORFLEX
Actividad de Agua	AQUALAB

3.5.2 Análisis químicos

Cada muestra fue analizada en los siguientes componentes: humedad, grasa y proteína. Los resultados de los análisis químicos son los datos de referencia de laboratorio (DRL) de los espectros de cada muestra en el NIRS.

Siguiendo las recomendaciones de Martínez *et al.* (1998), quienes en su investigación concluyen que se deben realizar esfuerzos para evitar la variación de humedad en las muestras durante la toma de los espectros, para mejorar la repetitividad de los mismos, se realizó la toma de espectros e inmediatamente el análisis de humedad.

Cada componente se analizó según el procedimiento específico recomendado por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC, 1997). El Cuadro 4 presenta la descripción de los métodos utilizados.

Cuadro 4. Métodos químicos utilizados en el análisis del jamón Virginia.

Componente	Método AOAC (1997)
Humedad	Deshidratación (105°C) en horno de aire forzado.
Proteína	Kjeldahl (N*6.25)
Grasa	Goldfish por extracción con éter.

3.6 CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS

Para llevar a cabo la calibración cada muestra de jamón fue leída por el instrumento NIRS inmediatamente después de ser molida, para obtener espectros de reflectancia. Seguidamente, estas muestras fueron analizadas con los métodos químicos convencionales para determinar los valores de referencia de los componentes en estudio. Se utilizó el programa estadístico “WINISI” para procesar los datos del NIRS y desarrollar el modelo de estimación de los componentes químicos en estudio.

3.6.1 Centrado de los espectros y datos de referencia del laboratorio

El programa estadístico “WINISI” correlaciona los datos de referencia del laboratorio (DRL) con los espectros tomados a las muestras y realiza una agrupación, eliminando automáticamente todos aquellos espectros y valores fuera de serie (“outliers”).

3.6.2 Desarrollo de la ecuación

Para el cálculo de la ecuación se utilizó la base de datos con los espectros centrados y seleccionados con sus respectivos DRL. El sistema de regresión múltiple utilizado fue el de cuadrados mínimos parciales modificado (MPLS) por ser más estable, preciso y por el procedimiento que éste realiza, de calcular y estandarizar el residual de cada longitud de onda obtenido después de cada factor, antes de calcular el siguiente factor.

El tratamiento matemático que se aplicó a los espectros fue el 2, 10, 4, 1 que consiste en aplicación de la segunda derivada, el valor 10 es un rango del segmento de espaciamiento o “gap”; estos dos tratamientos son útiles para eliminar variación dentro de los espectros. Este es el tratamiento matemático predeterminado del equipo y el recomendado por los distribuidores del mismo.

Los parámetros estadísticos tomados en cuenta para la evaluación de las curvas fueron: el coeficiente R^2 , el error estándar de calibración (EEC), el error estándar de predicción (EEP) y el error estándar de validación cruzada (EECC).

3.7 VALIDACIÓN DE CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS

Existen dos métodos de validación de las curvas NIRS; el primero se realiza con el paquete estadístico propio del instrumento, WINISI II, que ejecuta una comparación entre los valores estimados por NIRS y los valores obtenidos con los métodos convencionales (DRL). La correlación de ambos datos debe indicar un coeficiente de ajuste aceptable, expresado en el valor del error estándar de predicción “EEP” y un valor residual lo más cercano a cero posible, lo que indica entonces la validez y confiabilidad de las curvas. El segundo método es una validación externa, que compara los resultados obtenidos con los métodos químicos convencionales, con las predicciones del instrumento NIRS. Para la ejecución de la validación externa se utilizaron 30 muestras de jamón Virginia y se analizó los datos utilizando una prueba t de diferencia de medias ($P > 0.01$) para verificar la significancia de las diferencias entre ambos resultados.

Para la validación de la curva de calibración se utilizó, además de las muestras de jamón Virginia, muestras de las materias primas cárnicas utilizadas en la elaboración del mismo. El principal interés de incluir estas muestras, de carnes de res y cerdo extra magras, es la posibilidad de utilizar las mismas curvas de calibración en la predicción de la composición química de la materia prima y así seleccionar la combinación óptima que permita obtener un producto final de calidad química homogénea y constante entre lotes.

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de las medidas estadísticas de tendencia central (Media aritmética, Mediana, Moda) y de dispersión (Desviación Estándar, Coeficiente de Variación, Varianza) para determinar si los datos obedecen a una distribución normal. Para comprobar si las diferencias encontradas entre lotes son significativas se utilizó un ANDEVA y separación de medias Student-Newman-Keuls (SNK) (Programa estadístico SAS).

Los resultados de los análisis de cada componente se alimentaron al paquete de Software WINISI II, que proporcionó un sistema de regresión múltiple variable, a diferentes longitudes de onda en el rango del infrarrojo cercano y en donde se escogió el mejor sistema según el determinante R^2 .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS FÍSICOS

4.1.1 Color

El jamón es un producto reestructurado que presenta características peculiares en su color, debido a la presencia notable de diferentes segmentos de carne en su superficie, no así en la mayoría de los jamones comercializados popularmente en Honduras, que son emulsificados y presentan una superficie de color más uniforme.

La escala de los valores que reporta el instrumento Colorflex sigue un modelo que utiliza el valor L^* para indicar luminosidad y dos valores que indican color a^* y b^* . Las coordenadas definen la ubicación del color en el plano Cartesiano. El valor a^* define el eje rojo-verde y el valor b^* define el eje de azul-amarillo. El valor L^* adiciona la tercera dimensión al plano de color. El Cuadro 5 muestra los resultados obtenidos en los análisis de color.

Cuadro 5. Estadística descriptiva del color de las muestras de jamón Virginia

Medidas Estadísticas	Escala CIE ¹		
	L^*	a^*	b^*
Media	50.16	13.38	9.41
Mínimo	49.71	11.97	8.76
Máximo	50.68	14.74	10.63
Desviación Estándar	0.34	0.88	0.70
Coefficiente de Variación (%)	0.67	6.57	7.43

¹CIE = Comission Internationale d'Eclairage

El manejo de los datos, recopilados de las distintas muestras, se efectuó con valores promedio que se pueden tomar como estándar para el producto, aunque sería imposible exigir un cumplimiento estricto a esta pauta. Los datos estadísticos descriptivos muestran una desviación estándar menor a uno, lo que nos indica una baja dispersión de los valores; un coeficiente de variación menor al 10%, que nos señala poca variabilidad y que a simple vista no serán percibidas por el consumidor.

4.1.2 Actividad de agua (A_w)

La actividad de agua se mostró como un parámetro relativamente constante, pues se observó baja variación entre lotes, con una desviación estándar y coeficiente de variación tan bajos, que nos indican la poca variabilidad del producto en este parámetro (Cuadro 6). El valor promedio obtenido es de 0.967, lo que indica que el jamón es un producto que contiene una gran cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos, razón por la cual se realizan muchos esfuerzos por aplicar barreras que eviten un ambiente óptimo de crecimiento de estos microorganismos: precocción del producto previo al empaque, refrigeración a 4°C, empaque, etc.

Cuadro 6. Estadística descriptiva de la actividad de agua (A_w) del jamón Virginia.

Medidas Estadísticas	A_w
Media	0.967
Mínimo	0.960
Máximo	0.975
Desviación Estándar	0.004
Coeficiente de Variación (%)	0.413

4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS

En el Cuadro 7 se muestra la estadística descriptiva de los resultados de los análisis químicos, realizados al total de muestras utilizadas para la calibración y validación, sin distinguir lotes de producción. Para la variable humedad, la desviación estándar fue de 2.9, pero dado que el producto posee una humedad del orden del 71% en promedio, el coeficiente de variación es bastante bajo.

Por otro lado, el componente grasa, presenta una desviación de 1.1 con respecto a la media; pero debido a que es el componente que está presente en un menor porcentaje en el jamón, se obtiene un coeficiente de variación extremadamente alto, lo que nos indica la gran variabilidad que existe en la cantidad de grasa en el producto (Cuadro 7).

Los resultados de los análisis de proteína cruda arrojan una desviación estándar de 2.9, con un coeficiente de variación del orden de 15%, que se considera alto. El coeficiente de variación alto para grasa y proteína, indicaría que existen diferencias por composición.

Cuadro 7. Estadística descriptiva de la composición química del jamón Virginia (%).

Medidas Estadística	Humedad	Grasa	Proteína
N	140	140	120
Media (%)	71.39	3.00	19.36
Mínimo (%)	60.03	1.00	15.29
Máximo (%)	78.47	5.66	26.20
Desviación Estándar	2.93	1.01	2.93
Coefficiente Variación (%)	4.11	33.76	15.15

Con respecto a los valores teóricos de referencia de la composición química de jamón que presentan Alberle *et al.* (2001), el jamón Virginia presenta características similares en composición al estándar de jamón magro; pero no es posible realizar una comparación directa con dicho estándar, debido a la presencia de carne de res en la formulación del jamón en estudio. Al comparar la formulación teórica del producto que elabora la planta de cárnicos y los resultados obtenidos en el presente estudio, hay discrepancia. En el Cuadro 8 se muestra la composición química porcentual teórica del jamón Virginia, según su formulación, y los valores de referencia comerciales para jamón magro.

Cuadro 8. Comparación de composición química del jamón Virginia con su formulación y un jamón comercial magro.

Componente (%)	Jamón Virginia		Jamón Magro ¹
	Análisis	Formulación	
Humedad	71.39	72.88	70.52
Grasa	3.00	5.70	4.96
Proteína	19.36	16.70	19.35

¹ Fuente: Alberle *et al.*(2001).

La diferencia más importante que se encontró es en la cantidad de grasa; como se explicó anteriormente, este componente fue el más variable y la diferencia encontrada en el contenido graso esperado podría afectar la textura y el sabor del mismo, causando variación en las características sensoriales del producto final.

4.3 CALIBRACIÓN NIRS

4.3.1 Espectros NIRS

Se observa que los coeficientes de absorbancia que se definen como el logaritmo del inverso de la reflectancia de luz por la muestra ($\log 1/R$), se comportan inversamente proporcional a la concentración de enlaces químicos presentes en la muestra. Stewart,

citado por López (2001), asegura que los valores de reflectancia varían de modo que si incrementa la concentración, decrece la reflectancia pero el valor $\text{Log } 1/R$ aumenta. La Figura 2 muestra la dispersión de los espectros tomados, donde se observa la variabilidad en la composición química de la población de muestras analizadas. El gráfico muestra el segmento de luz infrarrojo cercano y distingue las zonas de absorción de luz de frecuencia específica para los enlaces orgánicos presentes en el jamón.

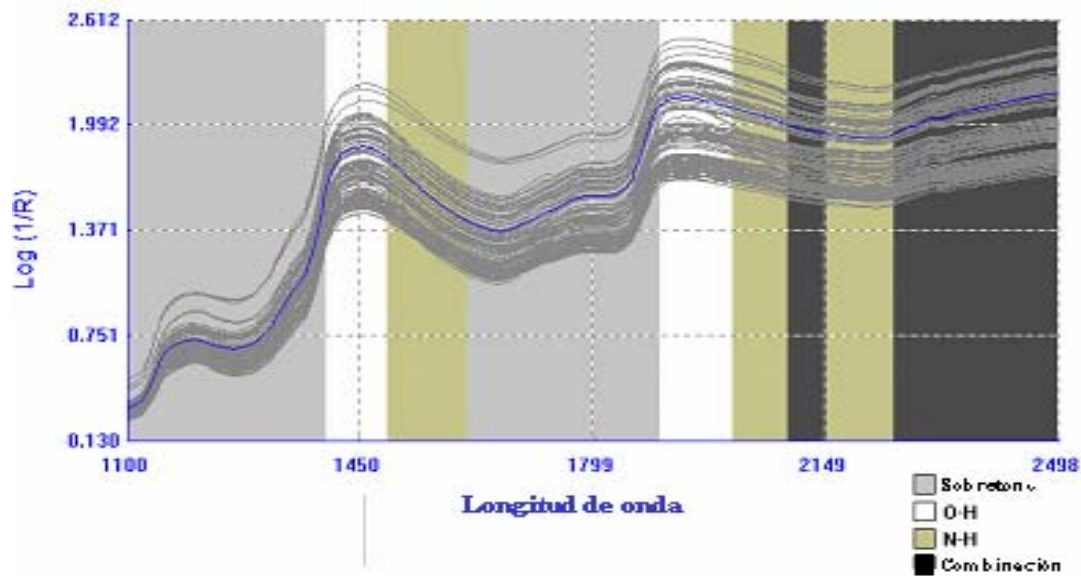


Figura 2. Espectros NIRS de 110 muestras de jamón Virginia.

4.3.2 Comparación entre los datos de laboratorio y los estimados por NIRS.

4.3.2.1 Humedad. La diferencia entre la media de los resultados del laboratorio y los estimados NIRS (residual) fue de 0.014. Esta diferencia es posible que sea causada por la facilidad con que este tipo de muestras, como el jamón, pierde humedad al ambiente. El ajuste al modelo lineal es de 0.857 y el EEP es de 0.484 y está dentro del límite establecido por el instrumento que es de 1.160. La correlación de los valores de humedad obtenidos por el análisis químico y los estimados por NIRS se presentan en el Anexo 3.

4.3.2.2 Grasa. La composición grasa, encontrada en la población de jamón Virginia utilizada para la calibración, estuvo dentro del rango de 1.00 a 5.66%, con una media poblacional de 2.95%. Durante la ejecución de los análisis se encontró una gran variabilidad entre muestras en el componente grasa. Se obtuvieron diferencias entre los duplicados de las muestras, razón por la cual fue necesario repetir las muestras fuera de serie y reconfirmar los valores de extracto etéreo.

Se realizaron pruebas con un método de extracto etéreo modificado, que incluye la hidrólisis de la muestra con ácido sulfúrico previo a la extracción de grasa con éter etílico; pero no se lograron mejoras en los resultados obtenidos.

Seguidamente se realizaron pruebas dejando las muestras en el horno, durante dos horas a 60°C, para eliminar parte de la humedad que pudiera interferir en la extracción de la grasa y también se alargó a siete horas el período de la extracción con éter. Este último método mostró resultados satisfactorios y fue el utilizado para alcanzar el coeficiente de regresión de 0.993 para la curva de grasa. Fue necesario analizar nuevamente ciertas muestras que resultaban fuera de serie en el NIRS y corregir dichas muestras por la humedad, que posiblemente hubieran perdido durante el almacenamiento en el congelador.

Los datos de referencia del laboratorio y los estimados por NIRS presentan una relación lineal. La correlación de los valores de grasa obtenidos por el análisis químico y los estimados por NIRS se presentan en el Anexo 3. La dispersión de puntos dentro de los límites de confianza nos indica la correlación entre los valores reales (DRL) y estimados NIRS. El error estándar de predicción (EEP) es de 0.172 y está dentro del límite establecido por el fabricante del instrumento y que es de 0.465. La diferencia entre la media de los valores de grasa del laboratorio y las estimaciones NIRS fue de 0.001 (Bias).

4.3.2.3 Proteína. La curva de proteína alcanzó el coeficiente de regresión 0.996 con 80 muestras, un número menor de muestras comparado con la curva de grasa. Por razones de costo y tiempo no se continuó analizando el resto de muestras para determinar su contenido de proteína cruda. El valor residual para proteína fue de 0.001 y es la diferencia entre los valores de laboratorio y las estimaciones NIRS. La curva de proteína tuvo un R^2 de 0.997 y su EEP fue de 0.430, que se encuentra dentro del límite establecido por el instrumento que es de 0.740. Las correlaciones de los valores del análisis químico y la predicción NIRS para proteína se presentan en el Anexo 3.

4.3.3 Confiabilidad de las curvas de calibración NIRS

La calificación de las ecuaciones obtenidas se debe realizar tomando como referencia un R^2 alto y errores estándar de calibración y de predicción (EEC y EEP, respectivamente) bajos, para el grupo de muestras de validación. El valor EEC indica la variación dentro de la población que no es explicada por la calibración; otro indicador es el error estándar de calibración cruzada (EECC) que indica la variabilidad esperada de un valor estimado y el R^2 indica la variación explicada por la curva de calibración. La confiabilidad de una ecuación puede ser medida a través del cociente del error estándar de calibración cruzada entre la desviación estándar, este indicador debe ser menor que 0.30.¹

Se observó que la curva de humedad es la que tiene el valor más alto de EEC, que indica la mayor variación no explicada del valor estimado; por lo tanto hay cierta variabilidad

¹ Cozzolino, D. 2002. Resultados de curvas de calibración NIRS (Correo electrónico). International Wine Research Institute, Australia.

esperada, a pesar de tener un valor de R^2 muy alto. Las curvas de grasa y proteína muestran indicadores de EEC y EECC bajos.

El Cuadro 9 muestra los resultados estadísticos de las curvas desarrolladas, donde se observa que las curvas cumplen con los estándares preestablecidos para calificarlas como curvas de calibración confiables.

Cuadro 9. Medidas estadísticas para las curvas de calibración NIRS para jamón Virginia.

Componente	Humedad	Grasa	Proteína
N	110	110	80
Media (%)	70.60	2.95	20.35
Desviación Estándar	5.46	1.04	2.98
Error Estándar Calibración	0.278	0.081	0.183
R^2	0.997	0.993	0.996
Error Estándar Calibración Cruzada	0.408	0.126	0.236
EECC/ DE ¹	0.070	0.120	0.070

¹Un valor < 0.30 indica que la curva es confiable.

Comparando este estudio con el de Cozzolino y Murray (2002), que trabajaron en carne de res, se observan resultados similares en cuanto a los coeficientes R^2 de calibración. Estos fueron de 0.98, 0.81 y 0.96 para humedad, proteína y grasa, respectivamente; sus valores de EECC fueron altos (33.1, 21.8 y 44.8, respectivamente) y esto se explica por la dificultad de homogenizar la carne. En nuestro estudio se procuró moler y homogenizar bien las muestras, obteniéndose mejores resultados en las estimaciones.

Por el contrario, en la predicción del contenido de proteína en diversos productos derivados de cereales, se encontró un R^2 de 0.973 y un EECC de 0.090 (Kays *et al.*, 2000). Igualmente en un estudio de detección de adulteración de leche en polvo con proteína de soya y trigo se obtuvo un R^2 de 0.993 y un EEP de 0.20 (Maraboli *et al.*, 2002). La naturaleza de las muestras, que permite mayor homogeneidad, posiblemente sean determinantes de la menor variabilidad de los resultados.

4.4 VALIDACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS

4.4.1 Validación interna

Los resultados de la validación interna obtenidos del programa estadístico “WINISI” fueron satisfactorios, el Cuadro 10 presenta los indicadores estadísticos de la validación de las curvas. Los errores estándar de predicción (EEP) fueron bajos para los tres componentes, demostrando así la confiabilidad de las curvas en la predicción de la

composición química. Se obtuvo un excelente ajuste de los datos al modelo desarrollado, como lo indican los R^2 mayores a 0.990 en cada una de las curvas.

Cuadro 10. Medidas estadísticas para la validación interna de las curvas NIRS de Jamón Virginia.

Medidas Estadísticas	Humedad	Grasa	Proteína
Media (%)	70.60	2.95	20.35
Error Estándar de Predicción	0.348	0.078	0.175
R^2	0.997	0.993	0.996

4.4.2 Validación externa

Se realizó una validación externa de las curvas de calibración NIRS, estimando la composición química de un grupo de 30 muestras previamente analizadas con los métodos químicos convencionales. Al comparar los resultados obtenidos con las predicciones NIRS (Cuadro 11), se observó que los resultados del contenido de humedad presentan la misma media y una variación similar en ambos métodos.

Cuadro 11. Medidas estadísticas de la validación externa, comparando las estimaciones NIRS con las obtenidas por métodos químicos.¹

Medidas Estadísticas	Humedad		Grasa		Proteína	
	NIRS	DRL²	NIRS	DRL	NIRS	DRL
Media (%)	74.59	74.55	2.84	2.88	20.44	20.39
Mínimo (%)	73.75	74.14	1.80	1.93	21.96	21.79
Máximo (%)	77.09	76.59	3.30	3.50	25.98	26.00
Desviación Estándar	1.35	1.26	0.51	0.39	1.23	1.19
CV (%)	1.74	1.58	17.32	12.63	5.15	5.00
EEP	0.484		0.172		0.430	
$P > t$ ³	0.689		0.314		0.498	

¹ Número de muestras = 30

² DRL= datos de referencia de laboratorio

³ Probabilidad

En el caso del contenido graso, el coeficiente de variación es mayor en las estimaciones, pero esto es explicable por la dificultad de distribuir homogéneamente la grasa en la matriz cárnica, lo que afecta las lecturas de reflectancia. La proteína y la humedad muestran un coeficiente de variación similar en ambos métodos de análisis.

Como se discutió anteriormente, en granos se ha logrado obtener excelentes resultados en curvas de estimación NIRS, debido a la facilidad en la homogenización de la materia prima. Los valores de EEP encontrados en el presente estudio se consideran satisfactorios, particularmente el caso de la curva de grasa, que obtuvo un valor de EEP tan bajo como 0.172.

Analizando los datos con la prueba t de diferencia de medias, entre los valores estimados por las curvas NIRS de jamón Virginia y los obtenidos con los métodos químicos, las probabilidades indican que no hay suficiente evidencia estadística para asegurar que las diferencias encontradas entre dichos valores son significativas ($P > 0.01$); por lo tanto, ambos valores se consideran iguales y las estimaciones NIRS de humedad, grasa y proteína son válidas y confiables.

4.5 COMPARACIÓN DENTRO DEL LOTE

Se realizó un análisis de los resultados de cada lote, determinando la dispersión de las muestras dentro del mismo. El Cuadro 12 presenta los coeficientes de variación para el contenido de humedad, grasa y proteína de las muestras del jamón Virginia por lote de producción. Los coeficientes de variación en el contenido de humedad y proteína estuvieron en un rango de 0.3 a 3.5% y 1.5 a 5.3%, respectivamente; para la grasa el rango del coeficiente de variación fue de 1.7 a 26.1%. Es posible que la alta variabilidad en el contenido de grasa dentro del lote, se deba al contenido de dos especies diferentes en el jamón Virginia, varias razas, edades, estado fisiológico de los animales, además de la selección de la materia prima bajo un sistema subjetivo operado por diferentes empleados de la planta de cárnicos, entre otros factores.

Cuadro 12. Coeficientes de variación para las medias de humedad, grasa y proteína dentro de cada lote de producción.

Lote	N	Humedad	Grasa	Proteína
1	6	0.74	1.66	1.14
2	6	1.71	14.02	1.96
3	6	1.62	26.08	3.87
4	8	0.58	9.11	1.45
5	12	2.21	10.64	5.03
6	10	0.57	7.59	2.26
7	9	1.03	8.35	2.40
8	12	0.89	7.66	2.19
9	9	3.28	12.10	5.32
10	11	3.46	13.40	2.05
11	12	0.27	5.03	2.05
12	9	0.30	22.16	3.78

4.6 COMPARACIÓN ENTRE LOTES

Para conocer la homogeneidad en composición química de los diferentes lotes, se realizó una separación de medias de los datos de referencia del laboratorio para humedad, grasa y proteína de cada lote. En el Cuadro 13 aparecen los promedios de composición química por lote y la separación de medias realizada con el método SNK. Se obtuvo una alta variabilidad entre lotes en el contenido de los tres componentes en estudio. Los resultados del ANDEVA indican que para los tres componentes, las diferencias encontradas fueron significativas ($P < 0.0001$) y el ajuste de los datos al modelo de análisis fue mayor al 95, 87 y 94% para humedad, grasa y proteína, respectivamente.

Cuadro 13. Separación de medias de lote para la composición química del jamón Virginia.
1

Lote	N	Porcentaje		
		Humedad	Grasa	Proteína
1	6	72.68(c)	3.52 (b)	17.35 (e)
2	6	72.57 (c)	4.46 (a)	15.64 (f)
3	6	69.82 (d)	4.33 (a)	18.39 (d)
4	8	68.68 (d,e)	4.37 (a)	19.26 (c)
5	12	67.52 (e)	4.12 (a)	19.80 (c)
6	10	71.77 (c)	2.72 (c)	18.53 (d)
7	9	65.10 (f)	3.27 (b)	22.73 (b)
8	12	63.50 (g)	3.37 (b)	23.96 (a)
9	9	62.92 (g)	3.10 (b,c)	24.31 (a)
10	11	74.89 (b)	2.21 (d)	17.03 (e)
11	12	78.09 (a)	1.46 (e)	
12	9	78.15 (a)	1.38(e)	

¹ Medias con letras iguales en la misma columna no son diferentes ($P > 0.05$).

4.7 CONTROL DE CALIDAD

Con el presente estudio queda demostrado la necesidad de la planta de cárnicos de implementar ajustes en el proceso de elaboración del jamón Virginia. Los resultados de los análisis del producto final no indican qué etapa del proceso debe ser ajustada. Según Bisgård (1999), en la manufactura de productos cárnicos procesados es muy importante realizar una selección apropiada de la materia prima; por ejemplo monitorear los contenidos de grasa de la materia prima cárnica, para evitar la alta variabilidad en el producto final. En el caso de jamón Virginia, es necesario monitorear entonces las dos fuentes cárnicas: carne extra magra de res y carne magra de cerdo. Además de los aspectos de calidad del producto se debe tomar en consideración el factor económico, pues generalmente los análisis químicos convencionales suelen ser costosos.

Las curvas de predicción de humedad, grasa y proteína son útiles en el monitoreo de calidad del jamón Virginia como producto final; sin embargo si los análisis se realizan únicamente al producto final, no solventamos la variabilidad encontrada entre lotes de producción de dicho producto.

4.7.1 Pruebas con materia prima cárnica

Para verificar si es posible aplicar las curvas de estimación desarrolladas para jamón Virginia en el monitoreo de sus materias primas cárnicas, se realizó una prueba en la que se correlacionan los valores obtenidos con los métodos convencionales y los estimados por las curvas NIRS. El resultado fue parcialmente satisfactorio, en el caso de la carne de cerdo, es posible obtener resultados confiables para humedad y grasa. Para carne de res, será posible obtener valores precisos dependiendo del contenido de grasa que posea la muestra, pues si es menor a 1% la curva no logra predecir dicho componente; para humedad, se obtuvieron resultados satisfactorios.

Un total de 10 muestras de carne de cerdo y 10 de carne de res extra magras fueron analizadas con las curvas de predicción NIRS, desarrolladas para el jamón Virginia, y se realizó una comparación de los resultados obtenidos con los métodos convencionales. En los Cuadros 14 y 15 se presentan los resultados del comportamiento de las ecuaciones de estimación de humedad, grasa y proteína para cada tipo de materia prima. Los resultados de las curvas de predicción de humedad y grasa en carne de cerdo son muy prometedores, pues poseen un buen ajuste al modelo matemático desarrollado en las curvas de estimación del jamón Virginia (Cuadro 14).

Cuadro 14. Medidas estadísticas para las pruebas de estimación NIRS de carne de cerdo magra, usando las curvas desarrolladas para jamón Virginia.¹

Cerdo	Humedad		Grasa		Proteína	
	NIRS	DRL	NIRS	DRL	NIRS	DRL
Media (%)	71.60	74.23	3.29	3.86	19.32	20.65
Mínimo (%)	70.57	73.09	2.16	3.06	18.76	19.81
Máximo (%)	73.00	74.86	4.17	4.63	19.88	21.26
Desviación Estándar	0.987	0.854	0.824	0.751	0.365	0.465
CV (%)	1.38	1.15	25.09	19.46	1.89	2.25
R ²	0.952		0.897		0.078	
EEP	0.198		0.258		0.478	

¹Número de muestras = 10

La estimación del contenido de grasa tuvo hasta un 25.09% de coeficiente de variación, siendo el componente de mayor variabilidad observado. El contenido de proteína de la carne de cerdo no es posible estimarlo utilizando la misma ecuación del jamón Virginia,

pues se obtuvo un bajo ajuste de los datos al modelo, tan solo un 7.80%. Los errores estándar de predicción fueron bajos, pero en el caso de la proteína la estimación es inválida por el bajo ajuste de los datos al modelo de la curva de estimación. Estos resultados pueden ser explicados por la sensibilidad del NIRS a factores como tamaño de partícula y su arreglo, que es distinto para el jamón molido y la carne de cerdo molida; esto podría ser un factor que no permite la estimación correcta de proteína, además de tratarse de la comparación de un producto cocido contra otro crudo.

En cuanto a las pruebas realizadas en carne extra magra de res, no se esperaba que las estimaciones NIRS para esta materia prima fueran válidas (Cuadro 15); esto debido a que su composición química se sale del rango de humedad, proteína y grasa de las muestras de jamón Virginia usadas para el desarrollo de las ecuaciones. Debido a que no es posible extrapolar información con las curvas de estimación NIRS, se deben establecer curvas propias para la estimación de la composición química de la carne de res.

Cuadro 15. Medidas estadísticas para las pruebas de estimación NIRS de carne de res magra, usando las curvas desarrolladas para jamón Virginia.¹

Res	Humedad		Grasa		Proteína	
	NIRS	DRL	NIRS	DRL	NIRS	DRL
Media (%)	76.76	77.13	0.58	1.35	16.95	20.06
Mínimo (%)	75.73	76.61	0.10	1.03	16.12	19.63
Máximo (%)	77.56	77.64	1.06	1.83	18.02	20.58
Desviación Estándar	0.63	0.44	0.35	0.37	0.66	0.26
CV (%)	0.82	0.57	60.77	27.43	3.89	1.30
R ²	0.605		0.034		0.007	
EEP	0.297		0.388		0.277	

¹Número de muestras = 10

El coeficiente de variación más alto se presentó en grasa (60.77%), indicando que la curva no es capaz de estimar con precisión el contenido de grasa en las muestras de carne de res analizada. El bajo ajuste de los datos de grasa y proteína al modelo de las curvas desarrolladas para jamón Virginia (3.4 y 0.7%, respectivamente), indica que las estimaciones para carne de res no son confiables; de modo que, se confirma la necesidad de desarrollar curvas específicas para la composición química de carne de res extra magra.

La razón por la cual no se realizó este proyecto partiendo de las materias primas cárnicas fue precisamente la diferencia en los contenidos de grasa, que poseen las materias primas cárnicas en cuestión. Según la experiencia previa de calibración NIRS con leches fluidas, no se logró obtener resultados satisfactorios en la curva de grasa por el amplio rango en el contenido de grasa que presentaban los productos analizados, que fueron: leche descremada, leche estandarizada, leche entera, leche con sabores a chocolate y fresa (López, 2001).

Sería ideal analizar la composición de la materia prima que se encuentra disponible al momento del procesamiento del jamón, de modo que se realice una estandarización de ambas carnes que ofrezca el porcentaje de grasa esperado según su formulación. También sería útil el diseño de un programa de monitoreo de la composición química de la materia prima cárnica, a ser utilizada en la producción del jamón, con el método NIRS y el realizar el monitoreo al producto final, pues traerían muchos beneficios a la Planta de cárnicos.

La metodología a seguir para realizar dicha estandarización es obtener la composición de ambas materias primas, haciendo un muestreo de los lotes seleccionados de carnes y analizando con el NIRS; una vez conocido su contenido de grasa, es posible estandarizar la mezcla con la metodología del Cuadrado de Pearson. El procedimiento es muy sencillo y se ilustra a continuación con un ejemplo:

Si el estándar de jamón Virginia indicara que el producto final debe tener 5.70% de grasa y los resultados del análisis NIRS indican que el contenido de grasa de la carne de cerdo magra es 5.90% y la carne de res tiene un 1.20%, entonces realizamos una resta cruzada como lo indica la Figura 3, que presenta la proporción de carnes necesaria para obtener un total de 4.70 kg de una mezcla cárnica con 5.70% de grasa.

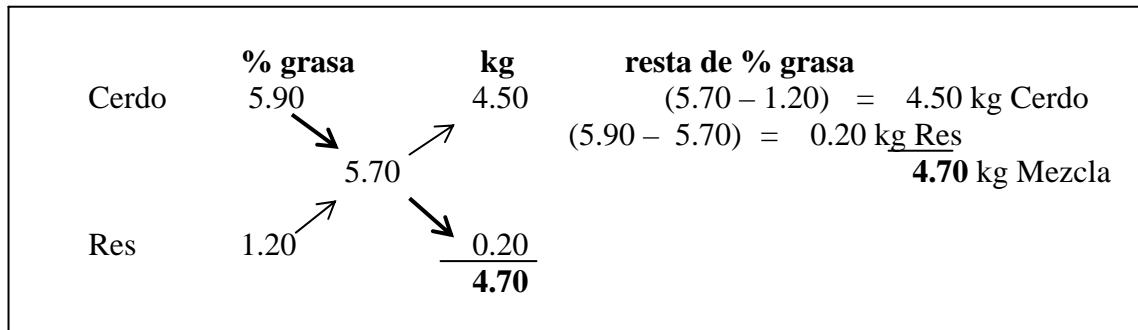


Figura 3. Aplicación del Cuadrado de Pearson en la estandarización de mezcla cárnica.

Es importante realizar una toma de muestras que sea representativa del lote de materia prima para obtener resultados confiables y un producto final con el porcentaje de grasa deseado.

5. CONCLUSIONES

- La composición media de humedad, grasa y proteína del jamón Virginia es de 71.39, 3.00 y 19.60%, respectivamente.
- La composición química del jamón Virginia presenta diferencias significativas entre lotes de producción.
- La humedad presentó la menor variabilidad y la grasa la mayor variabilidad entre muestras del mismo lote.
- Las curvas de calibración NIRS establecidas para jamón Virginia son confiables y se obtuvo valores de R^2 de 0.997, 0.993 y 0.996 para humedad, grasa y proteína, respectivamente.
- En la validación de las curvas de calibración no se encontraron diferencias ($P>0.01$) entre los valores estimados y los obtenidos por los análisis químicos.
- La actual variabilidad en la composición química del producto no permite utilizar estos datos para incluir una etiqueta nutricional.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar el actual sistema de clasificación de materia prima cárnica en la planta de cárnicos de Zamorano.
- Estandarizar el proceso de selección de materia prima para la elaboración de jamón Virginia.
- Validar las curvas de predicción de humedad, grasa y proteína para carne de cerdo clasificación magra.
- Desarrollar curvas de predicción para la composición química de carne de res.
- Una vez validadas las curvas de estimación para carne de res y cerdo, utilizar NIRS para la estimación de la composición química previo a la elaboración del jamón.
- Realizar pruebas de predicción utilizando las dos líneas adicionales de jamones que posee la planta de cárnicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alberle, E; Forrest, J; Gerrard, D; Mills, E. 2001. Principles of meat science. 4 ed. Iowa, USA. 354 p.

AOAC. 1997. Official methods of análisis; Association of Official Analytical Chemists. 15 ed. va. USA. 1298 p.

Bisgård, D. 1999. Near infrared technology as an analysis tool in the modern European Meat Industry. VII Simposio Centroamericano y del Caribe sobre procesamiento de carnes. Memoria. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cantú, H. 2001. Desarrollo de una cultura de calidad. 2 ed. Mexico. McGraw Hill. 377p.

Cozzolino, D; Murray, I; Paterson, R. 1996. Visible and near infrared reflectance spectroscopy for the determination of moisture, fat and protein in chicken breast and thigh muscle. Journal of Near Infrared Spectroscopy 4, 213–223 (1996). Consultado enero del 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J04_0213.html

Cozzolino, D; Martins, V; Murray, I. 2002. Visible and near infrared spectroscopy of beef *longissimus dorsi* muscle as a means of dicriminating between pasture and corn silage feeding regimes. Journal of Near Infrared Spectroscopy 10, 187–193 (2002) Consultado septiembre del 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J10_0187.html

Cozzolino, D; Murray, I. 2002. Effect of sample presentation and animal muscle species on the analysis of meat by near infrared reflectance spectroscopy (en línea). Journal of Near Infrared Spectroscopy 10, 37–44 (2002). Consultado mayo 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J10_0037.html

Davies, A; Radovic, B; Fearn, T; Anklam, E. 2002. A preliminary study on the characterisation of honey by near infrared spectroscopy (en línea). Journal of Near Infrared Spectroscopy 10, 121–135 (2002). Consultado septiembre del 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J10_0121.html

FAO, OMS. 1995. Codex Alimentarius. Métodos de Análisis y Muestreo. 2 ed. Volumen 13. Roma. 146 p.

FOSS NIRSystem, 2000. ISI Windows Near-Infrared Software. US. II. 237 p.

García, C. 2001. Módulo de industrias cárnicas. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 27 p.

Kays, S; Barton, F; Windham, W. 2000. Predicting protein content by near infrared reflectance spectroscopy in diverse cereal food products. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 8, 35–43 (2000). Consultado septiembre del 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J08_0035.html

López, C. 2001. Curvas de calibración y validación por espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) para leches fluidas. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras. 35 p.

Maraboli, A; Cattaneo, T; Giangiaco, R. 2002. Detection of vegetable proteins from soy, pea and wheat isolates in milk powder by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 8, 35–43 (2000). Consultado septiembre del 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J10_0063.html

Martínez, M; Garrido, A; De Pedro, E; Sánchez, L. 1998. Effect of sample heterogeneity on near infrared meat analysis: the use of the RMS statistics. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 6, 313–320 (1998) (en línea). Consultado marzo 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J6_0313.html

Oatway, LA.; Helm, JH; Juskiw, PE. 2000. Development of Near Infrared Spectroscopy to Screen for Feed Quality Characteristics in Whole Grain Barley (en línea). Alberta Agriculture, Food and Rural Development. California, USA. Consultado junio 2001. Disponible en: <http://www.agric.gov.ab.ca/ministry/pid/fcdc/wholegrain.html>

Prändal, O; Fischer, A; Schmidhofer, T; Sinella, H. 1994. Tecnología e Higiene de la Carne. Trad. JE Escobar. Zaragoza, España. ACRIBIA. 854 p.

Roggo, Y; Duponchel, L; Noe, B; Huevenne, J.P. 2002. Sucrose content determination of sugar beets by near infrared reflectance spectroscopy. Comparison of calibration methods and calibration transfer. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 10, 137–150 (2002). Consultado septiembre del 2002. Disponible en: http://www.nirpublications.com/abs/J10_0137.html

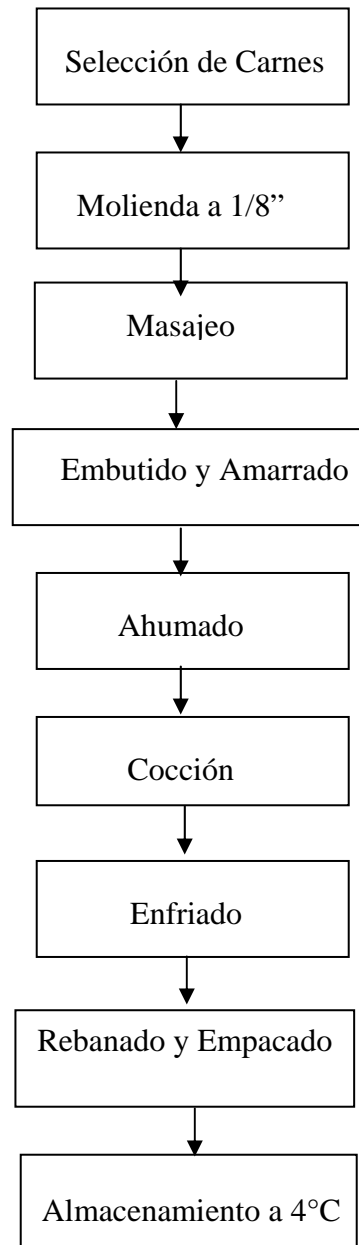
Van Kempen, T. 1996. NIR technology: Can we measure amino acid digestibility and energy values? (en línea). Annual Carolina Swine Nutrition Conference. Consultado junio 2001. Disponible en: <http://mark.asci.ncsu.edu/nutrit~1/Miscellaneous/theo96csnc.htm>

Wehling, RL. 1998. Basic principles of spectroscopy. *In* Nielsen, S. Food analysis. 2 ed. Indiana US. RB. 630 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Formulación del Jamón Virginia (%).

Materia Prima	%
Carne de res extra magra	38.00
Carne de cerdo extra magra	38.00
Mezcla para jamón	0.80
Condimentos	0.62
Glutamato	0.06
Eritorbato	0.19
Sal	2.00
Cura	0.25
Fosfato	0.50
Agua	10.00
Hielo	10.00
Nitrito (ppm)	148.80

Anexo 2. Flujo de proceso de elaboración del Jamón Virginia.

Anexo 3. Gráficos de Correlación entre los datos de referencia de laboratorio (DRL) y los estimados de humedad, grasa y proteína en Jamón Virginia.

