

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para la composición química del queso cabaña

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

Presentado por:

Yury Rodolfo Reyes Cruz

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.

Yury Rodolfo Reyes Cruz

Honduras
Diciembre, 2002

Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para la composición química del queso cabaña

presentado por:

Yury Rodolfo Reyes Cruz

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 Rodolfo Reyes, Aida Cruz los mejores padres que alguien pudiera tener; a mi hermanita Diana Maricel Reyes y a mi novia Olivia Cármamo, porque te has vuelto parte indispensable en mi vida. Gracias a todos ustedes por el apoyo que me dieron para hacer este sueño realidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Rodolfo Alexis Reyes Reyes y Aída Cruz por formarme con disciplina, valores morales y sabiduría. Gracias por enseñarme a enfrentar el mundo e inculcarme el deseo de luchar por una sociedad justa.

A mi querida hermanita Diana Maricel Reyes Cruz por darme ánimo en los momentos difíciles y por ser la niña consentida de la casa.

A mi novia Olivia María Cárcamo Guerrero porque sin darle nada a cambio llena e ilumina mi espacio con su luz, estarás siempre en mi corazón.

A mis abuelos Constantino Reyes, María Reyes y Francisca Cruz por consentirme y quererme mucho.

A todos mis tíos y primos por enseñarme muchas cosas.

A mi mejor amigo en Zamorano, el Ingeniero en Agroindustria José Felipe Ramos Ruiz, por darme su amistad valiosa. Nos divertimos mucho en la escuela, gracias por todo.

A mis amigos Francisco Ríos y Gilberto Ríos por abrirme los ojos y hacerme descubrir mi verdadero papel en la sociedad.

A mis amigos ingenieros zamoranos Rony Varela, Ever Cruz, Pedro Valiente y Walter Sánchez.

A mis asesores, las profesoras Gladys Fukuda y Adela Acosta, por apoyarme en este proyecto y darme excelentes consejos para mi vida profesional.

A Iván e Isabel por ayudarme en la elaboración de este proyecto.

A José Luis Otero por brindarme su asesoría y consejos para echar a andar este proyecto.

A todas las personas que conocí en mi vida que de una u otra manera me enseñaron algo.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Le agradezco a mis becarios Food for Progress, la Secretaría de Agricultura de Honduras y más a mis padres por todo su esfuerzo para educarme y hacerme una mejor persona.

RESUMEN

Reyes, Yury. 2002. Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para la composición química del queso cabaña. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria. Zamorano, Honduras. 29p.

La Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) es la técnica más rápida para estimar componentes químicos en alimentos. Es ventajosa porque libera de la dependencia de costosos insumos químicos y vidriería, no contamina el ambiente y no destruye las muestras. Actualmente, la Zamoempresa de Lácteos y Cárnicos planea impulsar la producción del queso Cabaña, debido a que son los únicos productores de este queso en Honduras y además, siendo un producto bajo en grasa, está dirigido a un creciente segmento del mercado. Estos planes exigen un control de calidad estricto y rápido del producto final. El objetivo del proyecto fue obtener y validar curvas de calibración NIRS para estimar el contenido de humedad, proteína y grasa de este queso. El equipo FossNIR SY-3650-II se calibró con 12 lotes de producción (13 muestras por lote) analizados por métodos oficiales. Estos resultados se relacionaron con sus espectros de reflectancia NIRS y se analizaron en el software WINISI, obteniendo coeficientes de regresión de 0.99 para humedad, 0.99 para proteína y 0.98 para grasa. Se validaron las calibraciones con 30 muestras adicionales, correlacionando datos reales con estimados por NIRS y obteniéndose coeficientes de regresión de 0.98 para humedad, 0.96 para proteína y 0.96 para grasa. Mediante una prueba t de diferencia de medias no se encontró diferencias ($P>0.01$) entre valores reales y estimados. Se encontraron diferencias ($P<0.05$) entre los lotes de producción, señalando inconsistencia en calidad del producto. Se concluye que el instrumento puede predecir la composición de humedad, proteína y grasa del queso cabaña. Se recomienda estandarizar el proceso de elaboración del queso para obtener lotes homogéneos y monitorearlos usando NIRS; luego elaborar la etiqueta nutricional mediante métodos químicos oficiales. Finalmente se propone un sistema de control de calidad del producto terminado.

Palabras Claves: Control de calidad, coeficiente de regresión, estimaciones, grasa, humedad, proteína, reflectancia difusa.

Nota de prensa

LA ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO PARA LA PREDICCIÓN DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS DEL QUESO CABAÑA

La Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) es la técnica más rápida para estimar componentes químicos en alimentos. Las áreas de aplicación en las cuales ha tenido mayor desarrollo son la agricultura, la industria petroquímica, farmacéutica y alimentaria.

Este método es ventajoso porque libera de la dependencia de costosos insumos químicos y vidriería, no contamina el ambiente, no destruye las muestras y es muy rápido; prediciendo la concentración de los componentes químicos de una muestra aproximadamente en tres minutos.

La técnica NIRS fue implementada en el queso cabaña que se produce en Zamorano, con el objetivo de impulsar su producción. Zamorano es el único productor de este queso en Honduras que se caracteriza por su bajo nivel de grasa por lo que es apetecido por un creciente segmento del mercado. En este sentido, es imperante un control de calidad estricto y rápido del producto final con el uso de una tecnología apropiada como la NIRS.

Para predecir la composición química de los alimentos con esta técnica, es necesario calibrar y validar un universo de muestras con la ayuda de un software especializado. La calibración consiste en comparar análisis químicos de referencia, oficiales, con espectros recolectados por el software, obteniendo así una regresión. El siguiente paso es la validación que consiste en comparar los análisis químicos de un conjunto de muestras diferentes a las usadas en la calibración, obteniendo parámetros estadísticos que determinan si es posible utilizar las curvas para la predicción química de nuevas muestras.

Durante el estudio se establecieron las curvas de calibración y validación del queso cabaña que se produce en Zamorano. Estas curvas pueden predecir la composición química de humedad, proteína y grasa con un R^2 mayor al 0.98; esto significa que los datos se ajustan al modelo estadístico en un 98%. Además, no se encontró diferencia estadística significativa entre los resultados de las muestras analizadas por el aparato y las analizadas por métodos químicos oficiales. Por lo tanto, se concluye que esta técnica puede ser utilizada para el control de calidad del queso cabaña.

Se diseñó un plan de control de calidad que utiliza la técnica NIRS, que incluye los estándares y normas así como, el tipo de muestreo que se debe realizar. Al final del estudio, no se encontró homogeneidad entre los lotes de producción, por lo que se recomendó estandarizar el proceso.

CONTENIDO

	Portadilla	i
	Autoría	ii
	Página de firmas	iii
	Dedicatoria	iv
	Agradecimientos	v
	Agradecimiento a patrocinadores	vi
	Resumen	vii
	Nota de prensa	viii
	Contenido	ix
	Índice de Cuadros	xi
	Índice de Figuras.....	xii
	Índice de Anexos	xiii
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2	ANTECEDENTES	2
1.3	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	2
1.4	ALCANCES Y LÍMITES DEL ESTUDIO.....	3
1.5	OBJETIVOS.....	4
1.5.1	Objetivo general	4
1.5.2	Objetivos específicos	4
2	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	GENERALIDADES.....	5
2.1.1	Definición de quesos.....	5
2.1.2	Definición de queso cabaña o cottage.....	5
2.2	ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIRS).....	6
2.2.1	Teoría sobre la absorción de energía en el infrarrojo cercano.....	6
2.2.2	Reflectancia difusa.....	8
2.2.3	Cuantificación del análisis NIRS.....	8
2.2.4	Factores que afectan la reflectancia de las muestras.....	9
2.2.5	Calibración.....	9
2.2.6	Validación.....	9
2.2.7	Tratamiento de datos.....	10
2.3	ETIQUETADO NUTRICIONAL.....	10
2.4	CONTROL DE CALIDAD.....	11
2.4.1	Especificaciones.....	11
2.4.2	Características, norma, estándar y tolerancia.....	12

3	MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1	MATERIALES.....	13
3.2	METODOLOGÍA.....	13
3.2.1	Muestreo.....	13
3.2.2	Toma del espectro NIRS de las muestras	14
3.2.3	Análisis de referencia.....	14
3.2.4	Calibración de las curvas.....	14
3.2.5	Validación.....	14
3.2.6	Diseño de un plan de control de calidad para el queso Cabaña.....	14
3.2.7	Elaboración de la etiqueta nutricional.....	15
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1	COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS.....	16
4.2	COMPARACIÓN ENTRE LOTES.....	17
4.3	COMPARACIÓN DENTRO DE LOTE.....	17
4.4	RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.....	18
4.5	RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN.....	20
4.6	ETIQUETA NUTRICIONAL.....	21
4.7	PLAN DE CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO.....	21
5	CONCLUSIONES.....	23
6	RECOMENDACIONES	24
7	BIBLIOGRAFÍA	25
8	ANEXOS	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1	Contenido de nutrientes de algunos quesos (100 gramos de muestra).....	5
2	Bandas de absorción de los principales constituyentes de alimentos.....	7
3	Estadística descriptiva de las muestras utilizadas para las curvas de calibración de los principales componentes químicos del queso cabaña.	16
4	Estadística descriptiva de las muestras utilizadas para la validación de las curvas de calibración del queso cabaña.....	16
5	Comparación de la composición química porcentual promedio de queso Cabaña.....	17
6	Coeficientes de variación para la composición química del queso cabaña dentro de cada lote.....	18
7	Análisis estadístico para el desarrollo de las curvas de calibración.....	20
8	Análisis estadístico de la validación externa de las curvas de calibración del queso cabaña.....	20
9	Prueba t de diferencia de medias apareadas para los valores reales y estimados de humedad, proteína y grasa en queso cabaña.....	21
10	Características, normas estándares y tolerancias de los principales componentes del queso cabaña.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Ventas mensuales del queso cabaña elaborado en Zamorano para el año 2000 y 2001.....	3
2	Movimiento de la onda de luz.....	6
3	Reflectancia especular y difusa.....	8
4	Espectros NIRS del total de muestras de queso cabaña utilizados para la calibración.....	19
5	Diagrama de dispersión de los contenidos de proteína (%). Datos reales versus estimados.....	19
Figura		

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1	Ejemplo de una carta de control reducida para el monitoreo de los componentes químicos del queso cabaña.....	27
2	Planes de muestreos establecidos por el Codex Alimentarius.....	28

1. INTRODUCCIÓN

La Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano, NIRS por su sigla en inglés, es uno de los métodos más rápidos para analizar los componentes químicos de muestras; siendo sus áreas de aplicación la agricultura, la industria petroquímica, farmacéutica, y alimentaria. Es en la industria de alimentos y en la caracterización química de productos agrícolas que el NIRS ha tenido su mayor desarrollo (Shenk y Westerhaus, 1993).

Según Davies y Grant (1987), la Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIR) es parte de la región del espectro electromagnético comprendido entre 750 y 2,500 nm. La baja absorción permite que la radiación infrarroja penetre las muestras sin necesidad de modificarlas o diluirlas; esto provoca la vibración de los enlaces covalentes de las uniones carbono-hidrógeno, oxígeno-hidrógeno y nitrógeno-hidrógeno.

Un análisis cuantitativo del NIR requiere de instrumentos diseñados para medir la energía que interactúa con la muestra, debido a las vibraciones de los enlaces covalentes y así poder determinar cuál es su composición química (Davies y Grant, 1987). El FOSSNIR SY-3650-II (Analizador Versátil de Bebidas y Alimentos) es un instrumento capaz de cuantificar los componentes químicos de los alimentos con la utilización del NIRS.

Para utilizar el FOSSNIR SY-3650-II, según la recomendación del fabricante, éste debe ser previamente calibrado mediante la elaboración de curvas de calibración, usando alrededor de 120 muestras, analizadas por métodos oficiales, que deben ser validadas con 30 muestras representativas de otra población (FOSS NIRSystems, 2000).

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Centro de Evaluación de Alimentos (CEA) adquirió en el año 2001 el modelo FOSSNIR SY-3650-II, iniciando entonces una serie de proyectos para evaluar concentrados, ingredientes y forrajes con esta tecnología. Sin embargo, se vió la necesidad de aplicarla también a productos elaborados en Zamorano, como leches fluidas, quesos y otros.

Los métodos de análisis químicos tradicionales como el análisis proximal presentan las desventajas de requerir de personal altamente capacitado, gran cantidad de material de vidriería costosos, reactivos caros que contaminan el ambiente; además son lentos y laboriosos, tardando alrededor de tres días para la obtención de resultados.

Actualmente, la planta procesadora de productos lácteos no cuenta con una etiqueta nutricional, ni con un plan de control de calidad para el queso Cabaña. Esto puede causar una variabilidad en la calidad del producto que disminuya la aceptación por parte del consumidor. Por lo tanto, es importante determinar su composición química y estudiar la variabilidad entre lotes de producción. El uso del NIRS permitirá conocer la calidad nutricional del producto previo al envasado, gracias a la rapidez con que se obtienen los resultados.

1.2 ANTECEDENTES

Según Davies y Grant (1987), el método NIRS, para la determinación de componentes químicos en los alimentos, fue desarrollado por K. H. Norris en 1968, en los laboratorios de Beltsville del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Fue aplicado por primera vez en el análisis químico de la soya; sin embargo, la aplicación más importante fue la determinación del contenido de proteína en el trigo.

A partir de estas pruebas, la tecnología NIRS ha sido utilizada en otras áreas como: agricultura, industrias químicas, farmacéuticas y textiles. Hoy en día, principalmente en los Estados Unidos y Europa, los laboratorios han sustituido los métodos convencionales de análisis de alimentos por métodos modernos como el NIRS, para la determinación de componentes como: proteína, grasa, humedad, cenizas y azúcares en cualquier alimento, siempre y cuando tengan la curva de calibración específica para los productos que se desean analizar. El tiempo para realizar este análisis es de alrededor de uno a dos minutos.

Los reportes de aplicación NIRS en quesos son escasos. En 1994, se llevó a cabo un experimento dirigido por la Universidad de Santiago de Compostela, España, para determinar: grasa, proteína y sólidos totales en quesos españoles, utilizando el método de espectroscopía del infrarrojo cercano. Se utilizaron 117 muestras en total, de las cuales 92 muestras fueron para la calibración y 25 muestras para la validación de la calibración (Otero y col. , 1995). Los métodos utilizados como análisis de referencia fueron: secado al horno (para sólidos totales), Kjeldahl (para proteína) y extracción gravimétrica (para grasa). Los ajustes obtenidos por las curvas de calibración fueron de 0.99 para grasa y sólidos totales y de 0.98 para proteína. Los R^2 obtenidos presentan un ajuste bien alto del modelo, lo que indica que las curvas de calibración dan estimaciones muy buenas de los componentes químicos de esos quesos.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La planta procesadora de productos lácteos de Zamorano tiene como proyección impulsar la producción de queso Cabaña, debido al aumento considerable en las ventas entre el año 2000 y 2001 (Figura 1). Esto se debe a que es el único queso Cabaña producido en

Honduras; además, por su composición química está dirigido a un segmento exclusivo de mercado que consume productos bajos en grasa que está en continuo crecimiento.¹

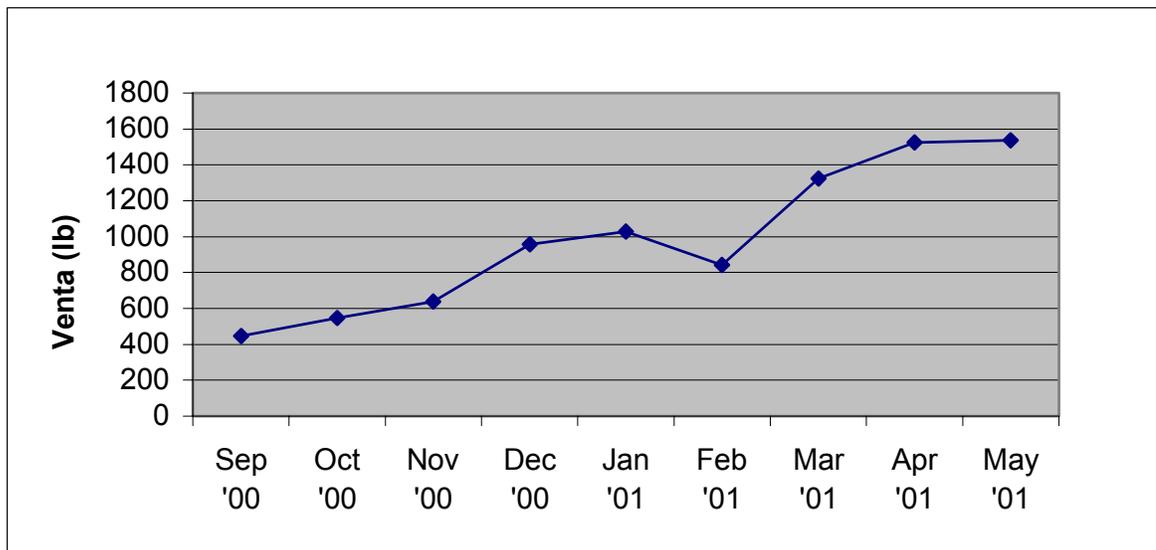


Figura 1. Ventas mensuales del queso cabaña elaborado en Zamorano para el año 2000 y 2001.

Fuente: Tomado de la base de datos de la Planta de Lácteos de Zamorano

Estos planes requieren de la utilización de métodos rápidos para la determinación de los principales componentes del queso Cabaña, como humedad, proteína y grasa en cada lote de producción, para asegurar la calidad del producto antes de su venta.

1.4 ALCANCES Y LÍMITES DEL ESTUDIO

Establecimiento de las curvas de calibración para el queso Cabaña producido en Zamorano, para la estimación del contenido de grasa, proteína y humedad.

Establecimiento de un programa de calidad nutricional del queso Cabaña, determinando la cantidad de muestras que deben analizarse por lote, la frecuencia del muestreo con la utilización de la técnica NIRS.

Si los lotes muestreados son estadísticamente homogéneos se elaborará una etiqueta nutricional para el queso Cabañas producido en la planta de lácteos de Zamorano.

¹ SANABRIA, O. 2001. Zamorano, Honduras, (comunicación personal).

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

- Obtener y validar curvas de calibración NIR para la composición química del queso Cabaña, producido en la EAP.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar la composición química del queso Cabaña por métodos químicos oficiales.
- Determinar si los lotes de producción son estadísticamente homogéneos.
- Establecer las curvas de calibración para humedad, proteína y grasa.
- Validar las curvas de calibración obtenidas.
- Diseñar un plan de control de calidad del producto terminado para el queso cabaña utilizando NIRS.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Definición de quesos

Según Revilla (2000), el queso está compuesto de proteína, grasa, agua, sales minerales y pequeñas cantidades de otros elementos, siendo una de las formas más antiguas de conservar los principales elementos nutritivos de la leche. La proporción en que se encuentra los componentes varía según el tipo de queso.

En general es un producto resultante de la concentración de gran parte de los sólidos de la leche, por medio de una coagulación (FAO, 1985). Por definición, el queso es un producto fresco o madurado, obtenido por coagulación y desuerado de la leche entera, estandarizada, descremada o crema proveniente de algunos mamíferos (Revilla, 2000).

2.1.2 Definición de queso cabaña o cottage

Queso blando, blanco, sin curar, elaborado con leche descremada pasteurizada (líquida o en polvo) con un indicador láctico (con o sin adición de renina), calentado, lavado y escurrido, puede adicionársele sal y contiene no más de 80% de agua (Bender, 2000).

La composición química del queso cabaña, en comparación con otros tipos de quesos, se presenta en el Cuadro 1. Su contenido graso es notablemente bajo y su humedad es muy alta, por ende su aporte energético es como el 30% de los otros quesos.

Cuadro 1. Contenido de nutrientes de algunos quesos (100 gramos de muestra).

QUESO	ENERGÍA	AGUA	PROTEÍNA	GRASA	Ca	P	Vit. A
	<i>Calorías</i>		G		mg		U.I.
Cheddar	398	37	25	32	750	478	1310
Procesado	370	40	23	30	697	771	1220
Crema	374	51	8	38	62	95	1540
Parmesano	393	30	36	26	1140	781	1060
Suizo	370	39	28	28	925	563	1140
Cabaña	106	78	14	4	94	152	170

Fuente: Revilla, 1995.

Según el Código de Regulaciones Federales de Estados Unidos, CFR (2001), el queso cabaña es un queso suave sin curar preparado por la mezcla de cuajo seco de queso cabaña y una mezcla cremosa. La mezcla cremosa contiene leche o sustancias derivadas de la leche. Cualquier ingrediente usado, que no sea derivado de la leche, no solamente debe contribuir al contenido total de sólidos del producto final, sino que debe tener una función útil. La mezcla cremosa debe ser pasteurizada, sin embargo, ingredientes que son afectados por el calor (como el inóculo) deben de agregarse después de la pasteurización.

2.2 ESPECTROSCOPIA EN EL INFRARROJO CERCANO (NIRS)

2.2.1 Teoría sobre la absorción de energía en el infrarrojo cercano

Según Fritz y Schenk (1968), la luz es una forma radiante de energía que varía en dirección perpendicular a la dirección de su propagación; la combinación de vibración y propagación le da a la luz un movimiento ondular, ver Figura 2.

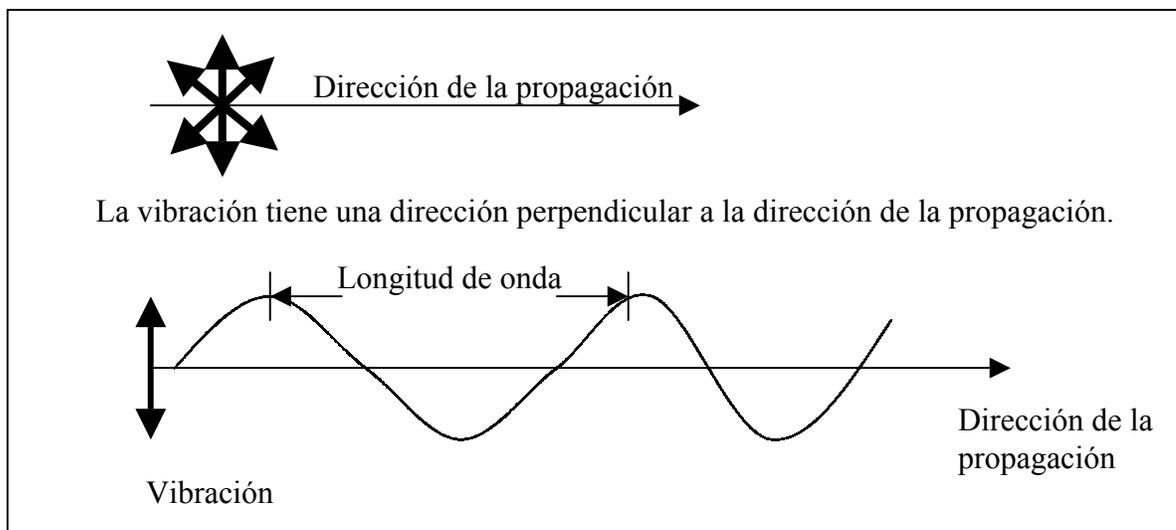


Figura 2. Movimiento de la onda de luz (Fritz y Schenk, 1968).

Las ondas con energía radiante pueden describirse en términos de longitud de onda, es decir, la distancia comprendida entre dos picos de la vibración, y frecuencia que es el número de ondas que pasan en un punto por unidad de tiempo:

$$\lambda \nu = c$$

Donde λ es la longitud de onda en centímetros, ν es la frecuencia en s^{-1} y c es la velocidad de la luz en centímetros por segundo.

La luz es la energía radiante en la región espectral que es visible al ojo humano. El rango de longitud de onda para la luz es de aproximadamente 380 a 780 nm, ocupando una región bien pequeña del espectro electromagnético. La radiación infrarroja cubre el rango espectral aproximado de 780 nm a 30,000 nm, pero el rango más utilizado para los análisis de muestras es de 2,500 nm a 25,000 nm.

Según Davies y Grant (1987), se le denomina infrarrojo cercano a la parte comprendida entre 750 a 2,500 nm del espectro electromagnético. La mayoría de las bandas de absorción, en la región del infrarrojo cercano pertenecen a la absorción de la región infrarroja del espectro electromagnético, que comprende una longitud de onda de 750 a 25,000 nm.

La vibración de átomos en las moléculas produce la absorción de la banda o absorción molecular en la región del infrarrojo cercano; ésta es causada por enlaces X-H donde X es carbono, nitrógeno u oxígeno. Esta absorción se debe al estiramiento o vibración del enlace que contiene el hidrógeno. Otra absorción molecular importante en el NIR, incluye el grupo carbonilo, carbono y oxígeno, que se mide como una doble vibración del enlace (Shenk y Westerhaus, 1993).

Los enlaces covalentes que involucran al hidrógeno son dominantes en la región NIR y cuando se habla de alimentos se refiere a los enlaces C—H, O—H, N—H y posiblemente S—H y C=O que son los responsables de la mayoría de las absorciones observadas (Davies y Grant, 1987).

Las bandas de absorción observadas en la región del NIR son primariamente por sobretonos o picos, por lo tanto las absorciones tienden a ser débiles pero lo suficientemente intensas para ser observadas en la región NIR (Wehling, 1998).

En el Cuadro 2 se presenta una lista de las bandas de absorción más importantes con su respectiva longitud de onda y el enlace responsable de la vibración.

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

Longitud de onda (nm)	Constituyente	Asignación
1200	Lípidos	C—H
1400	Agua y carbohidratos	O—H
1730	Lípidos	C—H
1940	Agua	O—H
1980	Proteína	N—H
2080	Carbohidratos	O—H
2180	Proteína	C=O, N—H
2320	Lípidos	C—H
2350	Lípidos	C—H

Fuente: Davies y Grant, 1987.

Según Shenk y Westerhaus (1993), la absorción en la banda del infrarrojo cercano ocurre cuando la frecuencia de la radiación infrarroja concuerda con la frecuencia o sobretono, o la combinación de la torsión y vibración de los enlaces moleculares en la muestra. Los instrumentos comerciales disponibles para analizar los componentes de los alimentos usan la espectroscopía infrarroja a través de la técnica de reflectancia difusa.

2.2.2 Reflectancia difusa

Según Stewart y Whitaker (1983), la radiación emitida por una muestra de alimento se refleja, absorbe o transmite dependiendo de la dispersión y propiedades de absorción de la muestra.

La energía radiante reflejada, reflectancia especular, que es emitida por la superficie no contiene información acerca de la composición de la muestra, pero la radiación que es transmitida dentro de la muestra y reflejada de nuevo sí contiene la información acerca de su composición (ver Figura 3). Esta radiación generalmente se refiere a la reflectancia difusa, llamada también cuerpo de reflectancia. El cuerpo de reflectancia, R_x , es el factor de medición para predecir la composición de una muestra.

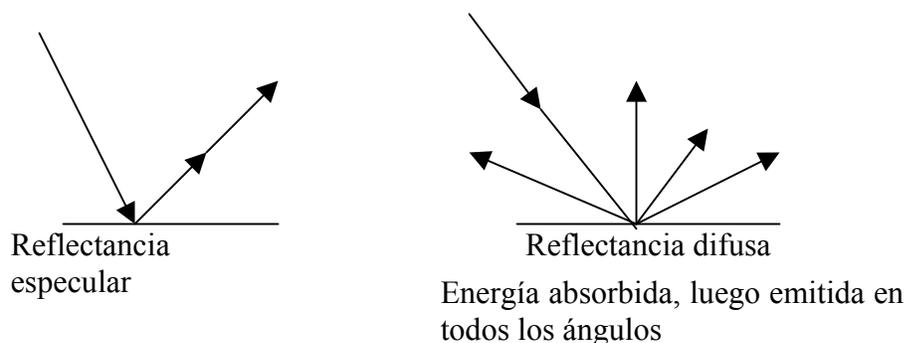


Figura 3. Reflectancia especular y difusa (Stewart y Whitaker, 1983).

2.2.3 Cuantificación del análisis NIRS

La relación entre la transmisión de energía a través de la muestra y la concentración de la absorción de los enlaces moleculares se denomina Ley de Beer, que especifica que la concentración del enlace molecular es lineal con el $\log 1/\text{transmisión}$. Aunque la Ley de Beer es válida solamente para medir la transmisión, es muy útil para medir también la reflectancia difusa (Shenk y Westerhouse, 1993).

Según Davies y Grant (1987), los primeros trabajos de cuantificación por NIRS fueron solucionados usando espectroscopía de transmisión, basado en la ley de Beer. El sistema consistía en una salida donde un detector de sulfito de plomo era alimentado hacia un amplificador logarítmico, el cual proveía una densidad óptica lineal (OD). Cuando el sistema fue modificado para hacer medidas de reflectancia, el mismo amplificador fue

utilizado para convertir la lectura de reflectancia (R) a $\log 1/R$, la que era utilizada de la misma manera que las lecturas OD.

2.2.4 Factores que afectan la reflectancia de las muestras

Según Stewart y Whitaker (1983), los factores que afectan la reflectancia de las muestras son:

- La concentración y los coeficiente de absorción de cada constituyente.
- Tamaño y forma de la partícula
- Homogeneidad de la muestra
- Temperatura de la muestra

Según Bauer y Christian (1978) la reflectancia varía exponencialmente con la concentración y el coeficiente de absorción, debido a que $\log 1/R$ es aproximadamente lineal; entonces, incrementando la concentración incrementa $\log 1/R$ y disminuye la reflectancia. La reflectancia del alimento varía de acuerdo al tamaño y forma de la partícula; a mayor tamaño la reflectancia disminuye.

La temperatura puede afectar la reflectancia debido a que algunas bandas de absorción son sensibles a la temperatura, como por ejemplo la banda de absorción del agua.

Según Stewart y Whitaker (1983), hay factores inherentes al instrumento que afectan la reflectancia de las muestras; los más importantes son el ruido fotométrico y la precisión de las longitudes de onda, porque determinan la precisión analítica. Estos factores son corregidos por el mismo instrumento antes de realizar la lectura.

2.2.5 Calibración

Según Shenk y Westerhause (1993), la calibración consiste en relacionar los valores de absorción en la región NIR con los valores de referencia de los métodos de laboratorio.

Los tres factores más importantes que afectan la precisión de la calibración de un producto, después de obtener los valores de laboratorio, son: la gran diversidad de los espectros, la complejidad del modelo de referencia espectral y el número de muestras necesarias para la población.

2.2.6 Validación

La validación se realiza con el objetivo de predecir la composición de otro conjunto de muestras de la misma población, que no incluyen las muestras utilizadas para la calibración. Para un conjunto de 100 muestras, de 50 a 70 pueden utilizarse para la calibración y las restantes 30 o 50 pueden usarse para la validación (Stewart y Whitaker, 1983).

Según Criado y Ciudad (1994), cualquier cambio en algunas de las propiedades en la población de las muestras, necesitará una recalibración y validación del instrumento para mantener la precisión de la predicción de los componentes químicos.

2.2.7 Tratamiento de los datos

Según Davies y Grant (1987), se realiza un pre tratamiento de los datos con el objetivo de superar algunas dificultades de utilizar $\log 1/R$ en los datos para el análisis de regresión. Varias formas de pre tratamiento de los datos han sido utilizadas para reducir el efecto del tamaño de las partículas. El método más utilizado es el de la primera y segunda derivada que también ayudan a mejorar la regresión.

Después del pre tratamiento de los datos se procede a elaborar el análisis de regresión que utiliza una gran cantidad de variables para formar una ecuación, la cual las relaciona con una variable independiente. La forma generalmente usada en el análisis NIRS es mediante una regresión múltiple lineal en la cual un programa de computadora selecciona las variables, una a la vez, que proporcionan el menor error entre los valores calculados y determina la concentración del compuesto analizado. La ecuación es la siguiente:

$$A\% = k_0 + k_1 [\log 1/R]^{\lambda_1} + k_2 [\log 1/R]^{\lambda_2} + \dots + k_n [\log 1/R]^{\lambda_n},$$

Donde A representa la concentración del compuesto analizado. k_0 , k_1 , k_2 son constantes y $[\log 1/R]$ son los valores $1/R$ de λ_1 , λ_2 , λ_n .

La precisión de esta conversión es medida como el error estándar de calibración (EEC) y el error estándar de predicción (EEP). El EEP indica el potencial de la calibración y el EEC es usada para comparar diferentes calibraciones con los mismos datos (Stewart y Whitaker, 1983).

Existen otros métodos recomendados para la calibración de aparatos que utilizan la técnica NIRS, como la discriminación o identificación de muestras que también es muy utilizada (Davies y Grant, 1987).

2.3 ETIQUETADO NUTRICIONAL

Según Jones (1998), en 1993 la agencia estadounidense Food and Drug Administration (FDA) publicó regulaciones acerca del etiquetado nutricional, las que fueron revisadas por la Nutrition Labeling and Education Act (NLEA).

La etiqueta nutricional debe incluir el total de calorías, calorías provenientes de grasa y el total de grasa, grasa saturada, colesterol, sodio, total de carbohidratos, fibra dietética, azúcar, proteína, vitamina A que debe presentarse como β -caroteno, vitamina C, calcio y hierro. La declaración de la siguiente información es voluntaria: calorías provenientes de las grasas saturadas y cantidad de grasas poliinsaturadas y monoinsaturadas, fibra soluble e insoluble, potasio, vitaminas y minerales adicionales.

Según Jones (1993) los valores nutricionales presentados en la etiqueta deben ser obtenidos de análisis de laboratorio o de una base de datos aprobada; adicionalmente a la etiqueta nutricional es posible agregar descriptores nutricionales como ligero, bajo en calorías o bajo en sodio.

2.4 CONTROL DE CALIDAD

Se acepta la definición de calidad como la adoptada por la American Society for Quality Control: “La totalidad de los rasgos y características de un producto o servicio que se sustenta en su habilidad para satisfacer las necesidades establecida o implícitas” (Render y Heizer, 1996).

Según Tawfik y Chauvel (1984), se entiende por control de calidad la verificación de los productos y los procedimientos de fabricación; esto se hace con el objeto de medir el grado de apego de productos y procedimientos a las especificaciones que definen la calidad requerida.

2.4.1 Especificaciones

Según Delgado (2001), éstas son las prescripciones que permiten elaborar un producto de calidad. Deben describir el trabajo en detalle y se pueden clasificar en dos grupos según la estructura organizacional de la empresa y las características del producto:

- Especificaciones de abastecimiento (materia prima, material de embalaje).
- Especificaciones operacionales (producto en curso de fabricación, producto terminado).

Las especificaciones de abastecimiento son los documentos utilizados, principalmente por el departamento de abastecimiento para negociar con los proveedores y por el departamento de aseguramiento de calidad para verificar la calidad de las compras. También son útiles al almacén para conocer las condiciones de almacenamiento, e interesan al departamento técnico para la cuidadosa utilización de los materiales y los componentes que participan en la fabricación.

Las especificaciones operacionales son los documentos utilizados sobre todo por el departamento de fabricación, por la división de aseguramiento de la calidad (para verificar la ejecución y la conformidad del producto y del procedimiento) y, en ciertos casos, por el departamento de ventas para negociar con los clientes (Juran y Gryna, 1995).

Según Delgado (2001), las especificaciones de procedimiento o de ensamble deben explicar con detalle el curso del producto y describir en cada etapa de la transformación las condiciones de producción (temperatura, presión, velocidad, etc.), así como los puntos de control que permitirán obtener un producto que cumpla con las especificaciones.

Las especificaciones del producto en curso deben indicar las características, normas, estándares y tolerancias, las referencias a los métodos de evaluación y la lista de los defectos, con su nivel aceptable en las etapas del procedimiento.

Las especificaciones del producto terminado contienen los mismos elementos, pero se refieren a la fase final de fabricación. Estas indican los análisis a los que debe someterse el producto antes de la comercialización y las pruebas sobre las muestras guardadas en el almacén, a fin de confirmar la estabilidad y la fiabilidad del producto cuando se encuentre en el mercado. Finalmente, el producto debe respetar las leyes y los reglamentos que lo rijan.

2.4.2 Característica, norma, estándar y tolerancia

Según Tawfik y Chauvel (1984), la compilación descriptiva de la especificación debe indicar, para cada característica, la norma, el estándar y la tolerancia.

La característica es el aspecto o dimensión del producto sujeto a una norma o estándar. La característica también puede clasificarse conforme a alguna propiedad (física, química, eléctrica, biológica, etc.) y el método de evaluación puede ser cuantitativo o cualitativo. La evaluación cuantitativa se hace mediante una variable medible y la evaluación cualitativa mediante un atributo no medible.

La norma es el dato de referencia resultante de una elección colectiva razonada, destinado a servir de base de interpretación para resolver problemas repetitivos. La norma está definida y protegida por un estatuto legal.

El estándar es una regla definida en el interior de una empresa para caracterizar el producto. Cuando una característica está sujeta a una norma, el estándar debe ser favorable a la norma.

La tolerancia es la variación dentro de la cual todo valor de la característica se considera acorde con la norma o estándar.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

- Instrumento FOSSNIR, SY –3650-II. Analizador Versátil de Bebidas y Alimentos compuesto por:
 1. Monocromador Sistema II, Modulo detector de reflectancia.
 2. Módulo de transporte de muestras.
 3. Paquete de Software WINISI II para el desarrollo de calibraciones SW.
 4. 1 Kit de celdas de Verificación (copas de un cuarto).
 5. Reactivos para la realización de los análisis de referencia.
- Materia prima analizada:

Queso Cabaña elaborado en la planta de lácteos de Zamorano.

3.2 METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Evaluación de Alimentos (CEA), Zamorano, Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

3.2.1 Muestreo

Según la recomendación del fabricante (FOSSNIR SYSTEMS, 2000) se recolectaron 186 muestras en total de queso Cabaña, de las cuales aproximadamente de 120 a 156 muestras se utilizaron para la calibración y 30 muestras para la validación.

La producción de queso Cabaña en la planta procesadora de productos lácteos es aproximadamente de 300 lbs por semana. Ya que el lote de producción es menor a 4,800 unidades con presentación de menos de 1 kg/unidad, se tomaron aleatoriamente 13 muestras por lote, para realizarles los análisis químicos correspondientes, siguiendo los lineamientos del plan de muestreo 2 del Codex Alimentarius (FAO/OMS; 1995). El tiempo total de muestreo fue de 14 semanas.

3.2.2 Toma del espectro NIRS de las muestras

Una vez tomadas las 13 muestras por lote, éstas fueron analizadas por el FOSSNIR SY-3650-II para archivar su espectro; seguidamente, se almacenaron a 4°C para determinar sus componentes por medio de métodos de referencia, dos días después de haberlas tomado.

3.2.3 Análisis de referencia

Cada muestra se analizó químicamente según un procedimiento específico de la AOAC (1990). Los métodos químicos de referencia que se usaron fueron:

Humedad: Por deshidratación a 105 °C hasta peso constante.

Proteína Cruda: Por Kjeldahl (N*6.38).

Grasa: Babcock modificado.

Una vez obtenida la composición química de todas las muestras, se compararon los promedios por lote para evaluar si los lotes eran estadísticamente homogéneos. Se utilizó el programa SAS® (Statistical System Analysis).

3.2.4 Calibración de las curvas

Los resultados de las muestras, evaluadas por los métodos de referencia fueron introducidos al software WINISI II para relacionarlos con el espectro leído anteriormente.

3.2.5 Validación

Se utilizaron 2 lotes de 30 muestras de queso Cabaña independientes de las usadas para la calibración. Los resultados químicos de éstas fueron comparados con las estimaciones obtenidas por las curvas NIR mediante un ANDEVA y una prueba t de diferencia de medias apareadas.

3.2.6 Diseño de un plan de control de calidad para el queso Cabaña

Para el diseño del plan de control de calidad de los componentes del queso Cabaña, se determinó la cantidad a muestrear por lote y se establecieron parámetros de aceptación y rechazo siguiendo los lineamientos del Codex Alimentarius para métodos de análisis y muestreos.

3.2.7 Elaboración de la etiqueta nutricional

Mediante la evaluación química de las muestras y su análisis estadístico se determinó la homogeneidad de los lotes. De ser así, con estos datos se puede ya elaborar la etiqueta nutricional, completando los datos faltantes según las exigencias del Codex Alimentarius (FAO/OMS, 1995).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COMPOSICIÓN DE LAS MUESTRAS

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los análisis químicos de humedad, proteína, grasa y ceniza utilizados para las curvas de calibración del queso cabaña. Se puede observar que los componentes que presentan más variabilidad entre las muestras son la proteína y la grasa, evidenciadas por su alto valor de coeficientes de variación. Además, los componentes químicos del queso cabaña presentan un amplio rango, siendo estos los límites de predicción del instrumento; cabe mencionar que las muestras representan 12 lotes de producción y esto podría explicar las variaciones en la composición química.

Cuadro 3. Estadística descriptiva de las muestras utilizadas para las curvas de calibración de los principales componentes químicos del queso cabaña.

Componentes	Número de muestras	Media aritmética	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Varianza	Rango	
						Máximo	Mínimo
Humedad	151	84.4	2.37	2.8	5.6	88.7	79.2
Proteína	138	9.36	1.85	19.8	3.43	13.39	6.22
Grasa	156	3.56	0.51	14.2	0.26	4.6	2.2

En el Cuadro 4 se presentan los resultados químicos de las muestras utilizadas para la validación. Los valores obtenidos son más homogéneos que los utilizados en la calibración, puesto que presentan coeficientes de variación mucho menores, debido posiblemente a que provienen sólo de dos lotes. Los rangos están dentro de los límites de la calibración del instrumento.

Cuadro 4. Estadística descriptiva de las muestras utilizadas para la validación de las curvas de calibración del queso cabaña.

Tipo de análisis	Número de muestras	Media aritmética	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Varianza	Rango	
						Máximo	Mínimo
Humedad	30	82.5	0.4	0.5	0.2	83.27	81.6
Proteína	30	11.3	0.6	4.9	0.3	12.1	9.6
Grasa	30	3.3	0.2	6.9	0.05	3.6	2.7

4.2 COMPARACIÓN ENTRE LOTES

Para determinar si los lotes eran homogéneos se realizó un análisis de varianza F ($\alpha=0.05$), y una separación de medias apareadas por SNK. En el Cuadro 5 se presentan los promedios de cada componente por lote, así como la separación de medias. Se puede observar que hay diferencias entre los lotes de producción para cada componente químico, por lo tanto la producción no es homogénea.

Cuadro 5. Comparación de la composición química porcentual promedio de queso Cabaña.

Lote	Humedad	Proteína	Grasa	Ceniza
1	85.2 (c)	8.7 (g)	----	----
2	84.7 (d)	----	----	----
3	84.6 (d)	8.1 (i)	3.8 (b)(c)	----
4	84.1 (e)	9.9 (e)	3.8 (b)(c)	----
5	79.5 (i)	12.7 (a)	4.2 (a)	----
6	85.4 (c)	8.4 (h)	3.5 (d)(c)	1.7(d)(c)
7	87.6 (b)	7.24 (j)	2.8 (e)(f)	1.6 (d)(e)
8	85.1 (c)	9.2 (f)	3.4 (d)	1.6 (d)(e)
9	83.0 (f)	10.8 (d)	3.9 (a)(b)	1.9 (c)
10	80.2 (h)	12.3 (b)	4.1 (a)(b)	2.5 (a)
11	84.7 (d)	9.7 (e)	3.0 (e)	1.4 (e)
12	87.9 (a)	6.46 (k)	3.8 (b)(c)	1.4 (e)
13	82.6 (g)	11.04 (d)	3.3 (d)	2.3 (b)
14	82.3 (g)	11.6 (c)	2.6 (f)	1.8 (c)

Letras diferentes en la misma columna señalan diferencias significativas entre medias ($p<0.05$).

La diferencia entre lotes probablemente se deba al tipo y calidad de materia prima que se utiliza; otros factores que pudieron influir son las condiciones de proceso como pH y temperatura. Una diferencia en pH de 0.1 representa una variación de 1% en humedad.

4.3 COMPARACIÓN DENTRO DE LOTES

Para comparar los resultados químicos de las muestras dentro de cada lote, se determinó coeficiente de variación de los promedios de humedad, proteína y grasa en cada muestreo semanal (Cuadro 6).

La humedad presenta coeficientes de variación bien bajos, menores a 1%; indicando que dentro de cada lote no hay diferencia entre las muestras. Para proteína, los coeficientes de

variación están en su mayoría por debajo del 5%; por lo que no representan un problema aparente. Sin embargo, los coeficientes de variación para grasa son en su mayoría mayores a 8%, por lo tanto hay desuniformidad en la composición química de las muestras dentro de los lotes semanales.

Cuadro 6. Coeficientes de variación para la composición química del queso cabaña dentro de cada lote.

Lote	Coeficientes de variación (%)		
	Humedad	Proteína	Grasa
1	0.64	2.05	0.00
2	0.22	0.00	0.00
3	0.28	8.89	8.22
4	0.21	4.85	8.58
5	0.29	2.93	3.80
6	0.19	2.69	12.20
7	0.28	2.16	11.37
8	0.49	3.48	14.07
9	0.65	2.00	10.58
10	0.18	2.13	10.02
11	0.51	5.44	4.61
12	0.33	2.94	4.58
13	0.50	3.44	8.47
14	0.41	5.28	4.29

Los altos coeficientes de variación en la grasa, pudieron deberse a la inadecuada homogenización de la crema en la cuajada durante el proceso.

4.4 RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

En la Figura 4 se muestran los espectros obtenidos para la calibración de los componentes del queso cabaña, usando todas las muestras. Se puede observar que los espectros de los componentes presentan algunas variaciones en la reflectancia obtenida por las diferentes longitudes de onda. En el eje horizontal, para las longitudes de onda de 1,450 nm (humedad), 1,779 nm (grasa), 2,000 nm (humedad) y 2,149 (proteína) se observan curvas diferentes que se distinguen como dos grupos de muestras; así se puede corroborar la desuniformidad de las muestras en la población tomada en este estudio. A pesar de esto, se obtuvieron resultados muy buenos en la calibración y validación.

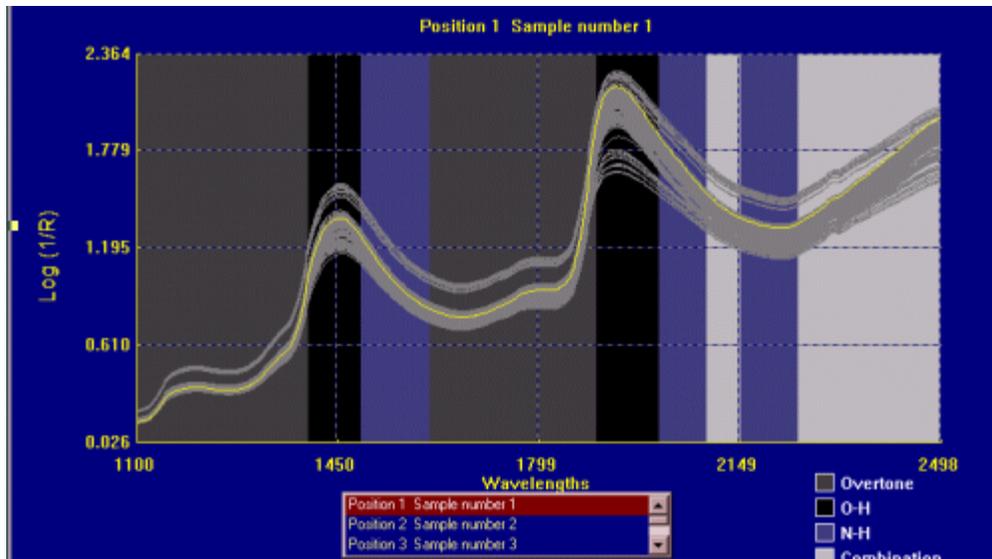


Figura 4. Espectros NIRS del total de muestras de queso cabaña utilizados para la calibración.

Los valores obtenidos del análisis químico y los estimados por el NIRS presentan una relación lineal. Con la que se calcula un coeficiente de regresión (R^2) que determina el ajuste de las muestras al modelo para cada componente. En la Figura 5 se puede ver el diagrama de dispersión de los datos correspondientes a proteína, en donde los lotes se agrupan muy cerca de la línea de la ecuación de regresión lineal. Este mismo comportamiento se observó para grasa y humedad.

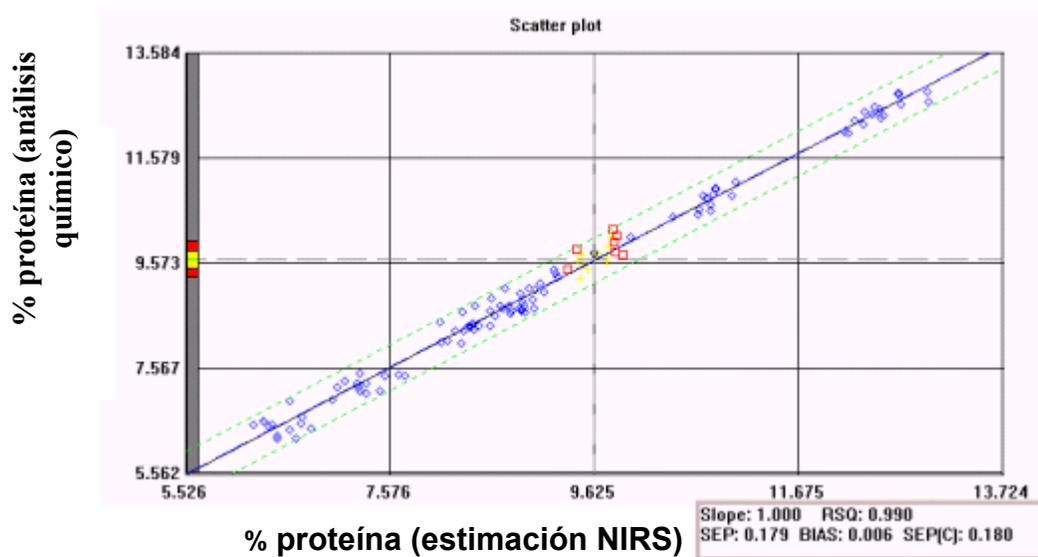


Figura 5. Diagrama de dispersión de los contenidos de proteína (%). Datos reales versus estimados.

Se obtuvo una curva de calibración para cada componente químico del queso cabaña y los coeficientes de regresión obtenidos fueron de casi 0.99. El error estándar de calibración (SEC) en cada componente es bajo, indicando que las variaciones entre los valores de laboratorio y los estimados son pequeñas. El valor SEC es utilizado para comparar diferentes calibraciones de los mismos datos, mientras que el error estándar de predicción (SEP) indica el potencial de la calibración. Estos dos valores no deben de tener mucha diferencia como se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis estadístico para el desarrollo de las curvas de calibración

Componente	Parámetros estadísticos					
	n	Media	SD	SEC	R ²	SEP
Humedad	139	84.4	2.3	0.2282	0.991	0.225
Proteína	116	9.3	1.8	0.1806	0.990	0.179
Grasa	102	3.4	0.6	0.0750	0.984	0.078
Ceniza	88	1.8	0.3	0.0428	0.985	0.038

n = Número de muestras

SD = Desviación estándar

SEC = Error estándar de calibración

R² = Coeficiente de regresión

SEP = Error estándar de predicción interno

4.5 RESULTADOS DE VALIDACIÓN

La validación se realizó con dos lotes de 15 muestras cada uno, de una población distinta a la de la calibración. Los coeficientes de regresión obtenidos en la validación de las curvas para humedad, proteína y grasa fueron de 0.98, 0.96 y 0.96, respectivamente (Cuadro 8). Los errores estándares de validación (EEV), que es el error que existe entre los análisis reales versus los estimados (NIRS), para los componentes son bien bajos, por lo que se concluye que las curvas pueden utilizarse para la predicción química de los componentes de nuevas muestras.

El Cuadro 8. Análisis estadístico de la validación externa de las curvas de calibración del queso cabaña.

Componente	Parámetros estadísticos				
	n	Media	SD	EEV	R ²
Humedad	30	82.5	0.4	0.11	0.98
Proteína	30	11.3	0.6	0.11	0.96
Grasa	30	3.3	0.2	0.05	0.96

n = Número de muestras. SD = Desviación estándar. EEV = Error estándar de validación. R² = coeficiente de regresión.

El Cuadro 9 resume los resultados de la prueba de diferencias de medias apareadas ($\alpha = 0.01$) para los componentes del queso. Debido a que las probabilidades son mayores a 0.01, se concluye que no hay diferencia significativa entre el valor real y el estimado para humedad, proteína y grasa. Por lo tanto, las curvas de calibración para el contenido de estos componentes en el queso cabaña son válidas.

Cuadro 9. Prueba t de diferencia de medias apareadas para los valores reales y estimados de humedad, proteína y grasa en queso cabaña.

Componente	n	Media	SD	Valor t	Probabilidad
Humedad	30	0.073	0.275	1.46	> 0.1554
Proteína	30	0.062	0.467	0.72	> 0.4801
Grasa	30	0.023	0.063	2.04	>0.0540

4.6 ETIQUETA NUTRICIONAL

Debido a que los lotes no son homogéneos (Cuadro 5), no se puede elaborar la etiqueta nutricional con los datos de este estudio, puesto que el valor promedio para cada componente no sería representativo de la producción de cada lote.

4.7 PLAN DE CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

En el plan de control de calidad se deben definir la característica, norma, estándar y tolerancia que debe monitorearse mediante una carta de control, que es una representación gráfica de la calidad de un producto o proceso de fabricación (Tawfik y Chauvel, 1984). En el Cuadro 10 se muestran las características, normas, estándares y tolerancias de los diferentes componentes en el queso cabaña; tomando en cuenta estas consideraciones se debe elaborar una carta de control por lote muestreado, tal como se muestra en el anexo 1.

Cuadro 10. Características, normas estándares y tolerancias de los principales componentes del queso cabaña.

Característica	Norma	Estándar	Tolerancia
Humedad	80% máximo	79 % \pm 1%	2%
Grasa	4 % mínimo	4.6 % \pm 0.6%	1.2%
Proteína	No hay	No hay	No hay

Fuente: Code of Federal Regulations (2001).

Según el Codex Alimentarius (FAO/OMS; 1995), el objetivo del plan de muestreo es de aceptar el máximo número de lotes buenos y rechazar el máximo número de lotes malos. Por lo tanto, se han establecido dos niveles de inspección; el nivel 1 para muestreo normal y el nivel de inspección 2 para situaciones de controversia, que requieren una mejor estimación del lote.

El queso cabaña debe seguir las especificaciones del plan de muestreo 2 para situaciones de controversia que requieren una mejor estimación del lote, debido a que se comprobó que estadísticamente los lotes no son homogéneos (Cuadro 5). En el Anexo 2 se presentan las tablas de los diferentes planes de muestreo aceptados por el Codex Alimentarius.

De acuerdo al nivel de inspección 2, se muestrean 13 unidades por lote de queso cabaña debido a que se producen menos de 4,800 unidades, de menos de 1 kg de peso neto. Si dentro de las 13 unidades muestreadas por lote hay más de dos defectuosas, el lote es insatisfactorio. Una vez que se haya demostrado que los lotes son homogéneos se puede utilizar el nivel de inspección 1 para muestreo normal; según el cual, para este producto y nivel de producción, se muestrean 6 unidades por lote y si se encuentra más de una muestra defectuosa, el lote es insatisfactorio. Este tipo de muestreo incurriría en menos costo que el anterior.

5. CONCLUSIONES

1. Las curvas de calibración NIR para humedad, proteína y grasa pueden estimar los valores reales con un 99% de confianza en queso cabaña.
2. Los lotes no son homogéneos en el contenido de humedad, proteína, grasa; por lo tanto, no es posible elaborar una etiqueta nutricional para el queso cabaña con estos datos.
3. La composición promedio del queso cabaña producido en Zamorano para humedad, proteína y grasa es 84.4, 9.36, 3.56%, respectivamente.
4. La composición del queso cabaña no cumple con las normas internacionales establecidas por el Código de Regulaciones Federales de Estados Unidos.

6. RECOMENDACIONES

1. Estandarizar el proceso de elaboración de queso cabaña para lograr que la producción sea homogénea.
2. Elaborar una etiqueta nutricional del queso cabaña una vez que se haya asegurado que la producción es homogénea.
3. Una vez estandarizado el proceso se debe implantar el control de calidad del producto terminado con las curvas de calibración NIRS.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bauer, H.H.; Christian, G. D. 1978. Instrumental Analysis. Boston, EE.UU. Allyn and Bacon, Inc. 832p.

Bender, E.A. 2000. Diccionario de nutrición y tecnología de los alimentos. Trad. Bernabé Sanz Pérez. sexta ed. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A. 341p.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15 ed. AOAC, Arlington, VA.

Code of Federal Regulations (CFR). 2001. Product definition. Disponible en: <http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/multidb.cgi>

Criado, G.B.; Ciudad, G. A. 1994. Applications of NIRS technology for the evaluation of agricultural products. Córdoba, España. *s.n.t.* 20p.

Davies, A.M.C.; Grant, A. 1987. Review: Near infra-red Analysis of Food. International Journal of Food Science and Technology. (EE.UU.). No. 22:191-207.

Delgado, H.C.; 2001. Desarrollo de una cultura de calidad. Control de calidad. 2 ed. México D.F. McGRAW-HILL. 382p.

FAO. 1985. Manual de elaboración de quesos. Santiago, Chile. *s.n.t. p.irr.*

FAO/OMS. 1995. CODEX ALIMENTARIUS. Técnicas de Muestreo. *s.I. s.n.t.* 146p.

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

Fritz, J.; Schenk, G. 1968. Quantitative Analytical Chemistry. Boston, EE.UU. Allyn and Bacon, Inc. 516p.

Jones, J. M. 1998. Food Safety. The Nutrition Label. 2 ed. Minnesota, EE.UU. Eagan press. 453p.

Juran, J.M.; Gryna, F.M. 1995. Análisis y planeación de la calidad. Control de calidad. Trad. Marcela Gonzáles de Osuna. 3 ed. México D.F. McGRAW-HILL. 633p.

Otero, J.L.; Hermida, M.; Cepeda, A. 1997. Determination of Fat, Protein, and Total Solids in Cheese by Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of AOAC International*. (EE. UU.). 78(4): 802-806.

Revilla, A. 1995. *Tecnología de la leche*. 2da. Edición revisada, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras, C.A. 396 p.

Revilla, A. 2000. *Tecnología de la leche*. 3ra. Ed. rev. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, Centroamérica. 396 p.

Render, B.; Heizer, J. 1996. *Principios de administración de operaciones; Control de calidad*. Trad. Juan Purón Mier y Terán. México D.F. Pearson Education. 624p.

Shenk, J.S.; Westerhaus, M. O. 1993. *Analysis of Agriculture and Food Products by Near Infrared Reflectance Spectroscopy*. Monograph. EE.UU., Lehmann., Infracsoft International. 112p.

Stewart, K; Whitaker, J. 1983. *Modern methods of food analysis*. Chicago. IFT. 421 P.

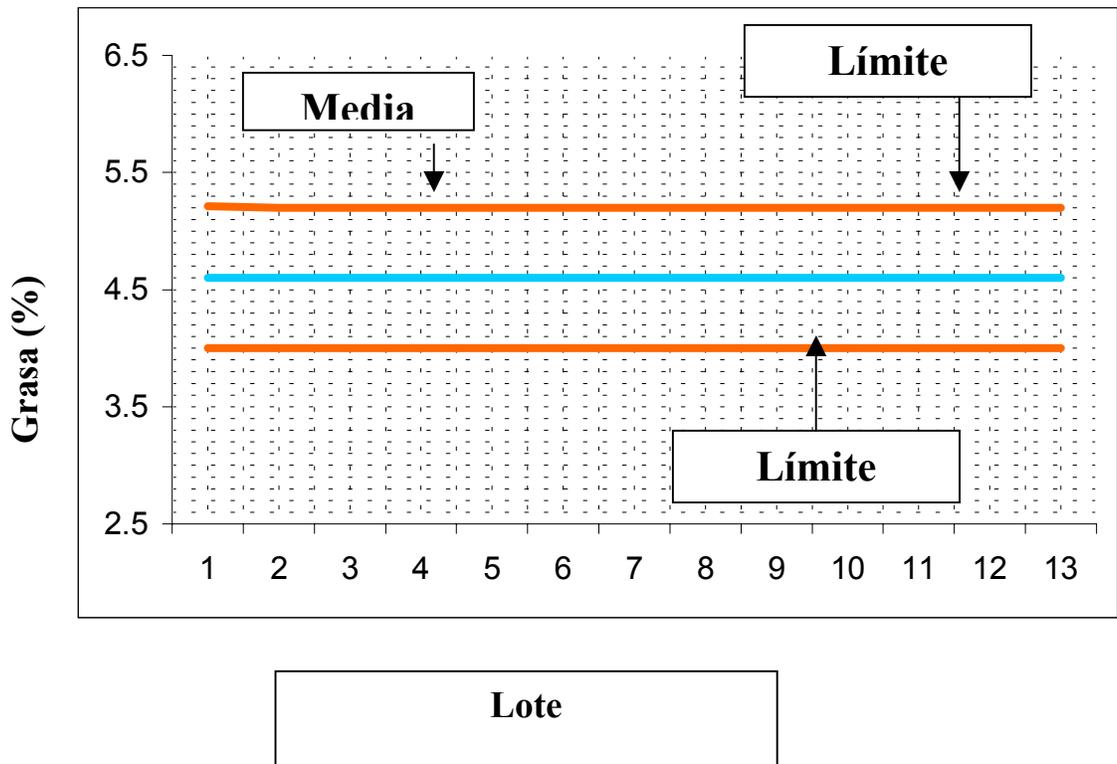
Tawfik, L.; Chauvel, A.M. 1984. *Administración de la producción. Control de calidad*. Trad. Jaime Gómez Mont Araiza. México D.F. Interamericana. 404p.

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

8. ANEXOS

Anexo 1. Ejemplo de una carta de control reducida, para el monitoreo de los componentes químicos del queso cabaña.

Componente: Grasa



Anexo 2. Planes de muestreos establecidos por el Codex Alimentarius.

PLAN DE MUESTREO 1

(Nivel de inspección I, NCA = 6,5)
Para muestreo normal

PESO NETO IGUAL O INFERIOR A 1 KG (2,2 LB)

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra (n)	Número de aceptación (c)
4,800 0 menos	6	1
4,801 – 24,000	13	2
24,001 – 48,000	21	3
48,001 – 84,000	29	4
84,001 – 144,000	48	6
144,001 – 240,000	84	9
Más de 240,000	126	13

PESO NETO MAYOR DE 1 KG (2,2 LB), PERO NO MAYOR DE 4,5 KG (10 LB)

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra (n)	Número de aceptación (c)
2,400 o menos	6	1
2,401 – 15,000	13	2
15,001 – 24,000	21	3
24,001 – 42,000	29	4
42,001 – 72,000	48	6
72,001 – 120,000	84	9
Más de 120,000	126	13

PESO NETO MAYOR DE 4,5 KG (10 LB)

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra (n)	Número de aceptación (c)
600 o menos	6	1
601 – 2,000	13	2
2,001 – 7,200	21	3
7,201 – 15,000	29	4
15,001 – 24,000	48	6
24,001 – 42,000	84	9
Más de 42,000	126	13

PLAN DE MUESTREO 2

(Nivel de inspección I, NCA = 6,5)

Para situaciones de controversia que requieren una mejor estimación del lote

PESO NETO IGUAL O INFERIOR A 1 KG (2,2 LB)

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra (n)	Número de aceptación (c)
4,800 o menos	13	2
4,801 – 24,000	21	3
24,001 – 48,000	29	4
48,001 – 84,000	48	6
84,001 – 144,000	84	9
144,001 – 240,000	126	13
Más de 240,000	200	19

PESO NETO MAYOR DE 1 KG (2,2 LB), PERO NO MAYOR DE 4,5 KG (10 LB)

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra (n)	Número de aceptación (c)
2,400 o menos	13	2
2,401 – 15,000	21	3
15,001 – 24,000	29	4
24,001 – 42,000	48	6
42,001 – 72,000	84	9
72,001 – 120,000	126	13
Más de 120,000	200	19

PESO NETO MAYOR DE 4,5 KG (10 LB)

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra (n)	Número de aceptación (c)
600 o menos	13	2
601 – 2,000	21	3
2,001 – 7,200	29	4
7,201 – 15,000	48	6
15,001 – 24,000	84	9
24,001 – 42,000	126	13
Más de 42,000	200	19