

# **Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para café oro de Honduras**

Herbert Ariel Meléndez Márquez

**Honduras**  
Diciembre, 2006

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

# **Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para café oro de Honduras**

Proyecto de graduación presentado como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero en Agroindustria  
en el grado académico de licenciatura.

presentado por:

**Herbert Ariel Meléndez Márquez**

**Honduras**  
Diciembre, 2006

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.

---

Herbert Ariel Meléndez Márquez

**Honduras**  
Diciembre, 2006

**Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para café  
oro en Honduras**

Presentado por:

Herbert Ariel Meléndez Márquez

Aprobado:

---

Francisco Javier Bueso, Ph.D.  
Asesor Principal

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Director  
Carrera Agroindustria

---

Rodolfo Cojulún, Ing. M. Sc.  
Asesor

---

George Pilz, Ph.D.  
Decano académico.

---

Kenneth Hoadley, D.B.A.  
Rector

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Ariel Meléndez y Migdalia Márquez por su ejemplo y apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanas Ma. Gabriela y Nancy por su cariño y consejos brindados a lo largo de mi vida.

A mi abuela Nelly Búcaro por estar presente en todos mis logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todopoderoso por iluminarme y darme la oportunidad de alcanzar todo lo que me he propuesto en mi vida.

A mi familia por su paciencia y apoyo en la realización de mis estudios.

Al Dr. Francisco Javier Bueso por compartir sus conocimientos.

A mi compañero Miguel Jordán por su amistad y paciencia durante mis cuatro años en Zamorano.

A mis compañeros Andrés, Pablo, Carlos y Rodrigo por hacer más placentera los dos años de estudio de la carrera.

A los Ing. Víctor Taleón y Luis Sandoval por sus consejos técnicos y morales en la realización de este proyecto.

A Mabel, Christian y Washington por su amistad y ayuda en mi último año.

A todos los que contribuyeron directa o indirectamente en la elaboración de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES**

A la Fundación Nippon Ryoichi Sasakawa/ Norman Borlaug.

## RESUMEN

Meléndez, H. 2006. Establecimiento y validación de curvas de calibración NIRS para café oro de Honduras. Proyecto Especial de Programa de Ingeniería Agroindustrial. Zamorano, Honduras. 35 p.

Parte del control de calidad de los productos agroalimentarios está basado en su caracterización bioquímica. En el caso del café la composición química está fuertemente relacionada con las regiones productoras y las condiciones ecológicas. La espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano es utilizada actualmente para medir compuestos bioquímicos en productos alimenticios y materias primas. El objetivo del estudio fue calibrar y validar curvas de medición para materia seca y ceniza en café oro. Se analizaron 125 muestras de café oro proporcionadas por el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) de las áreas productoras de café en Honduras, por métodos convencionales de laboratorio y NIRS para el desarrollo de las curvas de calibración. Se utilizó el método de regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS) con el cual se obtuvo un coeficiente de determinación en calibración ( $R^2_{cal}$ ) y error estándar de la validación cruzada (SECV), para materia seca de 0.938 (SECV: 0.28%) y para cenizas, 0.825 (SECV: 0.13%). Para la validación se utilizaron 25 muestras ajenas a la calibración en las cuales se compararon sus valores de referencia con los de predicción. Mediante el uso de una prueba t de muestras apareadas, no se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los valores de métodos de referencia y los valores de predicción NIRS. Los resultados demostraron que las curvas de predicción para materia seca y ceniza son confiables. El estudio sienta las bases para posteriores análisis de calibración de NIRS en la medición de otros compuestos bioquímicos en café oro capaces de caracterizar el café de Honduras.

**Palabras clave:** Cenizas, denominación de origen, espectroscopía de reflectancia del infrarrojo cercano, materia seca, método de cuadrados mínimos parciales.

## CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Contenido.....	viii
	Índice de cuadros.....	x
	Índice de figuras.....	xii
	Índice de anexos.....	xiii
1	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	1
2	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	2
2.1	CAFÉ.....	2
2.1.1	Denominaciones de origen en café.....	2
2.1.2	Composición química del café.....	3
2.2	ESPECTROSCOPIA DEL INFRARROJO CERCANO.....	3
2.2.1	Teoría de absorción de energía en el infrarrojo cercano.....	4
2.2.2	Desarrollo de una curva de calibración NIRS.....	4
2.3	USO DE NIRS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CAFÉ ORO.....	5
3	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	7
3.1	LOCALIZACIÓN.....	7
3.2	MATERIALES.....	7
3.2.1	Materiales análisis de referencia.....	7
3.2.2	Equipo análisis de referencia.....	7
3.2.3	Materiales análisis NIRS.....	7
3.2.4	Equipo análisis NIRS.....	7
3.2.5	Materia prima.....	8
3.3	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	8
3.4	ANÁLISIS.....	8
3.4.1	Análisis físicos.....	8
3.4.2	Análisis químicos.....	9
3.5	RECOLECCIÓN DE ESPECTROS DE NIRS.....	9
3.6	CALIBRACIÓN.....	9

3.7	CÁLCULO DE LA ECUACIÓN NIRS.....	10
3.8	VALIDACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS.....	11
4	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	12
4.1	ANÁLISIS FÍSICOS.....	12
4.1.1	Color.....	12
4.1.2	Granulometría.....	12
4.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS.....	13
4.3	CALIBRACIÓN DE LA CURVA.....	14
4.4	ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y TRATAMIENTOS MATEMÁTICOS.....	15
4.5	VALIDACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN.....	19
5	<b>CONCLUSIONES</b> .....	21
6	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	22
7	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	23
8	<b>ANEXOS</b> .....	25

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1	Composición bioquímica de café verde tipo Arábica y Robusta.....	3
2	Estadísticas de café <i>arabica</i> y café <i>robusta</i> usadas para la calibración de curvas NIRS.....	5
3	Composición química típica para café oro.....	6
4	Análisis físicos a los que fueron sometidas las muestras.....	8
5	Métodos de referencia utilizados para componentes de café oro.....	9
6	Tratamientos matemáticos utilizados con MPLS, PC y PLS.....	10
7	Estadística descriptiva del color de las muestras evaluadas.....	12
8	Estadística descriptiva de la granulometría de 10 muestras evaluadas.....	13
9	Estadística descriptiva de la composición química de las muestras de café oro usadas para la calibración por los métodos de referencia.....	13
10	Estadística descriptiva de valores de predicción NIRS para las muestras de café oro usadas para la calibración.....	14
11	Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS).....	15
12	Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS).....	16
13	Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión por componentes principales (PCR).....	16
14	Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS) sin datos fuera de tipo.....	17

15	Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS) sin datos fuera de tipo.....	18
16	Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método por componentes principales (PCR) sin datos fuera de tipo.....	18
17	Estadística descriptiva de las muestras usadas para calibración bajo el tratamiento matemático 1,4,4,1 del método de regresión de cuadrados mínimos parciales.....	19
18	Estadística descriptiva de las muestras usadas para la validación de la curva.....	20
19	Prueba t apareada de los valores obtenidos por los métodos de referencia y los predichos por NIRS de las muestras de café oro.....	20

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura

1	Espectros NIRS de las 125 muestras de café oro utilizadas para la calibración. ....	14
---	---	----

**INDICE DE ANEXOS**

## Anexo

1.	Muestras utilizadas para la calibración de la curva NIRS con los datos de referencia de laboratorio (DRL) para materia seca y ceniza.....	26
2.	Muestras utilizadas para la validación de la curva NIRS con los datos de referencia de laboratorio (DRL) para materia seca y cenizas.....	32
3	Diagrama de dispersión para los valores obtenidos de materia seca en café oro.....	33
4	Diagrama de dispersión para los valores obtenidos de cenizas en café oro. ....	34
5	Muestras consideradas fuera de tipo en la calibración ceniza (Valor $t > \pm 2.5$ y Valor $H > 10.0$ ).....	35
6	Comparación de los datos de validación medidos por los métodos de referencia y por NIRS para materia seca y cenizas.....	37

## 1. INTRODUCCIÓN

La composición química de materias primas y en productos alimenticios, muchas veces determina su calidad. La técnica NIRS o Espectroscopía de Infrarrojo Cercano es un método de análisis rápido, no destructivo ni contaminante, que permite la medición cualitativa y cuantitativa de un constituyente químico. La técnica NIR mide la cantidad de luz absorbida por un producto en el rango del infrarrojo cercano (800nm – 2,500nm).

El café es la segunda materia prima en importancia en el mercado internacional, por lo que una alta calidad es demandada para este producto. Para asegurar la calidad del café tanto para los consumidores como para los productores existe la necesidad de establecer métodos analíticos, rápidos, objetivos y sensitivos. La tecnología NIRS es una técnica que cumple con esas necesidades para evaluar la calidad en el café.

En el año 2004 el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD, por sus siglas en francés), desarrolló un método rápido para comprobar la autenticidad y la calidad de varios productos, basadas en la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). El análisis utiliza muestras de origen y de composición conocidos. El CIRAD cuenta con una base de datos de más de 4,000 espectros con la que es capaz de determinar el contenido de los seis mayores compuestos bioquímicos en café oro (materia seca, cafeína, trigonelina, grasa, sacarosa y ácido clorogénico) sin la utilización de análisis químicos tradicionales. Una segunda base de datos sirve para identificar los porcentajes del *arabica* y *robusta* en el café tostado y molido en mezcla. Los estudios de la corriente en el café sugieren que sea posible utilizar la herramienta para establecer claramente el origen geográfico de materias en el futuro cercano.

Honduras cuenta con regiones donde se produce café de excelente calidad, especialmente en la zona fronteriza con El Salvador, en los departamentos de Ocotepeque, Lempira, Intibucá y La Paz, de donde el aromático de Marcala tiene reconocimiento a nivel internacional. Cada café varía en su composición bioquímica dependiendo de la región debido a sus condiciones agro-climáticas y edáficas. Haciendo una relación entre región y composición bioquímica se puede determinar la procedencia y por ende la calidad del café.

El objetivo principal del siguiente estudio fue sentar las bases para la calibración de curvas de predicción NIRS para café oro de Honduras. En este caso se realizó la calibración y la validación de las curvas para la medición de materia seca y ceniza. Se utilizaron muestras de café oro, proporcionadas por el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), de las áreas productoras de café en Honduras.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CAFÉ

El café es la bebida más popular en el mundo después del agua con un consumo anual de casi 400 billones de tazas. Por lo menos 66 especies del género *Coffea L.* han sido identificados hasta ahora. Dos variedades son las económicas y comercialmente importantes: *C. arabica L.* (café *arabica*) y *C. canephora* var. *robusta* (café *robusta*) (Feria-Morales 2002).

Según Feria-Morales (2002), comercialmente hablando, aproximadamente 70% del café comercializado es *arabica* y el 30% *robusta*. El café es comprado ya sea en el país de origen, en mercados especializados en países importadores o en los mercados de Nueva York y Londres.

En Honduras el café es el principal rubro de exportación después del banano y una de las actividades agrícolas de mayor importancia, tanto así que se lleva a cabo en 15 de los 18 departamentos del país. Debido a su geografía montañosa, Honduras es un lugar ideal para la producción de café de alta calidad, de sabor suave y rico aroma (CIAT 1997).

Según el IHCAFE (2001), el café en el ámbito económico, hasta el año 2000 ocupaba el primer lugar en la generación de divisas con un aporte de 26%. Esto se debió al impacto severo de la crisis de bajos precios del café en el mercado internacional. Luego de la crisis el café pasó a ocupar el segundo lugar con una participación del 12%.

#### 2.1.1 Denominaciones de origen en café

De acuerdo a Avelino (2005), una de las soluciones planteadas a la crisis cafetalera en el Taller Regional: “La crisis cafetalera y su impacto en Centroamérica” fue la de crear diferenciaciones de café desarrollando y promoviendo denominaciones de origen e indicaciones geográficas.

Cabe mencionar que utilizando una denominación de origen protegida (DOP) o una indicación de geográfica protegida (IGP) permiten dar al producto una diferenciación en el mercado. Esta diferenciación se traduce en mejor precio de venta e incremento en ingresos.

Las IGP y DOP son términos aplicables a productos que guardan una relación entre calidad y lugar de producción o fabricación. De igual manera que el vino, el café es una bebida de sabores y compuestos complejos. Sus características organolépticas y bioquímicas están relacionadas con el lugar de producción (Avelino y colaboradores 2002).

## 2.1.2 Composición química del café

La composición bioquímica del café verde o grano oro (*arabica* y *robusta*) es mostrada en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Composición bioquímica de café verde tipo *arabica* y *robusta*.**

<b>Composición</b>	<b><i>arabica</i> % MS*</b>	<b><i>robusta</i> % MS*</b>
Kahweol	0.7 – 1.1	NA
Cafeína	0.6 – 1.5	2.2 – 2.7
Ácido clorogénico	6.2 – 7.9	7.4 – 11.2
Sacarosa y azúcares reductores	5.3 – 9.3	3.7 – 7.1
Aminoácidos libres	0.4 – 2.4	0.8 – 0.9
Strecker-activo	0.1 – 0.5	0.2 – 0.3
Araban	9.0 – 13.0	6.0 – 8.0
Reserva de Manano	25.0 – 30.0	19.0 – 22.0
Reserva de Galactano	4.0 – 6.0	10.0 – 14.0
Otros polisacáridos	8.0 – 10.0	8.0 – 10.0
Triglicéridos	10.0 – 14.0	8.0 – 10.0
Proteínas	12	12
Trigonelina	1	1
Otros lípidos	2	2
Otros ácidos	2	2
Cenizas	4	4
<b>Total*</b>	<b>90.0 – 114.0</b>	<b>86.0 – 107.0</b>

\* Porcentaje en base seca para ciertos tipos de café.

Fuente: Wintgens, 2004

## 2.2 ESPECTROSCOPIA DEL INFRARROJO CERCANO

Según Davies y Grant (1987), el infrarrojo cercano se le denomina a la longitud de onda dentro del espectro electromagnético que abarca entre los 750 a 2,500 nm.

La espectroscopía de infrarrojo cercano es la técnica por la cual las radiaciones de longitud de onda NIR se proyectan hacia la muestra haciendo que la composición orgánica de la muestra responda a esa energía NIR de manera específica. La diferencia entre energía incidente y reflejada a cada longitud de onda es captada por un detector apropiado que da el resultado en forma de espectro. Recopilando las medidas de los espectros, las muestras pueden ser matemáticamente analizadas y determinados sus componentes basándose en la correlación con las medidas reales, obtenidas mediante las técnicas tradicionales de laboratorio (Oatway y Helm 1999).

El principio del NIRS es la iluminación de la muestra con luz de frecuencia específica y conocida en la región de infrarrojo cercano. Cada tipo de enlace de las moléculas refleja una longitud de onda, lo cual permite conocer la composición química de la muestra por medio del número y tipo de enlaces que la componen (Kempen 1996)

De acuerdo a Wehling (1998), la reflectancia puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$R = I / I_o$$

Donde:

R = Reflectancia.

I = Intensidad de la radiación reflejada de la muestra a longitud de onda dada.

I<sub>o</sub> = Intensidad de radiación reflejada de la referencia a la misma longitud de onda

### **2.2.1 Teoría de absorción de energía en el infrarrojo cercano**

Los enlaces orgánicos específicos como por ejemplo C-H, N-H y O-H absorben la energía NIR a lo largo de las bandas de longitudes de onda específicas. Estos enlaces pertenecen a los principales compuestos en alimentos como es el caso de carbohidratos, grasas y proteínas. La concentración de un tipo de enlace es proporcional, en una forma aproximadamente lineal, a la altura del pico de una longitud de onda determinada (Cozzolino 2001).

La absorción de la banda o absorción molecular en la región NIR es provocada por la vibración de los átomos de las moléculas (Shenk y Westerhaus 1993).

Según Shenk y Westerhaus (1993), para analizar componentes en alimentos por espectroscopía infrarroja los instrumentos comerciales usan la técnica de reflectancia difusa.

Cuando la radiación interactúa con las partículas de la muestra, los componentes bioquímicos absorben cierta cantidad de la radiación. La radiación de reflectancia difusa ofrece información de los constituyentes bioquímicos de la muestra (Wehling 1998).

### **2.2.2 Desarrollo de una curva de calibración NIRS**

Al desarrollar una calibración, se relaciona la información espectral con la información de referencia (composición química), definiendo entre otras cosas, el tratamiento matemático de los datos, el segmento del espectro a incluir y el método de regresión a emplear.

### 2.3 Uso de NIRS para la caracterización de Café oro.

De acuerdo con Davrieux (2004), La composición bioquímica del café oro puede ser usada para caracterizar calidad. Ciertos constituyentes bioquímicos como trigonelina, sacarosa y ácido clorogénico son precursores de sabor. Otros constituyentes como la cafeína dan el sabor amargo al café tostado y la grasa ayuda a fijar los sabores complejos durante el tostado. Además si se conoce el contenido de agua es posible caracterizar el café oro para su preparación y condiciones de almacenaje.

La técnica NIRS ha sido empleada para determinar los seis mayores componentes bioquímicos; estos compuestos son materia seca, cafeína, trigonelina, grasa, sacarosa y ácido clorogénico. Para la determinación de estos compuestos fue necesaria la calibración de una curva. El Cuadro 2 muestra los estadígrafos de muestras de café Arábica y café Robusta utilizadas en la calibración de una curva NIRS.

**Cuadro 2. Estadísticas de café *arabica* y café *robusta* usadas para la calibración de curvas NIRS.**

<i>Arabica</i>	Constituyente	N	M	Desv. Est.	R <sup>2</sup>
	<b>Materia seca</b>	<b>456</b>	89.69	1.67	0.99
	<b>Cafeína</b>	<b>361</b>	1.25	0.16	0.88
	<b>Trigonelina</b>	<b>323</b>	0.99	0.09	0.82
	<b>Grasa</b>	<b>177</b>	14.31	1.71	0.93
	<b>Sacarosa</b>	<b>331</b>	7.39	0.94	0.79
	<b>Ácido clorogénico</b>	<b>267</b>	7.64	0.80	0.81

<i>Robusta</i>	Constituyente	N	M	Desv. Est.	R <sup>2</sup>
	<b>Materia seca</b>	<b>259</b>	92.43	2.37	0.99
	<b>Cafeína</b>	<b>330</b>	2.56	0.43	0.96
	<b>Trigonelina</b>	<b>200</b>	0.79	0.09	0.62
	<b>Grasa</b>	<b>43</b>	10.32	1.18	0.78
	<b>Sacarosa</b>	<b>108</b>	4.87	0.89	0.85
	<b>Ácido clorogénico</b>	<b>169</b>	11.69	1.12	0.85

N. número de muestras para calibrar; M: media; Des. Est: desviación estándar; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación múltiple. El método de regresión utilizado fue el de cuadrados mínimos parciales (PLS).

Fuente: CIRAD, 2004

Para representar la variabilidad substancial entre las especies *Coffea* se recopilaron mas de 4,000 espectros (3,520 de *arabica* y 571 de *robusta*) de diferentes orígenes geográficos, adquiridos por reflectancia difusa (Davrieux 2004).

Según Vaast (2004), la composición bioquímica que se puede medir con NIRS está fuertemente relacionada con las regiones productoras y las condiciones ecológicas del cultivo como la altura. La trigonelina y los ácidos clorogénicos aumentan a medida que la altitud disminuye. Por el contrario la concentración de sacarosa en el café oro aumenta a

medida que la altura aumenta. La cafeína no guarda ninguna relación con la altitud. El Cuadro 3 muestra la composición química típica para cenizas y materia seca en café oro.

**Cuadro 3. Composición química típica para café oro.**

<b>Constituyente</b>	<b>%, BH*</b>
Materia Seca	88 – 92
Ceniza	3.78 - 3.96

\* Porcentaje en base húmeda.

Fuente: Viani e Illy 2005.

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 LOCALIZACIÓN**

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAA) de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

### **3.2 MATERIALES**

#### **3.2.1 Materiales análisis de referencia**

- Bolsas Ziploc.

#### **3.2.2 Equipo análisis de referencia**

- Balanza Metler AE 200.
- Molino de martillo tipo Thomas-wiley modelo 4 con criba de 1 mm.
- Horno al vacío Napco<sup>®</sup> Modelo 5831.
- Incinerador Sybron/Termolyne
- Desecador Boekel.

#### **3.2.3 Materiales análisis NIRS**

- Paquete de Software de calibración WINISI II<sup>®</sup>. V 1.5
- Módulo detector de reflectancia.
- Módulo de transporte de celdas.
- Paquete Software estadístico SAS<sup>®</sup>. V 9.1.

#### **3.2.4 Equipo análisis NIRS**

- FOSS NIR SY-3650 II, Modelo 5000. Analizador versátil de alimentos y bebidas.

- Monocromador Sistema II.

### 3.2.5 Materia prima

Se utilizaron un total de 125 muestras de café oro de diferente calidad recolectadas de las principales regiones productoras de café en Honduras, a través del Instituto Hondureño del Café (IHCAFE). En el Anexo 1 se indican las muestras de café, utilizadas para la calibración y validación, con sus respectivas ponderaciones en cuanto a calidad.

## 3.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Luego de recibidas las muestras de café oro en el Laboratorio de Análisis de Alimentos, Zamorano, (LAAZ) se procedió a la molienda con un molino de martillo tipo Thomas-Wiley modelo 4 con una criba de 1 mm de diámetro. La cantidad molida fue de 80 g de muestra. Cada muestra fue molida durante 25 minutos. Luego de cada molienda el molino fue estrictamente limpiado. Las muestras molidas fueron almacenadas en bolsas plásticas (Ziploc).

## 3.4 ANÁLISIS

### 3.4.1 Análisis físicos

Se realizaron análisis físicos únicamente con la finalidad de poder caracterizar el producto. La información obtenida no es necesaria para la calibración del NIRS. Los análisis físicos realizados fueron color, antes de la molienda, y granulometría, posterior a la molienda (Cuadro 4).

Es probablemente la mayor causa de contaminación entre pruebas, especialmente en operaciones de rutina cuando se procesa un gran número de muestras. Así mismo, el tamaño medio de partícula, la distribución del tamaño de partículas, y por lo tanto la señal difusa de reflectancia pueden ser afectadas marcadamente por el estado del molino utilizado en la muestra. (Cozzolino 2002).

#### **Cuadro 4. Análisis físicos a los que fueron sometidas las muestras.**

<b>Característica</b>	<b>Equipo</b>
Color	Colorflex Hunter L*a*b*
Granulometría	Juego de tamices y agitador Tyler

Los datos de color obtenidos por el Colorflex utilizan la escala L\* a\* b\*; en donde L\* se refiere a la luminosidad 0-100, (siendo 0 negro y 100 blanco). a\* representa el eje correspondiente a rojo-verde y b\* está dado por el eje azul-amarillo.

Fue necesaria la medición de la granulometría para estandarizar el tamaño de partícula que se usó para calibrar la curva. El tamaño medio de partícula y la distribución del tamaño de las mismas debe mantenerse para futuros análisis ya que su variación es causa de imprecisión e inexactitud en la lectura de NIRS. Los tamices utilizados fueron el No. 30, 40, 60 y 80.

### 3.4.2 Análisis químicos

Para la calibración de la curva fue necesario someter las muestras de café oro a análisis químicos de referencia. Cada muestra fue analizada para determinar materia seca y cenizas. Estas mediciones son denominadas datos de referencia de laboratorio (DRL).

Para medir los DRL se utilizaron procedimientos oficiales de la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC 2005). El Cuadro 5 muestra los métodos oficiales usados.

#### **Cuadro 5. Métodos de referencia utilizados para componentes de café oro.**

<b>Componente</b>	<b>Método de referencia</b>
Materia seca	Secado horno al vacío 584 mm Hg 70°C
Cenizas	Incineración 580°C por 6 horas (AOAC 942.05)

### 3.5 RECOLECCIÓN DE ESPECTROS DE NIRS

La recolección de los espectros se llevó a cabo con el equipo FOSSNIR SY-3650 II, Modelo 5000 (NIRSystems). Para el acarreo de la muestra de café oro molido se utilizó una celda rectangular (5 X 7 cm) con vidrio de cuarzo. Al momento de la captura de los espectros la temperatura promedio fue  $21^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ .

Las muestras se analizaron en el rango comprendido de 1,100 a los 2,500 nm en el espectro del infrarrojo cercano. La reflectancia de la muestra se midió en intervalos de 2 nm. El espectro obtenido fue el promedio de 25 barridos y el resultado fue representado en coeficientes de absorbancia expresados como  $\log 1/R$ . La información obtenida fue almacenada en la computadora a través del software WINISI II<sup>®</sup>. V 1.5.

### 3.6 CALIBRACIÓN

En la calibración de la curva fue necesaria la utilización de 125 muestras de café oro molidas (Anexo 1). A través del software WINISI II<sup>®</sup>. V 1.5 los datos almacenados fueron sometidos a tres métodos de regresión o análisis estadísticos y catorce tratamientos matemáticos (Cuadro 6). Los tres métodos de regresión utilizados fueron cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS), componentes principales (PC) y cuadrados mínimos parciales (PLS).

**Cuadro 6. Tratamientos matemáticos utilizados con MPLS, PC y PLS.**

Tratamientos matemáticos		
2,5,5,1	1,8,4,1	3,12,8,1
2,10,10,1	1,6,6,1	2,8,8,1
1,4,4,1	2,4,1,1	2,7,7,1
1,5,5,1	3,4,2,1	3,10,10,1
1,5,4,1		2,9,9,1

En el caso de los tratamientos matemáticos el primer número indica el orden de la derivación o substracción (la derivada del logaritmo 1/R), el segundo número es la amplitud o distancia entre los segmentos a sustraer, y el tercer y cuarto número es la longitud del segmento a ser suavizado (Alomar y Fuchslocher 1998).

Para seleccionar el método de regresión y tratamiento matemático final se analizó cada uno de los  $R^2$  o coeficientes de determinación de calibración obtenidos. Se escogió el modelo con el  $R^2$  más alto. El coeficiente de determinación o  $R^2$  es la relación que guardan en una regresión lineal los datos de referencia de laboratorio con los de predicción NIRS.

### 3.7 CÁLCULO DE LA ECUACIÓN NIRS

Al desarrollar una calibración, se relaciona la información espectral con la información de referencia del laboratorio, definiendo entre otras cosas, el tratamiento matemático de los datos, el segmento del espectro a incluir y el método de regresión a emplear (Alomar y Fuchslocher 1998).

En el desarrollo de una ecuación es necesario identificar las muestras fuera de serie o *outliers* las cuales no se acoplan a la regresión. Para identificar estas muestras fuera de serie se usa el valor residual entre los DRL y los valores predichos por NIRS. Los valores que guardan mayor residualidad son los denominados fuera de serie.

Según (Shenk y Westerhaus 1993), cuando aparecen datos fuera de tipo, es recomendable repetir el análisis de referencia y si repetido éste permanece como muestra discriminada, eliminarse de la calibración. Si el nuevo modelo no mejora el ajuste para las muestras fuera de serie, éstas deberían separarse para intentar conformar con ellas una calibración diferente.

La eliminación de los datos fuera de serie produce un mejor coeficiente de determinación en la calibración de los datos.

### **3.8 VALIDACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN NIRS**

Para la validación se empleó el programa WINISI II<sup>®</sup>. V 1.5 el cual sometió los datos obtenidos en la calibración a una validación cruzada. Según Torres (2005), en la validación cruzada se toma aleatoriamente una muestra cada 4 muestras y se desarrolla un modelo de regresión sin éstas. Luego se predice una calibración nueva sin los valores de las muestras excluidas y tomadas al azar.

Por otra parte, para la validación externa de la curva se incluyeron 25 muestras de café oro (Anexo 2), las cuales no fueron utilizadas en la calibración de la curva. En esta validación se comparan los valores de referencia de laboratorio (DRL) con los valores predichos por NIRS. Luego los valores son comparados por el software estadístico SAS<sup>®</sup>. V 9.1 mediante una prueba t de muestras apareadas.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ANÁLISIS FÍSICOS

#### 4.1.1 Color

En el Cuadro 7 se muestran los valores obtenidos por el colorímetro Colorflex Hunter.

**Cuadro 7. Estadística descriptiva del color de las muestras evaluadas.**

Medidas Estadísticas	Escala CIE <sup>1</sup>		
	L*	a*	b*
Media	40.22	1.05	10.07
Mínimo	34.99	0.27	7.54
Máximo	46.34	2.02	12.70
Desv. Estándar	±1.91	±0.33	±0.85
Coefficiente de Variación (%)	4.76	31.56	8.47

<sup>1</sup>CIE = Comission Internationale d' Eclairage

De acuerdo al análisis estadístico descriptivo hecho a las muestras de café oro existe una variabilidad considerable en la escala a\* (coeficiente de variación = 31.56%). La variabilidad existente puede ser causa de diferencias en cuanto al pulido del café, ya que en algunas muestras era visible restos de integumento del grano en oro. Además cabe recalcar que los valores a\* son bastante bajos por lo que se obtiene un coeficiente de variación alto.

Por otro lado la escala de luminosidad L\* mostró una desviación estándar por arriba de 1 (1.91) Al mismo tiempo su coeficiente de variación es bajo debido a que los valores L\* son en promedio de 40.22.

#### 4.1.2 Granulometría

Para la estandarización de las muestras luego de la molienda fue necesario medir el tamaño de partícula de 10 muestras con un juego de tamices. La granulometría de las muestras es mostrada en el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Estadística descriptiva de la granulometría de 10 muestras evaluadas.**

# Tamiz	Media % Muestra	% Mínimo	% Máximo	Desviación Estándar	% CV
+30*	29.64	23.95	33.21	±3.70	12.49
+40	47.61	38.54	57.53	±7.27	15.268
+60	14.08	12.95	16.86	±1.61	11.47
+80	4.99	3.88	6.05	±0.89	17.93
-80°	3.25	2.67	4.04	±0.54	16.64

\* El signo "+" indica la cantidad de harina que quedó sobre el tamiz

° El signo "-" indica la cantidad de harina que pasó el último tamiz (80)

La distribución de las partículas de café oro molido fue retenida en su mayoría en el tamiz No. 40, seguido por el tamiz No. 30. Cerca del 15% de la muestra fue retenida en el tamiz No. 60, por último se utilizó el tamiz No. 80 el cual retuvo casi el 5% en promedio de café molido. Los coeficientes de variación demuestran que la variabilidad en el tamaño de partícula fue alta entre las muestras molidas de café; por lo que es un factor a considerar en el análisis NIRS. Para esto se sugiere la utilización de otro tipo de molino, el cual estandarice mejor el procedimiento.

#### 4.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS

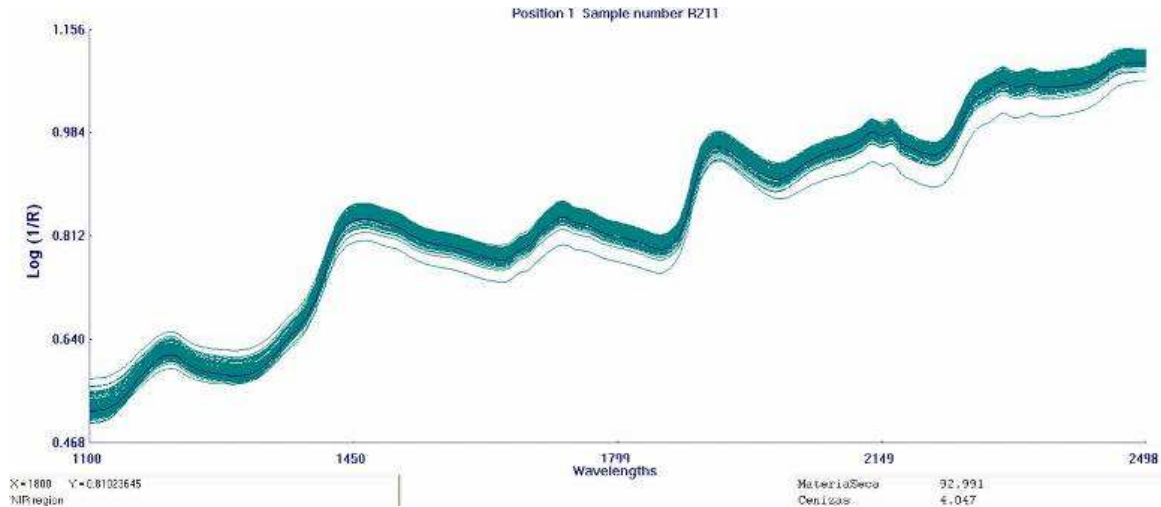
Los valores obtenidos para la composición de materia seca y cenizas en café oro son mostrados en el Cuadro 9. Los valores obtenidos corresponden a los porcentajes normalmente hallados en el café oro (Cuadro 3). Los datos obtenidos presentaron baja variabilidad lo cual es reflejada en su desviación estándar y sus bajos coeficientes de variación. Los rangos de variabilidad establecen los límites para que el NIRS pueda predecir con exactitud.

**Cuadro 9. Estadística descriptiva de la composición química de las muestras de café oro usadas para la calibración por los métodos de referencia.**

Constituyente	Número de muestras	Media % Muestra	Desviación Estándar	% CV	Mínimo %	Máximo %
Materia Seca	125	91.81	±1.07	1.17	88.75	93.83
Ceniza	125	3.58	±0.22	6.15	3.10	4.28

### 4.3 CALIBRACIÓN DE LA CURVA

La Figura 1 da a conocer los espectros obtenidos por las 125 muestras de café oro utilizadas para la calibración de la curva. Los espectros demuestran una tendencia similar para todas las muestras. Esto indica que las diferencias en cuanto a los constituyentes bioquímicos del café oro fueron mínimas. El rango de absorción de los espectros es de los 1,100 nm a los 2,498.



**Figura 1. Espectros NIRS de las 125 muestras de café oro utilizadas para la calibración.**

Los valores de predicción de NIRS para las 125 muestras de calibración son mostradas en el Cuadro 10.

**Cuadro 10. Estadística descriptiva de valores de predicción NIRS para las muestras de café oro usadas para la calibración.**

Constituyente	Número de muestras	Media % Muestra	Desviación Estándar	% CV	Mínimo %	Máximo %
Materia seca	125	91.81	±1.05	1.14	88.20	93.76
Ceniza	125	3.57	±0.18	5.04	3.04	4.08

El NIRS fue más preciso en cuanto a la obtención de valores tanto para materia seca como para ceniza. La precisión se ve reflejada en los coeficientes de variación. Los datos de referencia de laboratorio para materia seca y cenizas tuvieron un CV de 1.17% y 6.15% respectivamente, mientras que los datos NIRS tuvieron un CV de 1.14% para materia seca y 5.04% para cenizas.

#### 4.4 ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y TRATAMIENTOS MATEMÁTICOS

Los Cuadros 11, 12 y 13 muestran los análisis de regresión cuadrados mínimos parciales (PLS), cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS) y regresión por componentes principales (PCR) respectivamente. Cada análisis de regresión es mostrado con catorce tratamientos matemáticos y sus respectivos  $R^2$ .

**Cuadro 11. Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS)**

PLS		
$R^2$ cal		
TRT	Materia Seca	Cenizas
2,5,5,1	0.9308	0.6588
2,10,10,1	0.9340	0.6230
1,4,4,1	0.9399	0.6932
1,5,5,1	0.9382	0.7366
1,5,4,1	0.9382	0.6528
1,8,4,1	0.9389	0.6979
1,6,6,1	0.9392	0.7096
2,4,1,1	0.9338	0.6834
3,4,2,1	0.9204	0.3783
3,12,8,1	0.9293	0.5819
2,8,8,1	0.9324	0.6020
2,7,7,1	0.9323	0.6163
3,10,10,1	0.9313	0.5907
2,9,9,1	0.9315	0.5895

**Cuadro 12. Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS).**

MPLS		
R <sup>2</sup> cal		
TRT	Materia Seca	Cenizas
2,5,5,1	0.9431	0.6526
2,10,10,1	0.9386	0.6491
1,4,4,1	0.9394	0.6408
1,5,5,1	0.9384	0.6897
1,5,4,1	0.9388	0.6312
1,8,4,1	0.9374	0.6192
1,6,6,1	0.9378	0.6648
2,4,1,1	0.9505	0.6752
3,4,2,1	0.9357	0.4143
3,12,8,1	0.9347	0.5973
2,8,8,1	0.9390	0.6756
2,7,7,1	0.9396	0.6507
3,10,10,1	0.9344	0.6763
2,9,9,1	0.9389	0.6052

**Cuadro 13. Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión por componentes principales (PCR).**

PCR		
R <sup>2</sup> cal		
TRT	Materia Seca	Cenizas
2,5,5,1	0.9260	0.4792
2,10,10,1	0.9325	0.4792
1,4,4,1	0.9307	0.4981
1,5,5,1	0.9308	0.4862
1,5,4,1	0.9307	0.5023
1,8,4,1	0.9307	0.4863
1,6,6,1	0.9309	0.4798
2,4,1,1	0.9201	0.3001
3,4,2,1	0.8777	0.3173
3,12,8,1	0.9293	0.4900
2,8,8,1	0.9317	0.4628
2,7,7,1	0.9273	0.4601
3,10,10,1	0.9307	0.4743
2,9,9,1	0.9269	0.4920

Los R<sup>2</sup> obtenidos para cenizas fueron bajos en comparación a los obtenidos para materia seca. De acuerdo con Cozzolino (2002), el poder de predicción de NIRS decrece con el aumento de la complejidad del parámetro analizado, como es el caso de las cenizas.

Además se debe destacar que las sustancias inorgánicas y los minerales no poseen absorción en la región del infrarrojo. Sin embargo, los minerales y otros elementos inorgánicos se pueden asociar a la estructura orgánica bajo la forma de óxidos, quelatos u otros complejos, e indirectamente ser estimados por el NIRS. Para cenizas las calibraciones obtenidas son consideradas con un valor de predicción medio. Sin embargo hay excepciones como en el estudio hecho por Torres (2005), en la predicción de cenizas para piensos de camarón usando NIRS, con la cual obtuvo  $R^2$  superiores a los 0.90.

Para la selección del método de regresión y el tratamiento matemático fue necesaria la eliminación de datos fuera de serie (*outlier*). Estos *outliers* permitieron un mejor ajuste al modelo lineal o coeficiente de determinación en la calibración. Para la calibración de la curva se estableció estrictamente un valor t de 2.5 desviaciones estándar. Es decir que en una regresión cuando la residualidad de un valor DRL con los valores NIRS excede las 2.5 desviaciones estándar éste es considerado un *outlier* y el programa automáticamente lo elimina de la calibración. En cuanto al valor H se utilizó un valor de 10.0. Según Cozzolino (2002), el valor es calculado mediante técnicas de análisis multivariado a través de componentes principales, y que corresponde a lo que en estadísticas se conoce como la distancia de Mahalanobis. Con el valor H se pudo identificar si una muestra es parte o no del grupo espectral basándose en su distancia al valor espectral promedio.

Los Cuadros 14, 15 y 16 muestran los nuevos análisis de regresión cuadrados mínimos parciales (PLS), cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS) y regresión por componentes principales (PCR) respectivamente, sin los valores fuera de tipo que el software identificó. Cada análisis de regresión es mostrado con catorce tratamientos matemáticos y sus nuevos  $R^2$ .

**Cuadro 14. Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales (PLS) sin datos fuera de tipo.**

PLS		
R <sup>2</sup> cal		
TRT	Materia Seca	Cenizas
2,5,5,1	0.9308	0.6598
2,10,10,1	0.9340	0.5850
1,4,4,1	0.9399	0.8254
1,5,5,1	0.9382	0.8154
1,5,4,1	0.9382	0.8186
1,8,4,1	0.9286	0.7702
1,6,6,1	0.9288	0.7784
2,4,1,1	0.9415	0.6834
3,4,2,1	0.9278	0.4122
3,12,8,1	0.9249	0.5924
2,8,8,1	0.9286	0.6052
2,7,7,1	0.9270	0.6207
3,10,10,1	0.9266	0.6105
2,9,9,1	0.9280	0.5957

**Cuadro 15. Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método de regresión de cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS) sin datos fuera de tipo.**

MPLS		
R <sup>2</sup> cal		
TRT	Materia Seca	Cenizas
2,5,5,1	0.9458	0.6746
2,10,10,1	0.9310	0.6887
1,4,4,1	0.9338	0.7373
1,5,5,1	0.9350	0.7221
1,5,4,1	0.9336	0.6353
1,8,4,1	0.9339	0.6905
1,6,6,1	0.9343	0.6996
2,4,1,1	0.9539	0.6874
3,4,2,1	0.9357	0.4638
3,12,8,1	0.9306	0.5934
2,8,8,1	0.9390	0.6951
2,7,7,1	0.9419	0.6763
3,10,10,1	0.9344	0.6401
2,9,9,1	0.9389	0.7103

**Cuadro 16. Tratamientos matemáticos sometidos bajo el método por componentes principales (PCR) sin datos fuera de tipo.**

PCR		
R <sup>2</sup> cal		
TRT	Materia Seca	Cenizas
2,5,5,1	0.9216	0.4510
2,10,10,1	0.9270	0.4974
1,4,4,1	0.9354	0.4981
1,5,5,1	0.9355	0.4943
1,5,4,1	0.9354	0.4987
1,8,4,1	0.9354	0.4827
1,6,6,1	0.9355	0.4884
2,4,1,1	0.9242	0.4798
3,4,2,1	0.8777	0.3655
3,12,8,1	0.9246	0.5028
2,8,8,1	0.9271	0.4838
2,7,7,1	0.9230	0.4640
3,10,10,1	0.9255	0.4872
2,9,9,1	0.9323	0.4723

En el Anexo 5 se aprecian las muestras de café oro consideradas como fuera de tipo que fueron eliminadas en la calibración de la curva de cenizas. Con esto se trató de incrementar el R<sup>2</sup> de la calibración.

El modelo de regresión escogido finalmente fue el de cuadrados mínimos parciales (PLS) debido a que presentó  $R^2$  altos tanto para materia seca como para ceniza, en comparación a los otros modelos de regresión. El tratamiento matemático fue el 1,4,4,1 porque presentó el  $R^2$  más alto para las cenizas. En los Anexos 3 y 4 se muestran los diagramas de dispersión de los DRL y los valores de predicción NIRS de materia seca y cenizas respectivamente. Los Anexos 3 y 4 se muestran los diagramas de dispersión de los DRL y los valores de predicción NIRS de materia seca y cenizas respectivamente.

En el Cuadro 17 aparece la estadística descriptiva de las muestras finales usadas para el desarrollo de la ecuación.

**Cuadro 17. Estadística descriptiva de las muestras usadas para calibración bajo el tratamiento matemático 1,4,4,1 del método de regresión de cuadrados mínimos parciales.**

Constituyente	Número de muestras	Media % Muestra	$R^2$	SEC	SECV
Materia seca	125	91.81	0.934	0.27	0.28
Ceniza	118	3.57	0.825	0.09	0.13

SEC: error estándar de calibración; SECV: error estándar de validación cruzada.

El  $R^2$  del tratamiento matemático 1,4,4,1 de PLS para cenizas subió considerablemente (0.825) al eliminarse los datos fuera de tipo. En el caso de la materia seca el  $R^2$  se mantuvo ya que no se identificaron datos fuera de tipo en la calibración. Es importante recalcar que el  $R^2$  en este estudio para materia seca no alcanzó los valores comparables a los de la literatura en otros estudios similares (0.99). Una razón fue que la humedad fue medida por secado al vacío y no por el método de referencia de Karl Fischer. De acuerdo a Cozzolino (2002), el método de liofilización y titulación o Karl Fischer da mejores resultados al relacionarse con la predicción NIRS.

#### 4.5 VALIDACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

En la validación externa de la curva de calibración se utilizaron 25 muestras de café oro (Anexo 2) las cuales no fueron incluidas en la calibración de la misma. El Cuadro 18 muestra los resultados de materia seca y ceniza que fueron usados para la validación.

**Cuadro 18. Estadística descriptiva de las muestras usadas para la validación de la curva.**

Constituyente	Número de muestras	Media % Muestra	Desviación Estándar	Coefficiente de variación	Mínimo %	Máximo %
Materia Seca	25	91.84	±0.90	0.98	89.92	93.65
Ceniza	25	3.71	±0.24	6.47	3.27	4.38

La materia seca y la ceniza medidas por los métodos de referencia obtenidas en las muestras de validación no presentaron mucha variabilidad entre sí. Esto se ve reflejado en los bajos coeficientes de variación obtenidos.

En el Cuadro 19 se presentan los resultados de la prueba t de observaciones apareadas. La probabilidad en materia seca y cenizas es mayor de 0.05 lo cual indica que no se encontraron diferencias significativas entre los valores obtenidos por los métodos convencionales y los datos de predicción de NIRS. Con esto se comprueba que la curva de predicción NIRS para materia seca y cenizas, luego de la eliminación de los datos fuera de tipo, es válida. Cabe destacar que aunque el  $R^2$  para cenizas no fue alto en la calibración, de acuerdo con los valores de validación, la curva es aceptada. En el Anexo 5 se muestran los datos de referencia del laboratorio comparados con los datos predichos por el NIRS. Es necesario evaluar para estudios posteriores si la residualidad es un factor que afecte considerablemente los resultados obtenidos en cada constituyente.

**Cuadro 19. Prueba t apareada de los valores obtenidos por los métodos de referencia y los predichos por NIRS de las muestras de café oro.**

Constituyente	Número de muestras	Media % Muestra	Desviación Estándar	Valor t	Probabilidad
Materia Seca	25	0.147	±0.820	0.63	>0.531
Ceniza	25	-0.068	±0.214	-1.12	>0.267

## **5. CONCLUSIONES**

Se desarrollaron curvas de predicción para materia seca y cenizas a través de NIRS sin diferencias significativas entre los datos de referencia de laboratorio y los de predicción por NIRS.

El mejor método de regresión para la calibración fue el de cuadrados mínimos parciales (PLS) mientras que el mejor método matemático fue el 1,4,4,1.

## **6. RECOMENDACIONES**

Calibrar el NIRS en la medición de cafeína, trigonelina, grasa, azúcar y ácido clorogénico para tener un mapa de regiones productoras en Honduras comparadas con las composiciones bioquímicas del café oro.

Modificar el modelo de regresión y tratamientos matemáticos cuando la curva sea calibrada para nuevos constituyentes.

Discriminar el café por su composición bioquímica y estudiar la relación entre cada constituyente con el origen geográfico y su proveniencia regional.

Emplear el método de Karl Fischer en la medición del contenido de humedad para tener mayor exactitud en los valores de referencia de laboratorio.

Utilizar un molino diferente para estandarizar mejor la granulometría de la muestra y bajar los coeficientes de variación.

Abarcar un marco de muestra más amplio el cual sea representativo del café producido en Honduras.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alomar D, Fuchslocher R. 1997. Fundamento de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como metodo de análisis de forrajes. *Agro sur*, 1998, Vol. 26, No. 1, pp. 88-104. ISSN 0304-8802.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2005. *Official Methods of Analysis of the AOAC International*. 18th ed. Maryland. USA.
- Avelino J. 2005. Iniciar un proceso de reconocimiento de Indicaciones Geográficas Protegidas y Denominaciones de Origen Protegidas en café en Centroamérica. IICA-PROMECAFE / CIRAD. Francia. 9p.
- Avelino J, Perriot J.J, Guyot B, Pineda C, Guyot B, Decazy F, y Cilas C. 2002. Vers une indetification de cafés-terroir au Honduras. *Plant. Rech. Dév.*, n°spécial café (in press).
- [CIAT] International center of tropical agriculture. 1997. San Nicolás debe centralizar beneficiado con tecnología limpia. Disponible en: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Alacea/Articulos\\_Alacea/Caf%C3%A9\\_Honduras.htm](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Alacea/Articulos_Alacea/Caf%C3%A9_Honduras.htm). Accesado Septiembre 22, 2006.
- [CIRAD] Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. 2005. Valorisation & Innovation en Partenariat. Disponible en: [http://www.cirad.fr/fr/prest\\_produit/pdf/vip/vip2\\_en.pdf](http://www.cirad.fr/fr/prest_produit/pdf/vip/vip2_en.pdf). Accesado Julio 28, 2006.
- Cozzolino D, Fassio A, Fernández E. 2002. Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano para el análisis de ensilaje de maíz. *Agric. Téc.*, out. 2003, vol.63, no.4, p.387-393. ISSN 0365-2807.
- Cozzolino D. 2002. Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia*. Vol. VI N° 2 pág 25-32. Uruguay.
- Davies AM, Grant A, 1987. Review: Near infra-red analysis of food. *Int. J. Food Sci. Technol*, 22:191-207.
- Davrieux, F.; Manez, J.C.; Durand, N. y Guyot, B. 2004. Determination of the content of six major biochemical compounds of green coffee using NIRS. Disponible en: [http://www.nirpublications.com/special/PDFs/P03\\_0441.pdf](http://www.nirpublications.com/special/PDFs/P03_0441.pdf). Accesado Septiembre 26, 2006.

- Feria-Morales A. 2002. Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/expert tasters in sensory evaluation for quality control. *Food quality and preference*. 13 (2002) 355-357.
- [IHCAFE] Instituto Hondureño del Café. 1997. Plan nacional de investigación cafetalera. Honduras. 65p.
- Kempen T. van 1996. NIR technology: Can we measure amino acid digestibility and energy values? Annual Carolina Swine Nutrition Conference. Disponible en: <http://mark.asci.ncsu.edu/Nutrition/Miscellaneous/theo96csnc.htm>. Accesado Julio 28, 2006.
- Oatway L, Helm JH. 1999. The use of near infrared reflectance spectroscopy to determine quality characteristics in whole grain barley. *Food and Rural Development Lacombe AB Canada T4L 1W8*.
- Shenk J, Westerhaus M. 1991. Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared spectroscopy. *Crop Science*. 31, 6 (1991).
- Torres, S. 2005. Medición de la composición química de piensos para camarón usando espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS). Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería Agroindustrial. Zamorano, Honduras. 35p.
- Vaast P, Cilas C, Perriot JJ, Davriex F, Guyot B, Bolaño M. 2004. Mapping of coffee quality in Nicaragua according to regions, ecological conditions and farm management. Artículo publicado en la conferencia de ASIC, Bangalore, India.
- Viani R, Illy A. 2005. Espresso coffee, second Edition: The science of quality. Blackwell science. Italia. 367p.
- Wehling RL. 1998. Basic principles of spectroscopy. In Nielsen, S. *Food analysis*. 2 ed. Indiana US. RB. 630p.
- Wintgens J. 2004. Coffee: growing, processing, sustainable production. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. Federal Republic of Germany. 976p.

## **8. ANEXOS**

**Anexo 1. Muestras utilizadas para la calibración de la curva NIRS con los datos de referencia de laboratorio (DRL) para materia seca y cenizas.**

<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS*</b>	<b>Cenizas</b>
211	Taulabe	Comayagua	Montecillos	854	Ihcafe-90	77.55	<b>92.99</b>	<b>4.05</b>
212	Concepción del Norte	Santa Bárbara	Copán	1020	Lempira	77.10	<b>93.53</b>	<b>3.92</b>
213	Petoa	Santa Bárbara	Copán	1130	Caturra	79.55	<b>93.58</b>	<b>3.72</b>
214	San Luis	Santa Bárbara	Copán	1020	Villa Sarchi	78.10	<b>93.45</b>	<b>3.66</b>
216	Ilama	Santa Bárbara	Montecillos	1145	Bourbon	83.55	<b>92.99</b>	<b>3.90</b>
221	Catacamas	Olancho	Agalta Tropical	1060	Caturra	83.67	<b>93.02</b>	<b>3.53</b>
222	Catacamas	Olancho	Agalta Tropical		Pacas	84.63	<b>92.80</b>	<b>3.43</b>
223	Dulce Culmi	Olancho	Agalta Tropical		Lempira	77.00	<b>92.32</b>	<b>4.28</b>
225	Dulce Culmi	Olancho	Agalta Tropical	560	Caturra	80.08	<b>92.38</b>	<b>4.06</b>
226	Dulce Culmi	Olancho	Agalta Tropical	908	Ih -90	80.42	<b>91.93</b>	<b>3.92</b>
227	Dulce Culmi	Olancho	Agalta Tropical	814	Caturra	78.20	<b>92.78</b>	<b>3.70</b>
228	Juticalpa	Olancho	Agalta Tropical	435	Pacas	76.00	<b>93.03</b>	<b>3.74</b>
229	Santa Maria del Real	Olancho	Agalta Tropical	1153	Lempira	88.10	<b>93.10</b>	<b>3.63</b>
230	Santa Bárbara	Santa Bárbara	Montecillos	990	Ih - 90	85.90	<b>92.28</b>	<b>3.75</b>
231	Campamento	Olancho	Agalta Tropical	1141	Lempira	83.50	<b>92.94</b>	<b>3.30</b>
232	Guanaco	Olancho	Agalta Tropical	1112	Caturra	82.10	<b>93.03</b>	<b>3.86</b>
234	Guanaco	Olancho	Agalta Tropical	955	Caturra	77.80	<b>93.42</b>	<b>3.82</b>
235	Guanaco	Olancho	Agalta Tropical	1076	Caturra	82.10	<b>92.58</b>	<b>3.80</b>
237	San Esteban	Olancho	Agalta Tropical	518	Caturra	78.75	<b>91.73</b>	<b>3.71</b>

\* Porcentaje de materia seca.

**Continuación Anexo 1**

<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS*</b>	<b>Cenizas</b>
239	San Fca.de la Paz	Olancho	Agalta Tropical	1310	Tipica	85.71	<b>90.99</b>	<b>3.52</b>
240	San Fca. De la Paz	Olancho	Agalta Tropical	1173	Caturra	85.00	<b>90.98</b>	<b>3.33</b>
243	San Juan	Intibuca	Opalaca	1350	IHCAFE	88.58	<b>92.04</b>	<b>3.77</b>
245	Copan Ruinas	Copán	Copán	824	Catuai	78.75	<b>91.94</b>	<b>3.56</b>
248	Nueva Arcadia	Copán	Copán	1013	TypicaBourbon	81.08	<b>92.86</b>	<b>4.11</b>
249	San Marcos	Ocotepeque	Copán	1326	Pacas	89.04	<b>92.19</b>	<b>3.54</b>
250	San Pedro	Copán	Copán	1100	Caturra	81.63	<b>92.84</b>	<b>4.07</b>
252	Copan Ruinas	Copán	Copán	642	Caturra/Catimo	82.25	<b>92.52</b>	<b>3.59</b>
253	Copan Ruinas	Copán	Copán	849	Caturra	82.38	<b>91.94</b>	<b>4.09</b>
254	Copan Ruinas	Copán	Copán	1037	IHCAFE	80.33	<b>91.24</b>	<b>3.38</b>
255	Corquen	Copán	Copán	980	Lempira	81.33	<b>90.84</b>	<b>3.78</b>
256	San Pedro	Copán	Copán	1590	Catuai	83.58	<b>90.63</b>	<b>3.67</b>
257	Santa Rita	Copán	Copán	1075	Catuai	80.02	<b>92.76</b>	<b>3.47</b>
258	Gracias	Lempira	Copán	1290	Caturra	85.58	<b>92.00</b>	<b>3.37</b>
259	Cucuyagua	Copán		1400	Caturra	81.17	<b>91.78</b>	<b>3.43</b>
260	Corquen	Copán	Copán	1250	Caturra	81.67	<b>92.50</b>	<b>3.41</b>
261	Las Flores	Lempira	Copán	1185	Catuai	81.17	<b>91.38</b>	<b>3.33</b>
262	San Pedro	Copán	Copán	1375	Catuarra	85.50	<b>92.57</b>	<b>3.37</b>
263	La Igualala	Lempira	Opalaca	1445	Bourbon	81.92	<b>92.75</b>	<b>3.76</b>
265	San Pedro	Copán	Copán	1364	Caturra	85.83	<b>91.80</b>	<b>3.11</b>
266	La Unión	Copán	Copán	1258	Typica	79.67	<b>91.10</b>	<b>3.99</b>
267	Nueva Arcadia	Copán	Copán	1008		78.83	<b>91.58</b>	<b>3.24</b>
268	San Marcos de Colón	Choluteca	Agalta Tropical	1454	Catuarra	85.50	<b>91.88</b>	<b>3.61</b>

\* Porcentaje de materia seca.

**Continuación Anexo 1**

<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS*</b>	<b>Cenizas</b>
269	San Marcos de Colón	Choluteca	Agalta Tropical	1540	Caturra	80.21	<b>92.63</b>	<b>3.55</b>
270	San Marcos de Colón	Choluteca	Agalta Tropical	1290	Caturra	83.25	<b>90.19</b>	<b>3.28</b>
271	San Marcos de Colón	Choluteca	Agalta Tropical	1052	Caturra	80.17	<b>92.09</b>	<b>3.47</b>
273	San Marcos de Colón	Choluteca	Agalta Tropical	1420	Caturra	79.50	<b>92.72</b>	<b>3.63</b>
274	Alauca	El Paraíso	Agalta Tropical	1169		88.13	<b>92.41</b>	<b>3.65</b>
276	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1220	Pacas	85.58	<b>90.96</b>	<b>3.24</b>
277	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1215	Bourbon	81.67	<b>90.79</b>	<b>3.78</b>
278	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1550	Catuai	92.25	<b>91.31</b>	<b>3.31</b>
279	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1153	Pacas	85.00	<b>91.56</b>	<b>3.53</b>
282	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	607	Pacas	76.83	<b>92.99</b>	<b>3.71</b>
283	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1400	Pacas	86.88	<b>91.71</b>	<b>3.63</b>
284	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1109	Catuai	83.83	<b>91.30</b>	<b>3.39</b>
285	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	858	Pacas	79.92	<b>91.86</b>	<b>3.64</b>
286	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1152	Pacas	85.92	<b>91.15</b>	<b>3.41</b>
287	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	693	Catuai	79.79	<b>91.48</b>	<b>3.92</b>
288	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	1106		83.38	<b>90.85</b>	<b>3.62</b>
291	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	1244		85.38	<b>90.40</b>	<b>3.43</b>
292	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	990		85.04	<b>92.86</b>	<b>3.39</b>
293	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	949		77.75	<b>89.99</b>	<b>3.78</b>
294	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	1194		82.96	<b>91.15</b>	<b>3.57</b>
295	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	1197		81.46	<b>89.68</b>	<b>3.49</b>
297	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	1002		82.50	<b>93.05</b>	<b>3.60</b>
298	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	1150		81.70	<b>88.75</b>	<b>3.39</b>

\* Porcentaje de materia seca.

**Continuación Anexo 1**

<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS*</b>	<b>Cenizas</b>
299	Guinope	El Paraíso	Agalta Tropical	1311	Catuai	85.70	<b>90.71</b>	<b>3.40</b>
300	Teupasenti	El Paraíso	Agalta Tropical	1250	Catuai	77.40	<b>91.47</b>	<b>3.44</b>
301	Teupasenti	El Paraíso	Agalta Tropical	1123	Catuai	80.90	<b>89.93</b>	<b>3.44</b>
303	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	1050	Pacas	81.80	<b>92.50</b>	<b>3.50</b>
306	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	738	Pacas	77.80	<b>93.46</b>	<b>3.75</b>
309	Talanga	Fco. Morazán	Agalta Tropical	1270	Catuai	80.90	<b>93.16</b>	<b>3.68</b>
310	Distrito Central	Fco. Morazán	Azul Meambar	1556	Catuai	86.80	<b>90.72</b>	<b>3.31</b>
311	Lepaterique	Fco. Morazán	Azul Meambar	1410	Catuai	85.40	<b>92.95</b>	<b>3.50</b>
312	Vallecillo	Fco. Morazán	Azul Meambar	1030	Caturra	78.70	<b>89.09</b>	<b>3.27</b>
313	Vallecillo	Fco. Morazán	Azul Meambar	1107	Caturra	80.70	<b>90.65</b>	<b>3.29</b>
315	Las Vegas	Santa Bárbara	Montecillos	1546	Bourbon	93.35	<b>90.92</b>	<b>3.29</b>
317	El Negrito	Yoro	Azul Meambar	600	IHCAFE - 90	82.00	<b>90.43</b>	<b>3.23</b>
318	El Negrito	Yoro	Azul Meambar	508	IHCAFE - 90	77.70	<b>91.01</b>	<b>3.49</b>
319	El Negrito	Yoro	Azul Meambar	548	IHCAFE - 90	77.45	<b>93.36</b>	<b>3.47</b>
320	Morazán	Yoro	Azul Meambar	547	Catuai	80.15	<b>93.17</b>	<b>3.66</b>
321	Victoria	Yoro	Azul Meambar	1166	IHCAFE - 90	86.00	<b>90.54</b>	<b>3.53</b>
322	Victoria	Yoro	Azul Meambar	960	IHCAFE - 90	83.30	<b>91.13</b>	<b>3.58</b>
323	Victoria	Yoro	Azul Meambar	1056	IHCAFE - 90	83.25	<b>91.42</b>	<b>3.77</b>
324	Victoria	Yoro	Azul Meambar	1254	Lempira	90.25	<b>93.83</b>	<b>3.36</b>
325	Yoro	Yoro	Azul Meambar	880	Villa sarchi	80.80	<b>92.15</b>	<b>3.47</b>
326	San Pedro Sula	Cortes	Copán	910	Caturra	80.80	<b>93.05</b>	<b>3.76</b>
327	Quimistan	Santa Bárbara	Copán	536	Catimor	79.80	<b>90.10</b>	<b>3.62</b>
328	Azacualpa	Santa Bárbara	Copán	434	Catuai	85.90	<b>91.04</b>	<b>3.76</b>

\* Porcentaje de materia seca.

**Continuación Anexo 1**

<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS*</b>	<b>Cenizas</b>
329	Macuelizo	Santa Bárbara	Marlon Sevilla/Cortes	1070	Bourbon	86.60	<b>91.66</b>	<b>3.27</b>
330	Nueva Frontera	Santa Bárbara	Copán	949	Caturra	83.10	<b>92.09</b>	<b>3.45</b>
332	Macuelizo	Santa Bárbara	Copán	525	Caturra	78.50	<b>91.89</b>	<b>3.76</b>
333	Macuelizo	Santa Bárbara	Copán	811	Catimor	77.90	<b>90.86</b>	<b>3.24</b>
334	Victoria	Yoro	Azul Meambar	1300	Catuai	85.30	<b>93.21</b>	<b>3.73</b>
336	San Fernando	Ocotepeque	Copán	1115	Catuai	82.70	<b>93.31</b>	<b>3.61</b>
562	Danli	El Paraíso	Agalta Tropical	1280	Pacas	85.50	<b>92.45</b>	<b>3.51</b>
567	Teupasenti	El Paraíso	Agalta Tropical	1330	Catuai	85.58	<b>91.81</b>	<b>3.49</b>
572	Teupasenti	El Paraíso	Agalta Tropical	1156	IHCAFE-90	82.67	<b>92.23</b>	<b>3.71</b>
575	Teupasenti	El Paraíso	Agalta Tropical	1233	Lempira	85.04	<b>92.52</b>	<b>3.59</b>
577	Las Lajas	Comayagua	Azul Meambar	1066	Lempira	85.25	<b>92.61</b>	<b>3.71</b>
579	Las Lajas	Comayagua	Azul Meambar	1320	Catuai	82.58	<b>91.98</b>	<b>3.63</b>
591	Gracias	Lempira	Copán	1320	Pacas	83.00	<b>92.47</b>	<b>3.13</b>
597	Lepaera	Lempira	Opalaca	1385	Mescla	85.00	<b>90.32</b>	<b>3.21</b>
600	El Triunfo	Choluteca	Agalta Tropical		Lempira	80.00	<b>90.65</b>	<b>3.53</b>
602	Yoro	Yoro	Azul Meambar	1419	Typica	82.50	<b>90.43</b>	<b>3.42</b>
605	Bonito Oriental	Colon	Agalta Tropical	1000	Caturra	79.25	<b>91.63</b>	<b>3.66</b>
606	Bonito Oriental	Colon	Agalta Tropical	1025	Pacas	79.33	<b>92.51</b>	<b>3.54</b>
608	Yorito	Yoro	Azul Meambar	1364	Typica	85.00	<b>92.11</b>	<b>3.46</b>
610	El Corpus	Choluteca	Agalta Tropical		Catuai	78.00	<b>92.84</b>	<b>3.76</b>
612	Yorito	Yoro	Azul Meambar	1000	Lempira	81.63	<b>89.84</b>	<b>3.54</b>
614	Sulaco	Yoro	Azul Meambar	1361	Typica	83.92	<b>91.19</b>	<b>3.44</b>
616	Yoro	Yoro	Azul Meambar	1200	Catuai	80.75	<b>92.38</b>	<b>3.49</b>

\* Porcentaje de materia seca.

**Continuación Anexo 1**

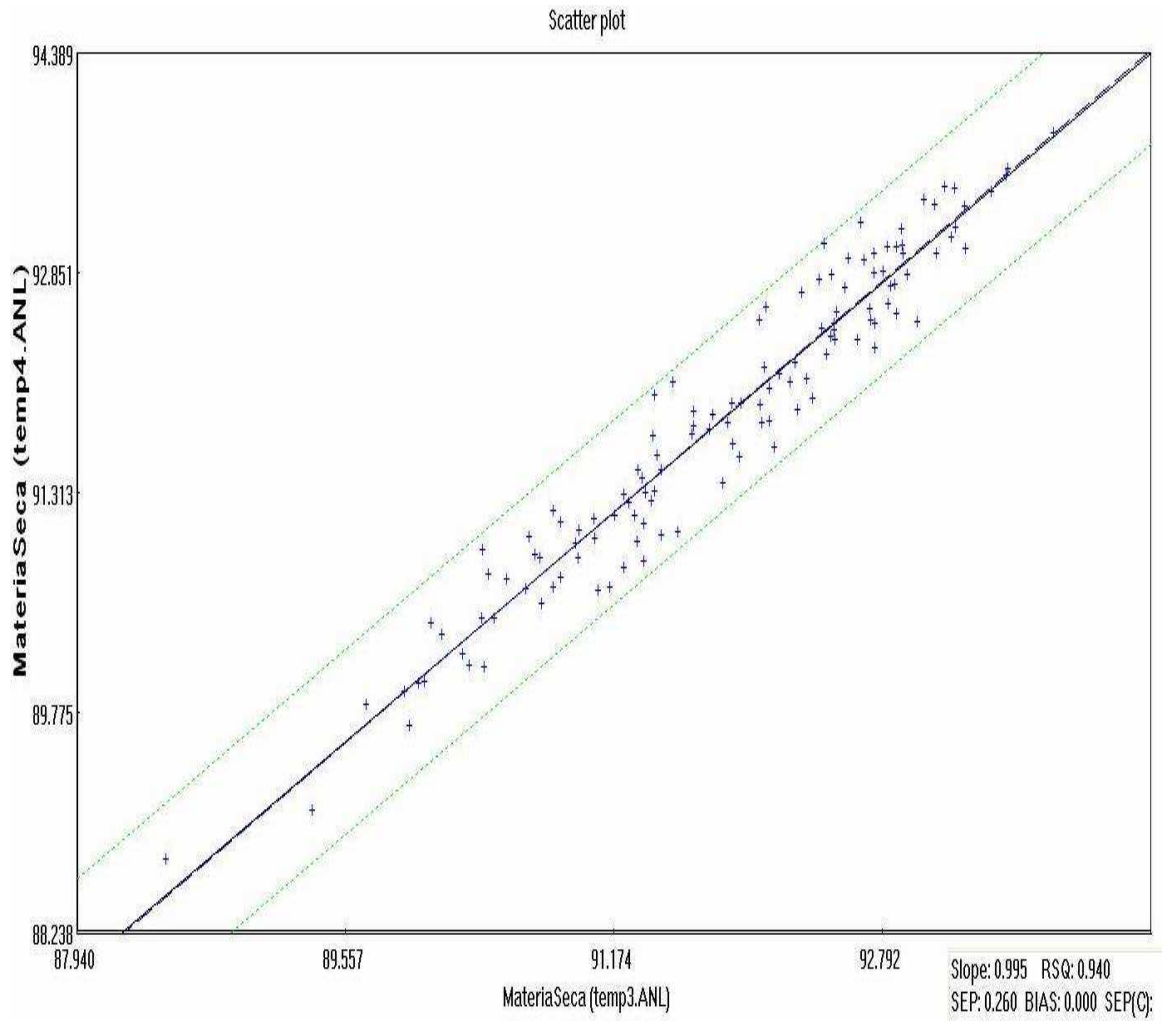
<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS*</b>	<b>Cenizas</b>
619	Bonito Oriental	Colon	Agalta Tropical	1000	Caturra	88.00	<b>90.64</b>	<b>3.53</b>
620	Bonito Oriental	Colon	Agalta Tropical	1107	Pacas	79.04	<b>91.76</b>	<b>3.62</b>
621	Tocoa	Colon	Agalta Tropical	930	Caturra	85.63	<b>89.99</b>	<b>3.58</b>
622	Yorito	Yoro	Azul Meambar	899	Caturra	83.38	<b>91.05</b>	<b>3.79</b>
623	Yoro	Yoro	Azul Meambar	1288	IHCAFE-90	85.00	<b>90.75</b>	<b>3.44</b>
624	San Pedro Sula	Cortes	Copan	1119	Caturra	81.54	<b>91.10</b>	<b>3.77</b>
627	Victoria	Yoro	Azul Meambar	1365	Villa sarchi	85.39	<b>90.10</b>	<b>3.35</b>
628	El Negrito	Yoro	Azul Meambar	1018	IHCAFE-90	79.17	<b>90.88</b>	<b>3.73</b>
630	Yoro	Yoro	Azul Meambar	1210	IHCAFE-90	50.00	<b>91.32</b>	<b>3.80</b>
701	Santiago Puringla	La Paz	Montecillos	1336	Catuai	87.17	<b>91.02</b>	<b>3.10</b>
702	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	1204	Pacas	81.92	<b>93.32</b>	<b>3.75</b>
706	San Fca. de la Paz	Olancho	Agalta Tropical	980	Caturra	85.92	<b>91.26</b>	<b>3.45</b>
708	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1164		81.17	<b>91.81</b>	<b>3.52</b>
709	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	988		82.67	<b>92.60</b>	<b>3.64</b>

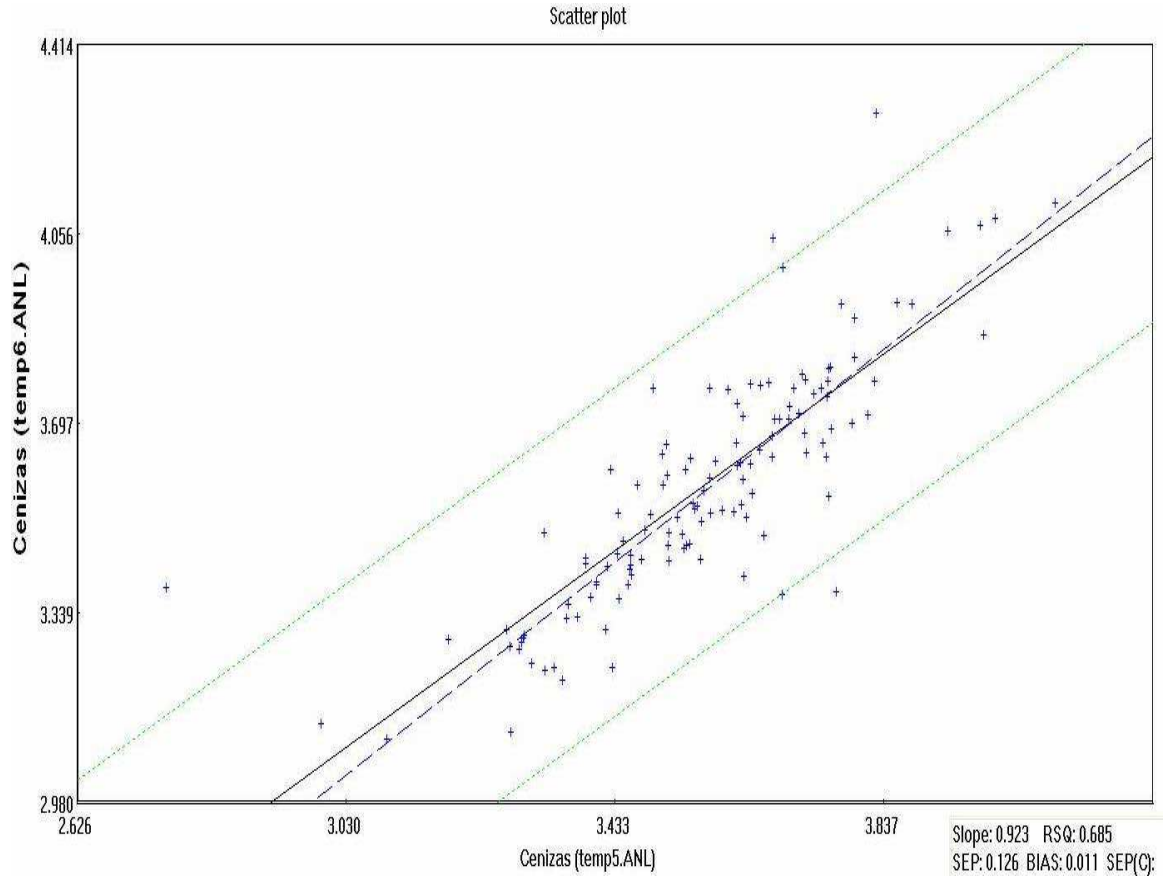
\* Porcentaje de materia seca.

**Anexo 2. Muestras utilizadas para la validación de la curva NIRS con los datos de referencia de laboratorio (DRL) para materia seca y cenizas.**

<b>Muestra R-</b>	<b>Municipio</b>	<b>Departamento</b>	<b>Region</b>	<b>Altura msnm</b>	<b>Variedad</b>	<b>Nota final</b>	<b>% MS</b>	<b>Ceniza</b>
215	San Luis	Santa Bárbara	Copán	1222	Ih 90	84.95	<b>92.84</b>	<b>3.79</b>
218	San Fca. de Ojuera	Santa Bárbara	Opalaca	806	Lempira	82.29	<b>92.02</b>	<b>4.02</b>
220	Guaimaca	Fco. Morazán	Asalta Tropical	1130	Catuai	81.92	<b>91.89</b>	<b>3.83</b>
224	Culmi	Olancho	Asalta Tropical	514	Pacas	77.96	<b>93.65</b>	<b>4.38</b>
233	Gualaco	Olancho	Asalta Tropical	1087	Typica	81.95	<b>92.91</b>	<b>4.06</b>
238	San Fca. de la Paz	Olancho	Asalta Tropical	1350	Typica	86.13	<b>91.66</b>	<b>3.62</b>
244	San Fca. del Valle	Ocotepeque	Copan	1294	Pacas	79.50	<b>91.07</b>	<b>3.66</b>
247	Copan Ruinas	Copan	Copan	868	Catuai	81.75	<b>92.17</b>	<b>4.00</b>
264	Belén	Lempira	Opalaca	1420	Catuai	85.00	<b>91.99</b>	<b>3.30</b>
275	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	843	Catuai	80.13	<b>93.19</b>	<b>3.76</b>
280	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1345	Catuai	77.17	<b>91.48</b>	<b>3.72</b>
281	Danlí	El Paraíso	Agalta Tropical	1120	IHCAFE - 90	83.63	<b>92.04</b>	<b>3.93</b>
296	El Paraíso	El Paraíso	Agalta Tropical	981		84.17	<b>91.81</b>	<b>3.67</b>
304	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	1091	Pacas	83.50	<b>91.31</b>	<b>3.76</b>
308	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	852	IHCAFE - 90	78.60	<b>90.07</b>	<b>3.27</b>
314	Vallecillo	Fco. Morazán	Azul Meambar	1121	Caturra	84.35	<b>91.69</b>	<b>3.50</b>
331	La Masica	Atlántida	Azul Meambar	1008	IHCAFE - 90	74.70	<b>91.93</b>	<b>3.58</b>
335	San Fernando	Ocotepeque	Copan	1198	Catuai	85.10	<b>91.63</b>	<b>3.61</b>
573	Teupasenti	El Paraíso	Agalta Tropical	1375	Cataui	83.96	<b>90.93</b>	<b>3.69</b>
604	Victoria	Yoro	Azul Meambar	1036	Mescla	88.50	<b>92.29</b>	<b>3.50</b>
615	Yoro	Yoro	Azul Meambar	1031	Typica	50.00	<b>92.72</b>	<b>3.86</b>
241	Proteccion	Santa Bárbara	Copan	988	Caturra Ih 90	79.33	<b>90.58</b>	<b>3.42</b>
305	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	994	Pacas	85.70	<b>91.72</b>	<b>3.64</b>
316	La Ceiba	Atlántida	Azul Meambar	926	IHCAFE - 90	81.45	<b>89.92</b>	<b>3.61</b>
307	Trojes	El Paraíso	Agalta Tropical	1136	Pacas	80.80	<b>92.54</b>	<b>3.64</b>

**Anexo 3. Diagrama de dispersión para los valores obtenidos de materia seca en café oro.**



**Anexo 4. Diagrama de dispersión para los valores obtenidos de cenizas en café oro.**

**Anexo 5. Muestras consideradas como fuera de tipo en la calibración ceniza (Valor t > ±2.5 y Valor H>10.0).**

**Cuadrados mínimos parciales (PLS)**

<b>TRT</b>	<b>Valores fuera de tipo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
2,5,5,1	R254, R258, R277	0.6598
2,10,10,1	R298, R223	0.5850
1,4,4,1	R298, R223, R211, R266, R254, R326, R258	0.8254
1,5,5,1	R298, R223, R211, R266, R254, R286, R326	0.8154
1,5,4,1	R298, R223, R211, R266, R254, R258, R326	0.8186
1,8,4,1	R298, R223, R211, R266, R254, R326	0.7702
1,6,6,1	R298, R223, R211, R266, R254, R326	0.7784
2,4,1,1	....	0.6834
3,4,2,1	R266	0.4122
3,12,8,1	R298, R223	0.5924
2,8,8,1	R298, R223	0.6052
2,7,7,1	R298, R223	0.6207
3,10,10,1	R298, R223, R266	0.6105
2,9,9,1	R298, R223	0.5957

**Cuadrados mínimos parciales modificados (MPLS)**

<b>TRT</b>	<b>Valores fuera de tipo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
2,5,5,1	R298	0.6746
2,10,10,1	R211, R266	0.6887
1,4,4,1	R298, R223, R266, R211	0.7373
1,5,5,1	R298, R223, R266, R211	0.7221
1,5,4,1	R298, R223	0.6353
1,8,4,1	R298, R223, R266, R211	0.6905
1,6,6,1	R298, R223, R266, R211	0.6996
2,4,1,1	R277	0.6874
3,4,2,1	R333, R266	0.4638
3,12,8,1	R223, R266	0.5934
2,8,8,1	R266	0.6951
2,7,7,1	R266	0.6763
3,10,10,1	R268, R266	0.6401
2,9,9,1	R298, R266, R277, R243	0.7103

**Componentes principales (PCR)**

<b>TRT</b>	<b>Valores fuera de tipo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
2,5,5,1	R266, R298, R250, R265, R223	0.4510
2,10,10,1	R266, R223, R298	0.4974
1,4,4,1	R223	0.4981
1,5,5,1	R223	0.4943
1,5,4,1	R223, 266	0.4987
1,8,4,1	R223, 266	0.4827
1,6,6,1	R223	0.4884
2,4,1,1	R266, R265, R592, 5223	0.4798
3,4,2,1	R265, R266	0.3655
3,12,8,1	R266, R223, R298	0.5028
2,8,8,1	R226, R223	0.4838
2,7,7,1	R266, R223, R298, R250, R701	0.4640
3,10,10,1	R266, R223, R298	0.4872
2,9,9,1	R266, R223, R298	0.4723

**Anexo 6. Comparación de los datos de validación medidos por los métodos de referencia y por NIRS para materia seca y cenizas.**

% Materia seca		
Referencia	NIRS	Residual
92.84	92.53	0.31
92.02	92.12	-0.10
91.89	92.33	-0.44
93.65	93.13	0.52
92.91	92.77	0.14
91.66	91.91	-0.26
91.07	92.13	-1.06
92.17	92.21	-0.03
91.99	92.06	-0.07
93.19	92.74	0.44
91.48	91.69	-0.22
92.04	92.09	-0.05
91.81	91.82	-0.01
91.31	91.49	-0.18
90.07	90.75	-0.69
91.69	90.98	0.70
91.93	92.41	-0.48
91.63	91.84	-0.21
90.93	91.22	-0.29
92.29	91.89	0.40
92.72	93.26	-0.54
90.58	90.64	-0.06
91.72	92.73	-1.01
89.92	90.53	-0.61
92.54	92.41	0.13

% Cenizas		
Referencia	NIRS	Residual
3.79	3.7065	0.08
4.0234	3.7540	0.27
3.8256	3.6940	0.13
4.3786	3.9146	0.46
4.0596	3.8215	0.24
3.6207	3.5280	0.09
3.6640	3.6785	-0.01
3.9961	3.3515	0.64
3.3026	3.5135	-0.21
3.7557	3.8610	-0.11
3.7231	3.5265	0.20
3.9279	3.6985	0.23
3.6733	3.8455	-0.17
3.7617	3.7425	0.02
3.2722	3.4155	-0.14
3.5022	3.3715	0.13
3.5752	3.6250	-0.05
3.6055	3.5620	0.04
3.6937	3.6460	0.05
3.5022	3.5860	-0.08
3.8630	3.9860	-0.12
3.4227	3.3765	0.05
3.6381	3.7380	-0.10
3.6072	3.4125	0.19
3.6364	3.7655	-0.13