

USO DE UN ESPECTRÓMETRO PORTÁTIL PARA DETERMINAR MATERIA SECA DE MANERA NO DESTRUCTIVA EN AGUACATE ‘HASS’

Jorge Alberto Osuna García, Jesús Daniel Olivares Figueroa,
Juan Antonio Herrera González, Peter Martin Albert Toivonen,
Samuel Salazar García, Ricardo Goenaga



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inirap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Pacífico Centro
Campo Experimental Santiago Ixcuintla
Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. Noviembre 2018
Folleto Técnico Núm. 36
ISBN: 978-607-37-1044-2
Registro de Obra: 03-2018-112711512100-01

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Baltazar Hinojosa Ochoa

Secretario

M.C. Jorge Luis Zertuche Rodríguez

Subsecretario de Agricultura

M.C. Raúl Enrique Galindo Favela

Subsecretario de Desarrollo Rural

M.C. Ignacio Lastra Marín

Subsecretario de Alimentación y Competitividad

Ing. Armando Zepeda Carrillo

Delegado de la SAGARPA en Nayarit

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. José Fernando de la Torre Sánchez

Director General

Dr. Raúl Gerardo Obando Rodríguez

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. Jorge Fajardo Guel

Coordinador de Planeación y Desarrollo

Mtro. Eduardo Francisco Berterame Barquín

Coordinador de Administración y Sistemas

Dr. Dante Schiaffini Barranco

Titular de Unidad Jurídica

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO CENTRO

Dr. José Antonio Rentería Flores

Director Regional CIR Pacífico Centro

Dr. Jorge Armando Bonilla Cárdenas

Director de Investigación CIR Pacífico Centro

Lic. Miguel Méndez González

Director de Administración CIR Pacífico Centro

Dr. Filiberto Herrera Cedano

Director de la Unidad de Coordinación y Vinculación en Nayarit
y Encargado del Despacho de los asuntos de la Jefatura del Campo
Experimental Santiago Ixcuintla

**USO DE UN ESPECTRÓMETRO PORTÁTIL
PARA DETERMINAR MATERIA SECA DE MANERA
NO DESTRUCTIVA EN AGUACATE 'HASS'**

Autores

Ph. D. Jorge Alberto Osuna García

Investigador del Programa de Postcosecha e Inocuidad de Alimentos
Campo Experimental Santiago Ixcuintla – INIFAP

Ing. Jesús Daniel Olivares Figueroa

Tesista de Licenciatura de Ingeniería en Electrónica
Unidad Académica De Ciencias Básicas e Ingenierías
Universidad Autónoma de Nayarit

M. C. Juan Antonio Herrera González

Investigador del Programa de Frutales
Campo Experimental Uruapan – INIFAP

Ph. D. Peter Martin Albert Toivonen

Investigador Summerland Research and Development Centre
Agriculture and Agri-Food, Canada

Ph. D. Samuel Salazar García

Investigador del Programa de Frutales
Campo Experimental Santiago Ixcuintla – INIFAP

Ph. D. Ricardo Goenaga

Investigador USDA-ARS Tropical Agriculture Research Station
Mayagüez, Puerto Rico

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO CENTRO
CAMPO EXPERIMENTAL SANTIAGO IXCUINTLA
Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. Noviembre 2018.
Folleto Técnico Núm. 36. ISBN: 978-607-37-1044-2**

USO DE UN ESPECTRÓMETRO PORTÁTIL PARA DETERMINAR MATERIA SECA DE MANERA NO DESTRUCTIVA EN AGUACATE 'HASS'

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos de autor.

Derechos Reservados ©

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Progreso 5. Barrio de Santa Catarina.

Delegación Coyoacán, C.P. 04010, Ciudad de México,

Teléfonos: (55) 3871-8700 conmutador

www.inifap.gob.mx Correo-e: contáctenos@inifap.gob.mx

Primera Edición 2018

Editado en México. Edited in Mexico.

ISBN: 978-607-37-1044-2

Registro de Obra: 03-2018-112711512100-01

Folleto Técnico Núm. 36

Noviembre de 2018

Campo Experimental Santiago Ixcuintla

Km. 6 Carretera Internacional México-Nogales, entronque a Santiago Ixcuintla, Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. C.P. 63300.

Tel 01 800 088 22 22 IP:84415

La presente publicación se terminó de editar en noviembre de 2018 en los Talleres Gráficos de Prometeo Editores, S.A de C.V. Libertad 1457. Col. Americana, Guadalajara, Jalisco.

La cita correcta de esta obra es:

Osuna García, J. A., J. D. Olivares Figueroa, J. A. Herrera González, P. M. A. Toivonen, S. Salazar García y R. Goenaga. 2018. Uso de un Espectrómetro portátil para determinar materia seca de manera no destructiva en aguacate 'Hass'. Folleto Técnico Núm. 36. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Santiago Ixcuintla Nayarit, México. 44 p.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	2
DESCRIPCIÓN DEL ESPECTRÓMETRO.....	4
TEORÍA DE OPERACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO	6
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO HASS3	10
DESEMPEÑO DEL MODELO HASS3.....	13
a. VARIANZA EXPLICADA.....	15
b. LINEALIDAD	16
c. ERROR DE PREDICCIÓN	17
d. ERROR CUADRÁTICO MEDIO.....	19
VALIDACIÓN DEL MODELO HASS3 EN MICHOACÁN	20
VALIDACIÓN DEL MODELO HASS3 EN NAYARIT	22
VALIDACIÓN DEL MODELO HASS3 EN MICHOACÁN Y NAYARIT	23
TOMA DE LECTURAS CON EL F-750.....	25
a. SELECCIÓN DEL MODELO	28
b. SELECCIÓN DEL NÚMERO DE REPETICIONES	
POR LECTURA.....	31
c. PROCEDIMIENTO TOMA DE LECTURAS.....	34
d. ZONA DE LECTURA PARA AGUACATE ‘HASS’ CON EL F-750	36
CONCLUSIONES.....	40
AGRADECIMIENTOS	41
LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rango de madurez considerado para la selección de las ocho categorías utilizadas en la etapa de construcción del modelo Hass.....	12
Cuadro 2. Rangos de madurez obtenidos para las ocho categorías utilizadas en la etapa de construcción del modelo Hass.....	13
Cuadro 3. Materia seca (%) de frutos de aguacate ‘Hass’ usados para la validación del modelo Hass3 en Michoacán.....	21
Cuadro 4. Materia seca (%) de frutos de aguacate ‘Hass’ usados para la validación del modelo Hass3 en Nayarit.....	22
Cuadro 5. Materia seca (%) de frutos de aguacate ‘Hass’ usados para la validación del modelo Hass3 en Michoacán y Nayarit.....	24
Cuadro 6. Utilidad de los controles de navegación del menú	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especificaciones del espectrómetro F-750.....	5
Figura 2. Mediciones de origen. La combinación de la lámpara y el obturador, dan como resultado cuatro mediciones diferentes. a) LOnSO; b) LOffSO; c) LOnSC y d) LOffSC.	7
Figura 3. Diagrama de la teoría de operación del espectrómetro F-750 al realizar una lectura.....	9
Figura 4. Frutos de aguacate ‘Hass’ utilizados para la construcción del modelo Hass3.	10
Figura 5. Varianza explicada durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.....	15
Figura 6. Linealidad encontrada durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.	16
Figura 7. Error de predicción durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.	17
Figura 8. Eliminación de valores fuera de rango durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.....	18
Figura 9. Error Cuadrático Medio durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.	19
Figura 10. Regresión entre MS obtenida con el F-750 en la parte dorsal del cuello y la MS obtenida mediante horno de microondas.....	21
Figura 11. Regresión entre MS obtenida con el F-750 en la parte dorsal del cuello y la MS obtenida mediante horno de microondas.....	23
Figura 12 Regresión entre MS obtenida con el F-750 en la parte dorsal del cuello y la MS obtenida mediante horno de microondas.....	25
Figura 13. Controles para el uso del espectrómetro F-750. Los botones direccionales son utilizados para navegar dentro del menú de configuraciones.....	26

Figura 14. Navegación del menú para seleccionar un modelo.....	29
Figura 15. Navegación del menú para seleccionar un modelo.....	29
Figura 16. Navegación del menú para seleccionar un modelo. Load Model.....	30
Figura 17. Navegación del menú para seleccionar un modelo.....	31
Figura 18. Navegación del menú para seleccionar el número de repeticiones por lectura.....	32
Figura 19. Navegación del menú para seleccionar el número de repetición por lectura.....	32
Figura 20. Navegación del menú para seleccionar el número de repeticiones por lectura.....	33
Figura 21. Pantalla de inicio una vez cargado un modelo de predicción.	34
Figura 22. Valor de predicción estimado por el espectrómetro.....	35
Figura 23. Zona de lectura (dorsal superior) con el espectrómetro F-750 para frutos de aguacate Hass.....	37
Figura 24. Escaneos de fruto de aguacate con el espectrómetro en campo. Bastan sólo 30 segundos para obtener la lectura de materia seca y decidir la cosecha.	38
Figura 25. Aplicación FruitMap que permite ver en tiempo real el proceso de maduración del fruto y predecir el momento ideal de cosecha.	39

INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad y sanidad en las frutas se ha incrementado por parte de los consumidores, distribuidores y mayoristas. Desafortunadamente muchos factores internos de calidad son difíciles de evaluar durante el empaqueo, procesado y mercadeo. La incapacidad de asegurar la calidad interna del fruto de aguacate ha sido la preocupación más importante de todos los países productores.

La madurez para cosecha es indudablemente la variable más importante que determina la calidad comestible del fruto de aguacate (Brown, 1984; Harker et al., 2007) e influye en los resultados de calidad después del almacenamiento. Sin embargo, la falta de un método confiable para predecir la madurez de corte a través de indicadores externos (Hofman y Jobin-Decor, 1999), propicia que dicho estado de madurez se obtenga de manera destructiva, ya sea mediante la determinación del contenido de aceite o del porcentaje de materia seca (MS) en la pulpa (Lee y Coggins, 1982; Ranney et al., 1992). El contenido de MS es internacionalmente aceptado como indicador de la madurez del fruto de aguacate con fines comerciales, ya que su cuantificación en un horno de microondas es más rápida y mucho más económica que la determinación del contenido de aceite. El porcentaje de MS como índice de madurez fisiológica o 'legal' varía en los países productores y se ubica en un intervalo de 20 a 25 % (Kader y Arpaia, 2000).

La necesidad de encontrar un método preciso, no destructivo y confiable, ha motivado la investigación de parámetros de cosecha mediante espectrometría en el rango visible y el infrarrojo cercano.

ANTECEDENTES

Se han realizado diversos intentos para encontrar un método no destructivo confiable para determinar el contenido de MS del fruto de aguacate. Lo anterior beneficiaría a los productores y empaques al contar con una técnica, rápida, segura y fácil que permita entregar fruta de mayor calidad que incremente la competitividad y rentabilidad de la industria y beneficie directamente al consumidor. A pesar de la necesidad de encontrar métodos no destructivos para determinar la materia seca de la pulpa del fruto de aguacate, los esfuerzos realizados han producido resultados limitados.

La espectrometría es una técnica que permite encontrar las características fisicoquímicas de un material (Rieke, 2003) y es posible relacionar el espectro obtenido con alguna variable, como el contenido de MS, y generar un modelo matemático capaz de predecir muestras futuras. La espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS por sus siglas en inglés), ha mostrado ser un método seguro, preciso, rápido, no destructivo y confiable para la industria. La precisión del NIRS se basa en la calibración de cientos o miles de datos sobre la absorbancia de muchas longitudes de onda para predecir la composición de una muestra (Moron y Cozzolino, 2003; Batten, 1998). Sin embargo, para desarrollar estas calibraciones son necesarias muchas muestras, muchas horas de trabajo y

muchos cálculos computacionales (Davies, 2005). La validez de estos modelos de predicción para evaluar futuras muestras depende de que tan bien se haya hecho la calibración. El mayor desafío en productos hortofrutícolas es la 'robustez' del modelo de calibración, es decir, que funcione en diferentes regiones, épocas de cosecha y en el caso que nos ocupa, para frutos de aguacate 'Hass' cultivados en diferentes regiones y tipos de clima. Varios estudios indican que el modelo se robustece cuando se usan datos obtenidos de múltiples épocas de cosecha, regiones y tipos de frutos, variación geográfica y estacional. El tiempo prolongado requerido para coleccionar muestras de referencia y la falta de información precisa han sido factores limitantes para la adopción del NIRS (Batten, 2004; Malley y Williams, 2005).

En el 2008 el Grupo de Trabajo en Frutales del IICA – PROCINORTE, integrado por investigadores de Canadá, Estados Unidos y México, comenzó a investigar con el análisis de imágenes espectrales en modo de absorción y refracción para estudiar frutos de aguacate 'Hass', concluyendo que la espectrometría es una técnica viable para la determinación de madurez en diferentes frutos. Después de diversas investigaciones realizadas por el Grupo de Trabajo de Frutales-PROCINORTE, que fueron desde la correcta colocación del fruto en el sensor, el rango de longitudes de onda (nm) para el estudio de refracción, entre otras, se vieron en la necesidad de adquirir un equipo comercial para verificar su funcionamiento. Lo anterior, para validar la aplicación del espectrómetro basándose en los conocimientos adquiridos previamente.

DESCRIPCIÓN DEL ESPECTRÓMETRO

El espectrómetro usado en esta investigación fue el modelo F-750 (Felix instruments, Camas, WA, USA) [Figura 1], el cual evalúa los atributos de calidad del fruto utilizando la espectroscopía en luz visible e infrarrojo cercano, en combinación con el análisis quimiométrico. El equipo tiene la función de generar un modelo de predicción NIRS que permite pronosticar una variable de calidad como MS, sólidos solubles totales (SST o °Brix), acidez titulable, color de cáscara, o cualquier variable que se desee estimar de algún fruto. La construcción del modelo de predicción se hace relacionando los espectros obtenidos de un conjunto de frutos con su correspondiente variable en estudio.

El espectrómetro utiliza una lámpara de tungsteno-xenón en el rango de luz visible e infrarrojo cercano, aproximadamente entre 310 y 1100 nm (Felix Instruments, 2015). El algoritmo obtenido calcula variables espectrales con cada escaneo del fruto, tales como, reflectancia, absorbancia, primera derivada de absorbancia y segunda derivada de absorbancia. Adicionalmente, proporciona datos de coordenadas (GPS), temperatura, fecha de la toma de lectura, entre otros. Dichos datos pueden visualizarse mediante el uso de los programas incluidos en el paquete de análisis del espectrómetro, F750 Model Builder y F750 Data Viewer.



Espectrómetro	ZEISS MMS I VIS-NIR
Rango de longitud de onda	310 – 1100 nm (+/- 10 nm)
Muestreo espectral	3 nm
Resolución espectral	8-13 nm
Datos registrados con cada medición	Datos brutos Reflectancia Absorbancia Primera Derivada Segunda Derivada

Figura 1. Especificaciones del espectrómetro F-750.

TEORÍA DE OPERACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO

El principio del funcionamiento del espectrómetro F-750, se basa en cuatro mediciones realizadas directamente al fruto (Figura 2). El espectrómetro procesa dichas mediciones para generar un modelo de predicción. Las cuatro mediciones son el resultado de la combinación entre la lámpara encendida y apagada del espectrómetro y un obturador que se encuentra justo debajo de la lente de vidrio donde se realizan las lecturas a los frutos. Dicho obturador es capaz de cerrar y abrir para regular el flujo de luz cada vez que se realiza una medición. Se obtienen entonces, cuatro mediciones como resultado de la combinación entre la lámpara y el obturador:

- a. Lámpara encendida con obturador abierto (Lamp On - Shutter Open, $L_{On}S_o$).
- b. Lámpara apagada con obturador abierto (Lamp Off - Shutter Open, $L_{Off}S_o$).
- c. Lámpara encendida con obturador cerrado (Lamp On - Shutter Closed, $L_{On}S_c$).
- d. Lámpara apagada con obturador cerrado (Lamp Off - Shutter Closed, $L_{Off}S_c$).

Estas cuatro mediciones disminuyen la probabilidad de ruido instrumental aleatorio al escanear un fruto, generando así un espectro más representativo de la muestra, ya que, en conjunto, se escanea al fruto (Figura 2a) y se eliminan factores aleatorios que alteren su espectro, como la luz ambiental (Figura 2b) y la respuesta en frecuencia del sensor (Figura 2c), considerando la intensidad de la lámpara y la capacidad reflectiva del obturador. Asimismo, diagnostica la respuesta del sensor en función de la batería (Figura 2d).

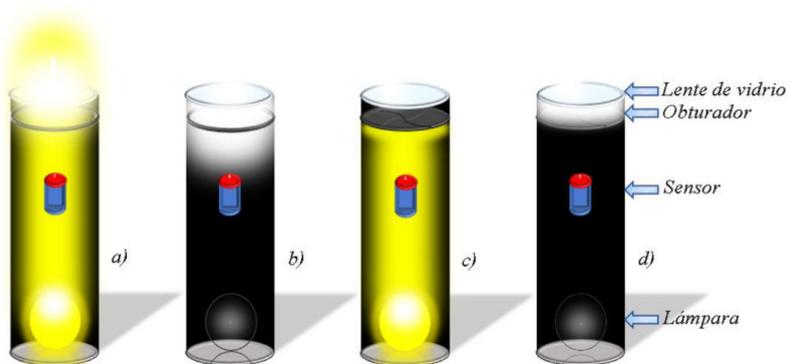


Figura 2. Mediciones de origen. La combinación de la lámpara y el obturador, dan como resultado cuatro mediciones diferentes. a) LOnSO; b) LOffSO; c) LOnSC y d) LOffSC.

Adicionalmente, los cuatro modos de lectura son utilizados por el equipo para diagnosticar el funcionamiento de la lámpara, el obturador y el sensor. Esto se realiza al encender el F-750 y en cada medición de fruto.

Las cuatro mediciones son el resultado de promediar un número de veces la misma lectura, o bien, la totalidad de las lecturas son promediadas para obtener el espectro de cada una de las cuatro mediciones, con el fin de disminuir el ruido instrumental aleatorio. Por defecto, el espectrómetro realiza cuatro escaneos por lectura; sin embargo, el usuario puede modificar el número de lecturas dentro de los parámetros de configuración del equipo. De esta forma las cuatro mediciones de origen, registradas por el espectrómetro, son el resultado del promedio de un número de escaneos definido por el usuario.

El diagrama de la Figura 3 ejemplifica el principio de funcionamiento del espectrómetro F-750 (Olivares-Figueroa, 2018), detallando el procedimiento que realiza el equipo. Cabe resaltar que el algoritmo que realiza el espectrómetro tiene la finalidad de obtener una señal que se relacione más con las variables de referencia (como MS, SST, etc.), disminuyendo el ruido aleatorio provocado por el movimiento del equipo mientras se toma una lectura, la luz ambiental o cualquier otro factor que altere las señales registradas.

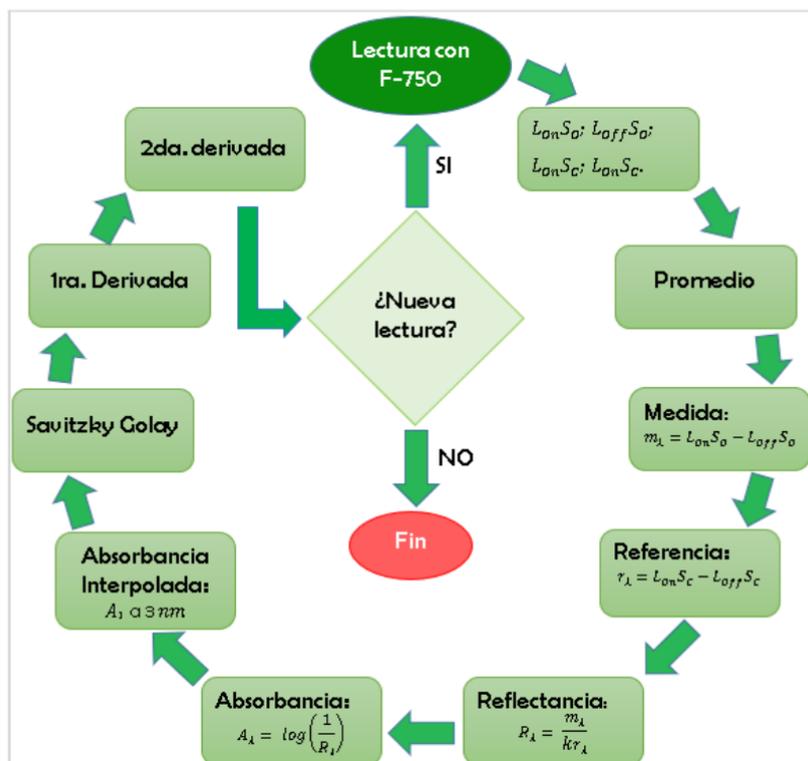


Figura 3. Diagrama de la teoría de operación del espectrómetro F-750 al realizar una lectura.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO HASS3

El 16 de Julio de 2018 se obtuvieron 240 frutos de aguacate ‘Hass’ divididos en ocho categorías de 30 frutos cada una (Figura 4), con un rango de madurez de 15 a 38 % de MS en el huerto y empacadora ‘Purépecha’, localizados en Uruapan, Michoacán.



Figura 4. Frutos de aguacate ‘Hass’ utilizados para la construcción del modelo Hass3.

Es pertinente comentar que en el 2017 se construyeron el modelo Hass1 y Hass2. El primero se desechó porque los valores de referencia de MS se habían calculado con báscula de un dígito y el espectrómetro no podía distinguir los valores de referencia que se habían obtenido sólo con valores enteros. Por otro lado, el modelo Hass2 se construyó considerando sólo madurez legal con un máximo de 27 % de MS (ya con báscula electrónica de dos dígitos) y al validarlo se sugirió que se tomaran en cuenta valores

mayores a 30 % de MS, ya que este parámetro permite manipular temperatura de traslado de frutos virados a negro; es así que se procedió a la construcción del modelo Hass3 considerando frutos con MS de 15 a 38 %.

En el Cuadro 1 se muestran los rangos de MS para cada categoría. Las primeras cuatro categorías fueron cosechadas en el huerto utilizando el espectrómetro F-750 con el modelo 'Hass2' cargado en el equipo, ello con la finalidad de tener una estimación más acertada del contenido de MS para determinar la categoría a la que perteneciera el fruto (Cuadro 1). Las cuatro categorías restantes (de la 5 a 8) fueron seleccionadas en la línea de empacado de la empacadora 'Purépecha', donde el criterio de selección se basó en la experiencia agronómica para estimar la MS, ya que el rango de madurez de estas categorías se encontraba fuera de la capacidad predictiva de modelo 'Hass2', es decir, este modelo no era capaz de predecir índices de MS por arriba de 27 %. Se buscaron frutos de tamaño extra grande, de tal manera que las categorías 5 y 6 se encontraran dentro de los rangos expuestos en el Cuadro 1. Las categorías 7 y 8 fueron seleccionadas de acuerdo con el grado de color de cáscara, frutos parcialmente negros y completamente negros para cada categoría respectivamente.

Cuadro 1. Rango de madurez considerado para la selección de las ocho categorías utilizadas en la etapa de construcción del modelo Hass.

CATEGORÍA	MS (%)
1	15.0 - 17.0
2	18.0 - 20.0
3	21.0 - 23.0
4	24.0 - 26.0
5	27.0 - 29.0
6	30.0 - 32.0
7	33.0 - 35.0
8	36.0 - 38.0

Los frutos fueron trasladados bajo condiciones de aire acondicionado el mismo día de selección desde Uruapan, Michoacán hasta el laboratorio de Postcosecha del Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit. En los dos días siguientes los frutos se clasificaron, se marcaron individualmente y se escanearon en la parte dorsal del cuello con el F-750 a tres temperaturas de aclimatación manteniendo los frutos por al menos 4 h en refrigerador ($15 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$), cuarto en aire acondicionado ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) y cámara de crecimiento ($35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$), con la finalidad de que el modelo ajuste automáticamente la temperatura ambiental en campo. Posteriormente, se obtuvo la MS secando la pulpa de la zona escaneada (dorsal cuello) a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 h en una estufa con aire forzado. Los datos obtenidos en laboratorio se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Rangos de madurez obtenidos para las ocho categorías utilizadas en la etapa de construcción del modelo Hass3.

Categoría	Peso (g)		MS (%)		Tamaño muestra (n)
	Promedio	Desv. Estd.	Promedio	Desv. Estd.	
1	181.3	35.2	16.4	1.4	30
2	209.6	27.1	20.0	1.4	30
3	225.5	26.7	23.3	2.0	30
4	231.6	44.5	24.0	1.6	30
5	327.8	31.8	22.3	2.0	30
6	327.9	22.3	22.4	1.3	30
7	255.9	28.2	31.5	3.9	30
8	248.9	31.0	30.2	2.3	30

DESEMPEÑO DEL MODELO HASS3

El desempeño del modelo puede visualizarse en el entorno del programa F750 Model Builder, de modo que es posible estimar que tan bueno será el modelo para predecir muestras futuras. Este programa ayuda a identificar los posibles ajustes que deben realizarse al modelo para optimizarlo. Este proceso se realiza

cuantas veces sea necesario, antes de importar el archivo Model Builder al espectrómetro F-750 para realizar mediciones físicas.

Una vez completa la barra de carga y la construcción exitosa del modelo, aparecerá una nueva pestaña, “Model Performance Analysis”. En ella, es posible analizar las gráficas de los diferentes parámetros estadísticos que ayudarán a optimizar el desempeño del modelo, donde los más importantes a considerar son la varianza explicada (Explained Variance), error cuadrático medio (Root Mean Square Error), linealidad del modelo (Model Linearity) y error de predicción (Prediction Error).

El valor de cada parámetro está en función de los componentes principales (Principal Components) seleccionados para la construcción del modelo. Las gráficas de línea (como la gráfica de Model Linearity) muestran la contribución de los componentes principales. Un sobreajuste puede ocurrir si se incluyen componentes principales en el modelo que no aportan información sobre el conjunto de datos (MS). El criterio de selección de componentes principales se basa en elegir aquel componente que no presente una variación significativa del 5 % respecto al siguiente componente principal (Péres-Neto et al., 2004).

De la Figura 5 a la 9 se ejemplifica el análisis de desempeño del modelo Hass3:

a. VARIANZA EXPLICADA

La varianza explicada (Figura 5) es útil para identificar que tan buena es la variación de los datos respecto a la media. A medida que la varianza explicada aumenta, el modelo incorpora mejor a todo el conjunto de datos. Además, ayuda a identificar que tan buena fue la selección de madurez de los frutos. Para este caso, con cinco componentes principales la varianza explicada fue igual a 71.93 %, lo que indica que el rango de madurez y/o contenido de MS de los frutos fue adecuado ya que osciló entre 14 y 38 %.

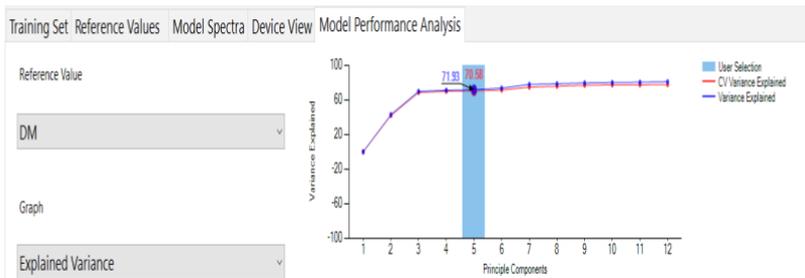


Figura 5. Varianza explicada durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.

b. LINEALIDAD

La linealidad del modelo (Figura 6), representa la bondad de ajuste de la regresión. Un modelo con una R^2 menor que 0.7, probablemente no cumpla con las expectativas de desempeño. Sin embargo, para el modelo Hass3 las expectativas fueron cubiertas apropiadamente ya que la R^2 fue 0.93.

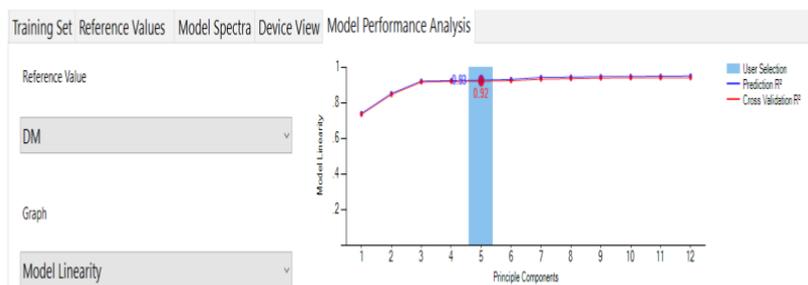


Figura 6. Linealidad encontrada durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.

C. ERROR DE PREDICCIÓN

La gráfica de error de predicción (Figura 7), muestra el valor de referencia (MS) contra el valor predicho por la regresión completa y la validación cruzada. En esta gráfica es posible determinar los valores atípicos o muestras que no encajan bien dentro de la regresión. Aquellas muestras que estén aisladas o que parezcan ser independientes del conjunto de datos, son posiblemente valores atípicos que deben ser eliminados de la muestra total.

En la Figura 7 se aprecian al menos tres valores que están posiblemente fuera de rango. Como lo muestra la gráfica, el fruto número 37 es uno de los valores que se sale del conjunto.

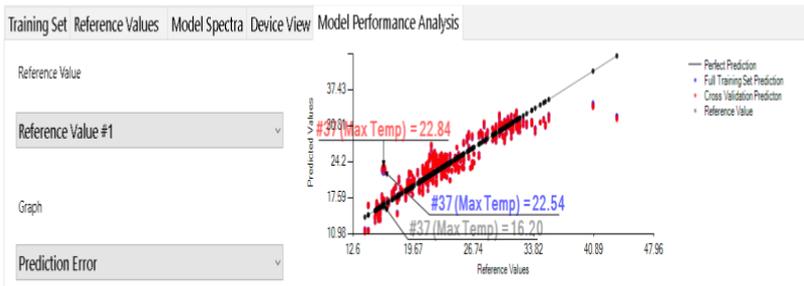


Figura 7. Error de predicción durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.

Para eliminar los valores fuera de rango, es necesario regresar a la pestaña “Training Set” y marcar las casillas correspondientes a los frutos (“Specimen #”) identificados como valores atípicos en la gráfica del error de predicción. En caso de haber utilizado más de una temperatura para la construcción del modelo, asegúrese de marcar las temperaturas consideradas, correspondientes a cada fruto.

Training Set				Model Performance Analysis					
Exclude	Specimen #	Spectra Name	285 nm	288 nm	291 nm	294 nm	297 nm	300 nm	
<input type="checkbox"/>	36	Max Temp	0	0	0	0	0	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	37	Min Temp	0	0	0	0	0	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	37	Mid Temp	0	0	0	0	0	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	37	Max Temp	0	0	0	0	0	0	
<input type="checkbox"/>	38	Min Temp	0	0	0	0	0	0	
<input type="checkbox"/>	38	Mid Temp	0	0	0	0	0	0	

Figura 8. Eliminación de valores fuera de rango durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.

d. ERROR CUADRÁTICO MEDIO

En la Figura 8 se ilustra el error cuadrático medio (RMSE); la línea azul indica la calibración del error cuadrático medio (RMSEC), el cual representa el error promedio de la regresión completa. La línea roja indica la validación cruzada del error cuadrático medio (RMSECV). Este es el error promedio de los datos simulados independientemente.

Esta gráfica es útil para seleccionar el número de componentes principales óptimo y evitar un sobreajuste. Se selecciona entonces el valor RMSECV mínimo, donde la disminución del componente principal anterior sea de al menos 5%, que en este caso correspondió a 1.46, con cinco componentes principales.

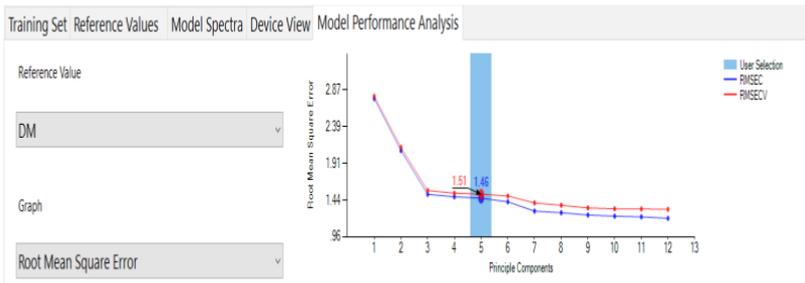


Figura 9. Error Cuadrático Medio durante la construcción del Modelo Hass3 en aguacate.

VALIDACIÓN DEL MODELO HASS3 EN MICHOACÁN

La validación se realizó en varias empacadoras de la Asociación de Productores y Empacadores de Aguacate en México, A.C. (APEAM, A.C.) en Uruapan, Michoacán. Las empacadoras participantes fueron Purépecha, Frutival, Aztecavo, Calavo y Mission. Se realizaron escaneos de 88 lotes con cinco frutos cada uno, provenientes de diferentes municipios (Apatzingán, Ario de Rosales, Charo, Los Reyes, Madero, Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Quiroga, Salvador Escalante, Tacámbaro, Tancítaro, Tingambato, Tocumbo, Turicato, Uruapan y Ziracuaretiro). Los frutos se escanearon con el espectrómetro F-750 en la parte dorsal del cuello. La MS fue obtenida mediante método convencional de microondas de acuerdo a Tercerías (NORMEX, PAMFA y SIAR). Los resultados indicaron que los valores de MS obtenidos con el F-750 variaron de 20.08 a 32.73 % con un promedio de 26.87 % (Cuadro 3), en tanto que para el método de microondas varió de 17.53 a 39.68 %, con un promedio de 26.97 %. La diferencia promedio entre el F-750 y el horno de microondas fue de sólo 0.10 %, aunque la R^2 fue más baja de lo esperado ($R^2 = 0.3195$) [Figura 10].

Cuadro 3. Materia seca (%) de frutos de aguacate ‘Hass’ usados para la validación del modelo Hass3 en Michoacán.

	MS (%) F-750 (Dorsal cuello)	MS (%) Microondas	Diferencia (%) (Dorsal cuello)
Mínimo	20.08	17.53	-9.50
Máximo	32.73	39.68	11.74
Promedio	26.87	26.97	0.10

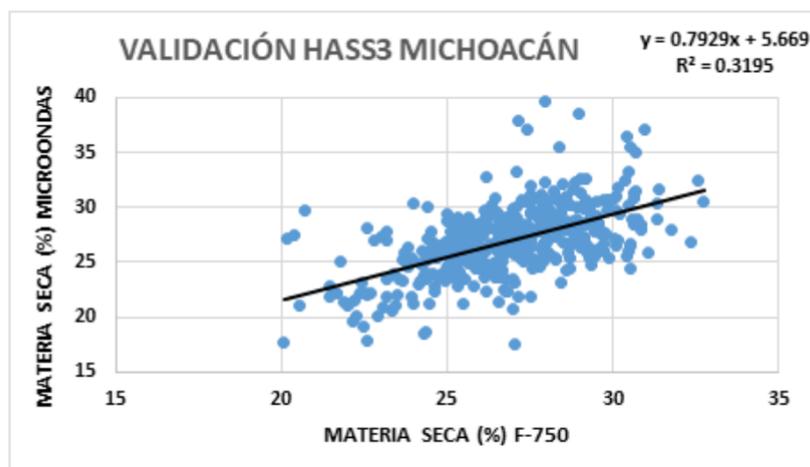


Figura 10. Regresión entre MS obtenida con el F-750 en la parte dorsal del cuello y la MS obtenida mediante horno de microondas.

VALIDACIÓN DEL MODELO HASS3 EN NAYARIT

La validación se realizó en huertos de los municipios de Xalisco y Tepic, Nayarit. Se realizaron escaneos de 249 frutos con el espectrómetro F-750 en la parte dorsal del cuello. La MS fue obtenida mediante método convencional de microondas de acuerdo a la Junta Local de Sanidad Vegetal de Xalisco, Nayarit. Los resultados indicaron que los valores de MS obtenidos con el F-750 variaron de 17.2 a 29.1 % con un promedio de 22.4 % (Cuadro 4), en tanto que para el método de microondas varió de 11.3 a 25.0 %, con un promedio de 19.2 %. La diferencia promedio entre el F-750 y el horno de microondas fue de 3.2 %, aunque la R^2 mejoró al incrementarse a 0.4994 (Figura 11).

Cuadro 4. Materia seca (%) de frutos de aguacate ‘Hass’ usados para la validación del modelo Hass3 en Nayarit.

	MS (%) F-750 (Dorsal cuello)	MS (%) Microondas	Diferencia (%) (Dorsal cuello)
Mínimo	17.2	11.3	5.9
Máximo	29.1	25.0	4.1
Promedio	22.4	19.2	3.2

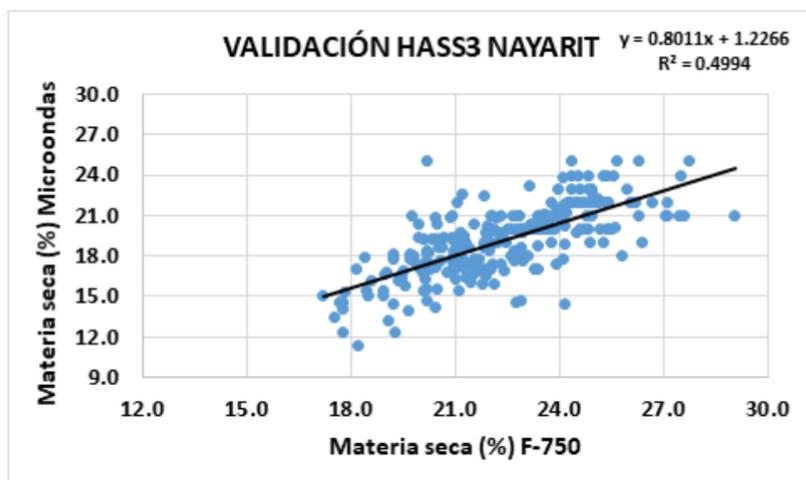


Figura 11. Regresión entre MS obtenida con el F-750 en la parte dorsal del cuello y la MS obtenida mediante horno de microondas.

VALIDACIÓN DEL MODELO HASS3 EN MICHOACÁN Y NAYARIT

Con la finalidad de robustecer al modelo, se evaluaron un total de 931 frutos, 682 provenientes de diferentes municipios de Michoacán y 249 de Tepic y Xalisco, Nayarit. Los escaneos con el espectrómetro F-750 se realizaron en la parte dorsal del cuello. La MS fue obtenida mediante método convencional de microondas de acuerdo a Tercerías (NORMEX, PAMFA y SIAR) y a la Junta Local de Sanidad Vegetal de Xalisco. Los resultados indicaron que los valores de MS obtenidos con el F-750 variaron de 17.2 a 32.7 %

con un promedio de 25.3 % (Cuadro 5), en tanto que para el método de microondas varió de 11.3 a 37.2 %, con un promedio de 24.1 %. La diferencia promedio entre el F-750 y el horno de microondas fue de 1.2 %, pero en esta ocasión, debido al alto número de muestras considerando diversos ambientes, la R^2 mejoró notablemente alcanzando un valor ligeramente superior al mínimo deseado ($R^2 = 0.706$) [Figura 12].

Cuadro 5. Materia seca (%) de frutos de aguacate ‘Hass’ usados para la validación del modelo Hass3 en Michoacán y Nayarit.

	MS (%) F-750 (Dorsal cuello)	MS (%) Microondas	Diferencia (%) (Dorsal cuello)
Mínimo	17.2	11.3	5.9
Máximo	32.7	37.2	4.5
Promedio	25.3	24.1	1.2

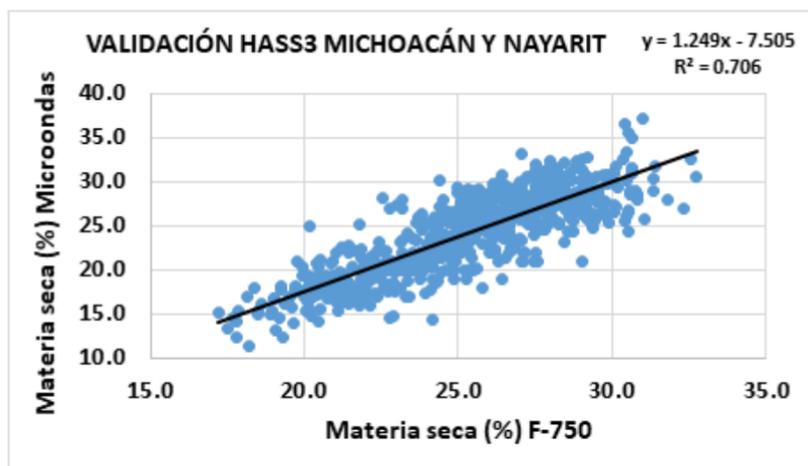


Figura 12. Regresión entre MS obtenida con el F-750 en la parte dorsal del cuello y la MS obtenida mediante horno de microondas.

TOMA DE LECTURAS CON EL F-750

El entorno de manejo del espectrómetro F-750 es muy sencillo, facilitando al usuario las condiciones de navegación dentro del menú de configuración. El equipo cuenta únicamente con 6 botones (Figura 13). Se tiene un botón de encendido, uno de escaneo y cuatro botones direccionales, flecha izquierda (<), derecha (>), arriba (^) y abajo (v). El botón de escaneo es utilizado únicamente cuando se tiene un modelo de predicción previamente seleccionado y cargado en el equipo. Los botones direccionales son utilizados para navegar dentro del menú de configuración del equipo. El Cuadro 6 muestra la utilidad de cada botón para el control de navegación del menú.

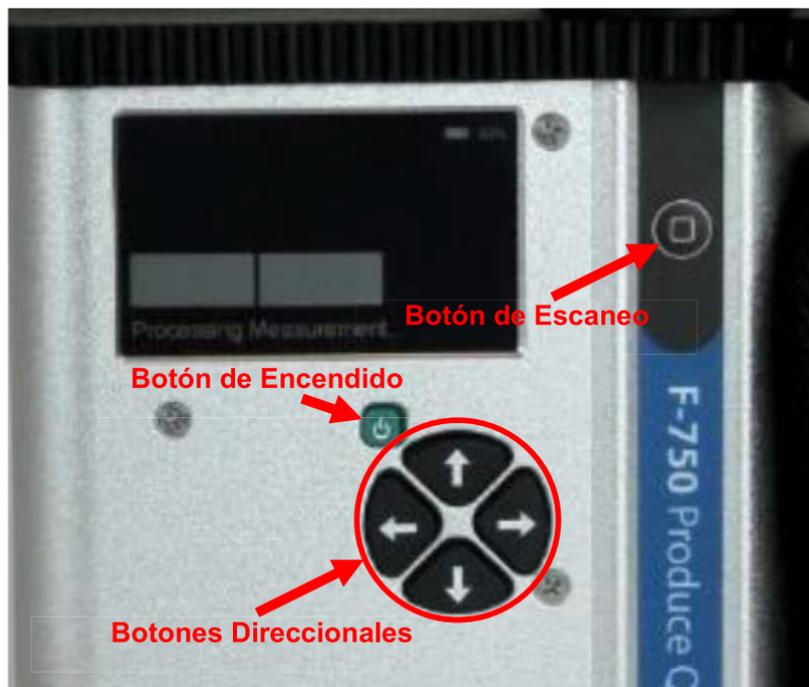


Figura 13. Controles para el uso del espectrómetro F-750. Los botones direccionales son utilizados para navegar dentro del menú de configuración.

Cuadro 6. Utilidad de los controles de navegación del menú.

Controles de Navegación del Menú	
Botón	Función
Flecha Derecha	Entrar/Seleccionar
Flecha Izquierda	Salir/Regresar/Borrar
Flechas arriba/abajo	Desplazarse para seleccionar la opción
Mantener la flecha direccional presionada	Desplazarse rápido para seleccionar número/letra y para desplazarse en la columna de mediciones
Botón de encendido	Encender/Apagar
Botón de escaneo	Escanear/Medir al fruto

Procedimiento: Presione el botón de encendido un par de segundos para encender el F-750. Se mostrará en la pantalla una barra que se cargará conforme realice el diagnóstico de la unidad, como la duración de la batería, diagnóstico de lámpara y obturador, verificación de GPS, entre otros (Figura 13).

En el menú principal presione el botón de escaneo si desea medir un fruto con un modelo previamente cargado o presione el botón direccional de la flecha derecha (>) para acceder a la navegación del menú. Por el contrario, presione la flecha izquierda (<) para regresar a la pantalla anterior.

El menú principal consiste de tres opciones: Seleccionar Modelo (Select Model), Buscar Registros (Browse Records) o Configuraciones (Setup Instrument).

Las siguientes instrucciones indican los pasos a seguir para la selección de modelos creados previamente en el equipo, así como la selección del número de repeticiones por lectura y la forma correcta de escanear a los frutos. Tome en cuenta que los símbolos (<, >, ^ y v) indican el botón direccional correspondiente que se debe presionar para navegar dentro del menú.

a. SELECCIÓN DEL MODELO

Para seleccionar un modelo de predicción construido previamente por el programa F750 Model Builder realice los siguientes pasos:

1. Una vez encendido el equipo, asegúrese de situarse en la pantalla de inicio. Acceda al menú principal presionando la flecha derecha (>) y seleccione (>) "Select Model" (Figura 14).

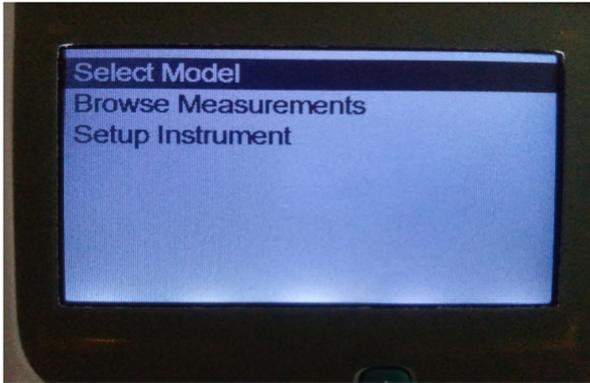


Figura 14. Navegación del menú para seleccionar un modelo.

2. Utilice los botones direccionales (\wedge y \vee) para situarse en el modelo que desea seleccionar. Presione la flecha derecha ($>$) para elegir el modelo de predicción deseado (Figura 15).



Figura 15. Navegación del menú para seleccionar un modelo.

3. Seleccione (>) la opción “Load Model”. Espere a que el equipo termine de cargar el modelo para realizar las mediciones espectrales de los frutos (Figura 16).

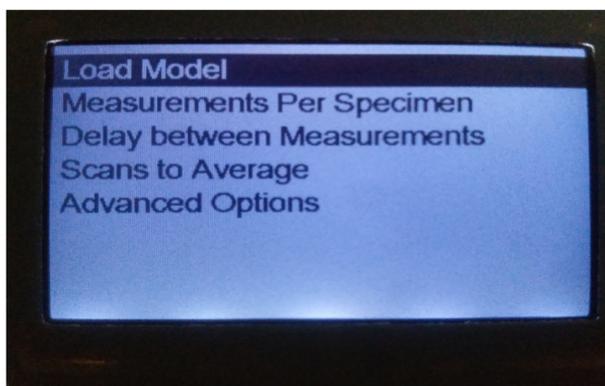


Figura 16. Navegación del menú para seleccionar un modelo. Load Model.

4. Si el modelo que seleccionó ya se encontraba cargado en el equipo, aparecerá la opción “Collect Measurement” (Figura 17). Al seleccionar esta opción con la flecha derecha (>), el equipo coleccionará el espectro del fruto medido (realizará la misma función del botón de escaneo de la Figura 13).

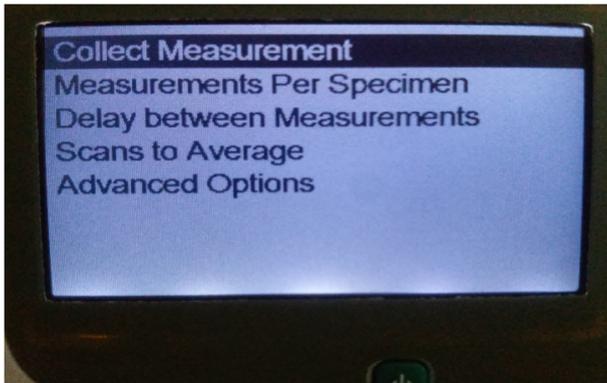


Figura 17. Navegación del menú para seleccionar un modelo.

b. SELECCIÓN DEL NÚMERO DE REPETICIONES POR LECTURA

Dentro del menú de configuración del F-750, se puede modificar el número de repeticiones por lecturas que se desean realizar para promediar los escaneos (“Scans to Average”), con la finalidad de disminuir el error aleatorio presente en las mediciones. A mayor número de escaneos por lectura, se tiene una mayor precisión en la medición; sin embargo, el tiempo que tardará en realizar las lecturas también aumentará. Si no se modifica este parámetro, por default el equipo realizará cuatro escaneos en cada medición.

1. Desde la pantalla de inicio acceda al menú “Select Model” y seleccione el modelo que desee (Figura 18).

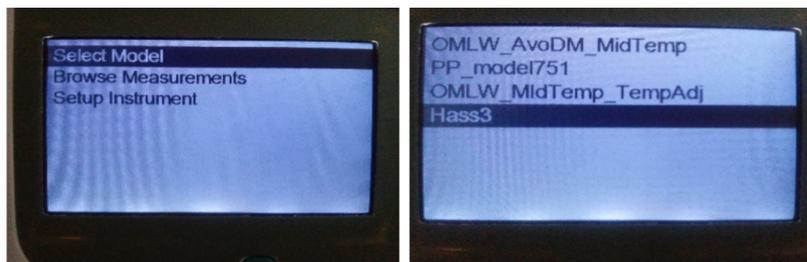


Figura 18. Navegación del menú para seleccionar el número de repeticiones por lectura.

2. Seleccione la opción “Scans to Average” (Figura 19).

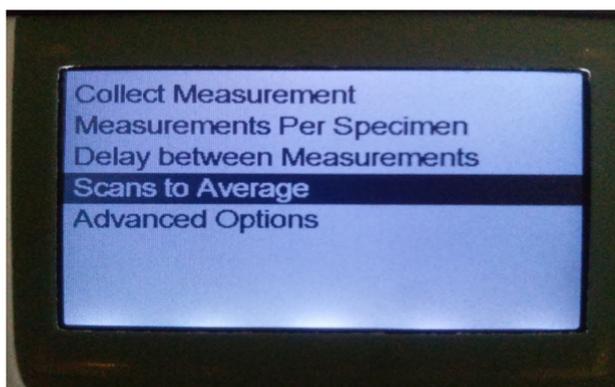


Figura 19. Navegación del menú para seleccionar el número de repetición por lectura.

3. Modifique el número de escaneos que desea realizar en cada medición utilizando las flechas (\wedge y \vee). Es recomendable seleccionar ocho escaneos por lectura para obtener la medición con un margen de error mínimo. El cuadro resaltado en color negro indica la posición en la que puede modificar el número (Figura 20). Presione una vez la flecha derecha ($>$) para situarse en la siguiente posición y poder escribir un número con dos cifras o presione dos veces el botón direccional ($>$) para guardar el número de repeticiones por escaneo. Mantenga presionadas las flechas (\wedge o \vee) para encontrar rápidamente el número deseado. Para borrar un número, colóquese en el número que desea borrar y presione la flecha izquierda ($<$). Para regresar al menú anterior colóquese en el primer número y nuevamente presione la flecha izquierda ($<$).

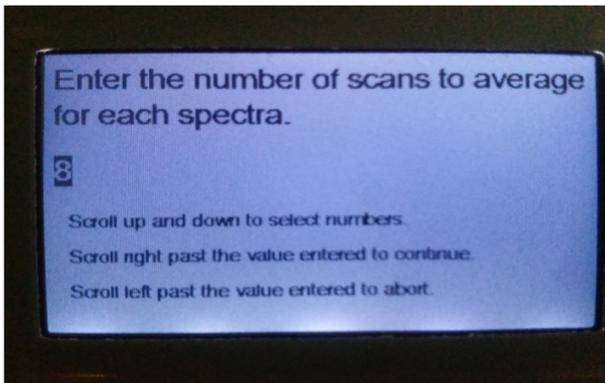


Figura 20. Navegación del menú para seleccionar el número de repeticiones por lectura.

c. PROCEDIMIENTO TOMA DE LECTURAS

Antes de realizar mediciones al conjunto de frutos, asegúrese de haber cargado el modelo de predicción deseado y el número de repeticiones recomendadas en el inciso anterior. La Figura 21 muestra la pantalla de inicio una vez cargado un modelo de predicción. Verifique que el nombre del modelo de predicción que seleccionó corresponda al nombre que aparece en la parte superior izquierda de la pantalla de inicio.

La carga de la batería se aprecia en la parte superior derecha de la pantalla. Verifique constantemente el nivel de carga que tiene la batería. Es recomendable cambiarlas cuando el porcentaje de carga disminuya al 30 %, para tener mayor certeza en las mediciones y evitar que el equipo se apague.



Figura 21. Pantalla de inicio una vez cargado un modelo de predicción.

Coloque el fruto en la lente de vidrio para tomar la muestra espectral y presione el botón de escaneo ilustrado en la Figura 13. Este proceso puede tardar alrededor de 30 segundos (depende del número de repeticiones seleccionadas “Scans to Average”) mientras enciende/apaga la lámpara y abre/cierra el obturador. Asegúrese de no retirar el fruto ni moverlo hasta que aparezca el número estimado por el espectrómetro. El valor de predicción se mostrará en el menú ilustrado en la Figura 22.

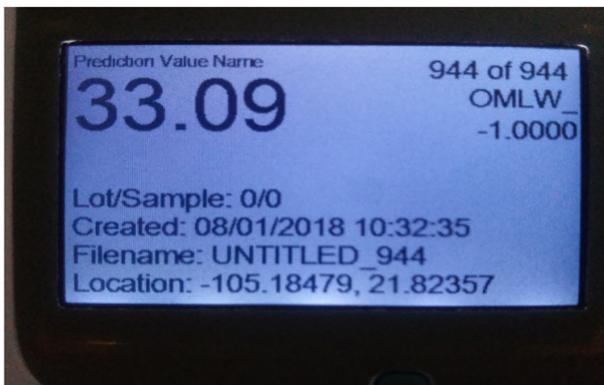


Figura 22. Valor de predicción estimado por el espectrómetro.

La leyenda “Saving...” mostrada en la parte superior derecha indica que aún se está guardando el valor estimado por el equipo, así como su espectra, fecha, nombre, latitud, longitud, entre otros. No se podrá realizar otra lectura con el botón de escaneo o cualquier operación hasta que la leyenda “Saving...” sea reemplazada por el número de escaneo del fruto, por ejemplo “944 of 944”.

Si desea ver el valor de mediciones anteriores, presione la flecha direccional (v), se mostrará en la pantalla el número de escaneo del fruto correspondiente, por ejemplo “943 of 944”.

d. ZONA DE LECTURA PARA AGUACATE ‘HASS’ CON EL F-750

La medición con el espectrómetro debe ser realizada en una zona estratégica dependiendo del fruto y la variedad. Es necesario escanear al fruto en un área donde únicamente se encuentre la cáscara y la pulpa, evitando que la luz emitida por el espectrómetro tenga contacto con la semilla. La Figura 23 muestra la superficie marcada con un círculo donde se realizó la medición para los 240 frutos de aguacate ‘Hass’. Se aprecia que el área marcada corresponde a la parte dorsal superior, ya que como se mencionó, en esa zona el grosor de pulpa es mayor que en cualquier otra zona. Asimismo, es necesario evitar frutos que tengan un daño considerable en la cáscara, especialmente si el daño se encuentra en la zona marcada para realizar la lectura.



Figura 23. Zona de lectura (dorsal superior) con el espectrómetro F-750 para frutos de aguacate Hass.

Por otro lado, una de las grandes ventajas de este equipo es que ofrece la posibilidad de tomar los escaneos directamente en campo, proporcionar los valores de materia seca, georreferenciar los datos del huerto y enviar directamente la información a una base de datos (Figura 24).



Figura 24. Escaneos de fruto de aguacate con el espectrómetro en campo. Bastan sólo 30 segundos para obtener la lectura de materia seca y decidir la cosecha.

Además, este instrumento viene integrado con la aplicación FruitMaps, la cual permite visualizar en tiempo real el proceso de maduración del fruto desde cualquier lugar, el huerto, la finca, su oficina e inclusive desde su celular y también predecir el momento ideal de cosecha (Figura 25).



Figura 25. Aplicación FruitMaps que permite ver en tiempo real el proceso de maduración del fruto y predecir el momento ideal de cosecha.

CONCLUSIONES

- Se construyó y validó exitosamente el Modelo Hass3 utilizando el espectrómetro F-750.
- El espectrómetro F-750 es un equipo portátil que permite determinar materia seca de aguacate 'Hass' de manera no destructiva en campo.
- El uso comercial del equipo permitirá a la industria de aguacate contar con una herramienta que eventualmente sustituya a la técnica convencional del horno de microondas para determinar materia seca en frutos de 'Hass', eliminando la substancial pérdida de fruto por muestreos destructivos y fortaleciendo la certidumbre de momento óptimo de cosecha al poder muestrear un mayor número de frutos que la Norma actual y sobre todo, monitoreando el proceso de maduración sin cosechar los frutos.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Cooperativo en Investigación y Tecnología Agrícola para la Región Norte (PROCINORTE) por el financiamiento parcial de la investigación y costo de publicación de este folleto, así como a productores y empacadores de aguacate ‘Hass’ de Michoacán, Nayarit y Jalisco.



LITERATURA CITADA

Batten, G.D. 1998. An appreciation of the contribution of NIR to agriculture, *J. Near Infrared Spectroscopy*, 6: 105–114.

Batten, G.D. 2004. Hirschfeld Award Lecture. Near infrared spectroscopy: A key to more food, better food and a safer environment, *NIR News*, 15: 4–8.

Brown, B.I. 1984. Market maturity indices and sensory properties of avocados grown in Queensland. *Food Technol Aust* 37:474–476.

Davies, T. 2005. NIR spectroscopy. An introduction to near infrared spectroscopy. Karl H. Norris, *NIR News*, 16: 9–11.

Felix Instruments, 2015. Operations Manual. 1554 NE 3rd Ave, Camas, WA 98607, USA: Felix Instruments.

Harker, F.R., S.R. Jaeger, P. Hofman, C. Bava, M. Thompson, B. Stubbings. 2007. Australian consumers' perceptions and preferences for 'Hass' avocado. Report No. AV06025, Horticulture Australia Ltd, Sydney.

Hofman, P.J. and M. Jobin-Décor. 1999. Effect of fruit sampling and handling procedures on the percentage dry matter, fruit mass, ripening and skin colour of 'Hass' avocado. *J Hort Sci Biotechnol* 74:277–282.

Kader, A.A. and M.L. Arpaia. 2000. Aguacate (Palta): Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Aguacate_Palta/

Lee, S.K. and W.J. Coggins. 1982. Dry weight method for determination of avocado fruit maturity. Calif Avocado Soc Yearbook 66:67–70.

Malley, D. and P. Williams. 2005. The future of near infrared spectroscopy: applications for the environment, NIR News, 16: 20–22.

Moron, A. and D. Cozzolino. 2003. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy to study physical properties and microelements in soils, J. Near Infrared Spectroscopy, 11: 145–154.

Olivares Figueroa, J. D. (2018). Modelo espectrométrico no destructivo para la determinación de madurez y su evaluación en mango. Tesis de Licenciatura. Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías. Tepic: Universidad Autónoma de Nayarit. 104 p.

Péres-Neto, P. R., D. A. Jackson, and K. M. Somers. 2004. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. University of Toronto, Toronto, ON, Canada M5S 3G5, Department of Zoology. Canada: Computational Statistics & Data Analysis 49.

Ranney, C.A., G. Gillette, A. Brydon, S. McIntyre, O. Rivers and C. A. Vasquez C.A. 1992. Physiological maturity and percent dry matter of California avocado, in Proceedings of the World Avocado Congress II, California, pp. 379–385.

Rieke, G. (2003). Detection of Light From the Ultraviolet to the Submillimeter (2 ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

PERSONAL INVESTIGADOR CAMPO EXPERIMENTAL SANTIAGO IXCUINTLA

Ph. D. Filiberto Herrera Cedano

Director de Coordinación y Vinculación del INIFAP en Nayarit y Encargado del Despacho de los Asuntos de la Jefatura del Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit.

Investigador	Programa
M.C. Arturo Álvarez Bravo	Agrometeorología y modelaje
M.C. F. Gerardo Balderas Palacios	Plantaciones y sistemas forestales
M.C. José de Jesús Bustamante Guerrero	Carnes de rumiantes
M.C. Luis Enrique Fregoso Tirado	Manejo integral de cuencas
Dr. Rafael Gómez Jaimes	Sanidad forestal y agrícola
Dra. Irma Julieta González Acuña	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
M.C. Nadia Carolina García Álvarez	Frijol y garbanzo
Dr. Luis Martín Hernández Fuentes	Sanidad forestal y agrícola
Ph. D. Guillermo Martínez Velázquez	Carne de rumiantes
Dra. Adriana Mellado Vázquez	Frutales
M.C. Yolanda Nolasco González	Inocuidad de alimentos
Ph. D. Jorge Alberto Osuna García	Inocuidad de alimentos
M. C. José Antonio Palacios Fránquez	Salud animal
Dra. María Hilda Pérez Barraza	Frutales
M. C. Raúl Plascencia Jiménez	Pastizales y cultivos forrajeros
M. C. J. Vidal Rubio Ceja	Carne de rumiantes
Ph. D. Samuel Salazar García	Frutales
M. C. Roberto Sánchez Lucio	Inocuidad de alimentos
Ph. D. Mario Alfonso Urías López	Sanidad forestal agrícola
Ph. D. Víctor Antonio Vidal Martínez	Maíz
Ph. D. José Francisco Villanueva Avalos	Pastizales y cultivos forrajeros

En el proceso editorial de la presente publicación participó
el siguiente personal:

Coordinación de la Información

Dr. José Antonio Rentería Flores
Dr. Jorge Armando Bonilla Cárdenas
Ph. D. Filiberto Herrera Cedano

Revisores Técnicos

M. C. Yolanda Nolasco González
M. C. Juan Antonio Herrera González

Edición

Ph. D. Jorge Alberto Osuna García

Diseño y Formación

Ph. D. Jorge Alberto Osuna García
Ing. Jesús Daniel Olivares Figueroa

Fotografías

Ph. D. Jorge Alberto Osuna García
Ing. Jesús Daniel Olivares Figueroa

Código INIFAP

MX-310704-52-05-24-09-36

Para mayor información escriba, llame o acuda al:

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL
PACÍFICO CENTRO (CIRPAC) - INIFAP**

Interior del Parque Los Colomos S/N
Colonia Providencia
Guadalajara, Jalisco, México
CP. 44660
Teléfono: 01 800 088 22 22 conmutador

**CAMPO EXPERIMENTAL SANTIAGO IXCUINTLA.
CIRPAC-INIFAP**

Km. 6 Carretera Internacional México-Nogales entronque a
Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla., Nayarit. México.
C.P. 63300.
Teléfono: 01 800 088 22 22 IP: 84415

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO CENTRO (CIRPAC)

El CIRPAC comprende los cuatro Estados del Pacífico Central de la República Mexicana, que son Colima, Jalisco, Michoacán y Nayarit. Estos en su conjunto abarcan una superficie de 154,364 km², que representan 7.5% de la superficie nacional. En esta región viven 12,235,866 habitantes (INEGI, 2005), correspondiendo más de la mitad de ellos al Estado de Jalisco. Un 42.6% de la Región Pacífico Centro es apta para la ganadería; 34.56% tiene vocación forestal y 22.84% comprende terrenos apropiados para las actividades agrícolas. La Región Pacífico Centro, posee una gran variedad de ambientes, que van desde el templado subhúmedo frío, hasta el trópico árido muy cálido. En la figura de abajo se muestra la distribución de los ambientes en la Región Pacífico Centro.

Los sistemas productos más relevantes para la Región Pacífico Centro y para los que el CIRPAC realiza investigación y transferencia de tecnología son: aguacate, limón mexicano, mango, agave tequilana, aves-huevo, porcinos-carne, maíz, bovinos-leche, melón, maderables, pastizales y praderas, sorgo, caña de azúcar, bovinos-carne, no maderables, garbanzo, copra, bovinos-doble propósito, sandía, plátano, frijol, papaya, durazno, guayaba y ovinos-carne.

El CIRPAC atiende las demandas del sector en investigación, validación y transferencia de tecnología, a través de cinco campos experimentales estratégicos, tres sitios experimentales y una oficina regional en la Cd. de Guadalajara, Jalisco. La ubicación de campos y sitios experimentales se muestra abajo.

La presente publicación se terminó de editar en los talleres
gráficos de Prometeo Editores S.A. de C.V.
Libertad 1457, Colonia Americana, Guadalajara, Jalisco.
C.P. 44160.
Tel. (33)38262726 y 38 26 27 82
e-mail: prometeoeditores@prodigy.net.mx

Noviembre del 2018
Editado en México | Edited in Mexico.



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

WWW.INIFAP.GOB.MX

En esta publicación se describe el uso de un espectrómetro portátil para determinar la materia seca de la pulpa de manera no destructiva en frutos de aguacate 'Hass'. Se describe el instrumento, su teoría de operación, así como la construcción y validación del Modelo Hass3.

Se concluye que se construyó y validó exitosamente el Modelo Hass3 utilizando el espectrómetro F-750, el cual es un equipo portátil que permite determinar materia seca de aguacate 'Hass' en el campo, mientras el fruto continúa adherido al árbol.

El uso comercial del equipo permitirá a la industria del aguacate contar con una herramienta complementaria que eventualmente sustituirá a la técnica convencional del horno de microondas para determinar materia seca en frutos de aguacate 'Hass', eliminando la substancial pérdida de fruto por muestreos destructivos y fortaleciendo la certidumbre del momento óptimo de cosecha al poder muestrear un mayor número de frutos que lo indicado por la Norma actual y sobre todo, monitorear el proceso de maduración del fruto sin destruirlo.