

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE QUÍMICA



***CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS TRANS EN FRITURAS POPULARES
(HARINAS FRITAS) POR EL MÉTODO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
FTIR-ATR***

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

**ANA GLORIA BERNAL CONTRERAS
KATE AMÉRICA CHÁVEZ MARTÍNEZ**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIATURA EN CIENCIAS QUÍMICAS**

DOCENTES DIRECTORES:

**MSc. BESSY EVELYN GÁLVEZ CARDOZA
Lic. HENRY ALFREDO HERNÁNDEZ CONTRERAS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE QUÍMICA



***CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS TRANS EN FRITURAS POPULARES
(HARINAS FRITAS) POR EL MÉTODO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
FTIR-ATR***

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

Br. ANA GLORIA BERNAL CONTRERAS

Br. KATE AMÉRICA CHÁVEZ MARTÍNEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIATURA EN CIENCIAS QUÍMICAS

DOCENTES DIRECTORES:

MSc. BESSY EVELYN GÁLVEZ CARDOZA _____

Lic. HENRY ALFREDO HERNÁNDEZ CONTRERAS _____

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE QUÍMICA



***CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS TRANS EN FRITURAS POPULARES
(HARINAS FRITAS) POR EL MÉTODO DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA
FTIR-ATR***

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

Br. ANA GLORIA BERNAL CONTRERAS

Br. KATE AMÉRICA CHÁVEZ MARTÍNEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIATURA EN CIENCIAS QUÍMICAS

TRIBUNAL EVALUADOR:

MSc. FRANCISCO JOSÉ AGUIRRE

MSc. ROSARIO AMANDA DE ZEPEDA

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

AUTORIDADES:

Lic. LUIS ARGUETA ANTILLÓN.

RECTOR.

Dra. ANA LETICIA DE AMAYA.

SECRETARIA GENERAL

Licda. NORA BEATRIZ MELÉNDEZ.

FISCAL GENERAL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA.

Lic. MAURICIO HERNÁN LOVO CÓRDOVA.

DECANO

Lic. DAMARIS MELANY HERRERA TURCIOS.

SECRETARIA

Dr. ALEX ADONAI OSORIO LANDAVERDE

DIRECTOR DE LA ESCUELA DE QUÍMICA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a:

Nuestro Padre Celestial por darnos la vida y por su omnipresencia en todos nuestros valiosos años de estudio, por otorgarnos la oportunidad del conocimiento y así poder apreciar la belleza de su creación.

MSc. Bessy Evelyn Gálvez Cardoza, por su apoyo, conocimiento y paciencia en la redacción de nuestra investigación.

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras, por brindarnos su apoyo incondicional desde el primer momento, su valioso conocimiento como analista, dedicación y paciencia que nos mostró hasta la culminación de nuestro trabajo.

MSc. Rosario de Zepeda, por su fina dedicación en la revisión de nuestro trabajo, por su valioso conocimiento y ética que tuvo siempre con nosotras.

MSc. Francisco Aguirre, por su fina dedicación en la revisión de nuestro trabajo, por su valioso conocimiento y sutilidad que mostró para con nosotras.

Y a todas las personas que nos ayudaron aportando sus valiosos conocimientos.

GLORIA BERNAL Y KATE CHÁVEZ

DEDICATORIA

A Dios Todo Poderoso y la Virgen María y a San Judas Tadeo, por sus infinitas bendiciones que han brindado en mi vida, familia, amor, sabiduría, fortaleza y persistencia en todo mi proceso educativo.

A mis excelentes padres, Rosa Margarita Contreras Vásquez de Bernal y Juan Antonio Bernal Meléndez, los amo; son unos padres ejemplares que me han apoyado incondicionalmente en todo momento, durante toda mi formación educativa, les agradezco por el arduo esfuerzo y desempeño para ayudarme a alcanzar mis metas y logros. Gracias por su amor, dedicación, motivación, consejos, paciencia y noches de desvelo durante mi proceso de formación y proceso de grado. Gracias por su amor ilimitado.

A mis hermanas, Doris Yaneth Contreras y Jaqueline Yessenia Bernal Contreras, por su apoyo, son excelentes personas, gracias por su amor, motivación, comprensión y siempre están presentes en mi vida en todo momento, que Dios las colme de bendiciones en sus vidas.

A mi esposo José Froilan Barahona Portillo por brindarme su apoyo incondicional, y motivarme a luchar por lograr mis sueños.

A mi hijo Diego Alexander Barahona Bernal por ser mi inspiración para culminar mis estudios, una meta más de muchas proyectadas.

A Kate América Chávez por su ayuda, con ella comparto el haber culminado nuestro proceso de grado, que con ardua labor, constante esfuerzo y dedicación hemos logrado terminar nuestro proceso de grado, que Dios bendiga nuestro excelente trabajo.

A mis amigos por sus palabras de ánimo que me brindaron en momentos difíciles, los quiero mucho, que Dios los bendiga siempre.

¡Esfuézate! Si te lo propones, no habrá muro que no puedas derribar, ni puerta que no seas capaz de abrir, ni cima lejana que no logres alcanzar. ¡Esfuézate en seguir tu ruta de la mano de Dios! (César Guzmán/Superación).

GLORIA BERNAL

DEDICATORIA

A Dios, universo, vida, salud, alimento, agua, madre tierra, sol, luna y las estrellas del firmamento que me acompañan cada momento.

A mi padre Omar Alex-Sander Chávez Linares, por su sacrificio, por educarme para ser libre y pensar por mí misma, por enseñarme a ser fuerte y no importa cualquier dificultad, debo luchar por alcanzar mis metas y sueños, con sabiduría.

A mi madre América Martínez de Chávez por el cariño, la paciencia y el apoyo incondicional, me ha enseñado a ser leal y a realizar mis proyectos de vida y profesional con entrega y buena voluntad.

A mi familia, hermanos y sobrinos, por su apoyo, por su valiosa compañía, me han bendecido con amor y alegría.

A mis maestros por su sabiduría y conocimiento, me han enseñado a ser analista y a explorar la materia y la antimateria.

A Ana Gloria Bernal Contreras, por la entrega y compromiso que mostró desde un inicio hasta el final de este trabajo de investigación.

A Ricardo José Quijada Sánchez, por su apoyo incondicional, por su paciencia y sus palabras de estímulo.

A mis amigos por estos años de diversión, llenos de magia y emoción.

KATE CHÁVEZ

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
	CAPÍTULO I
1.1	INTRODUCCIÓN 1
	2,3
	CAPÍTULO II
2.1	OBJETIVOS 4
2.1.1	OBJETIVO GENERAL 5
2.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
	CAPÍTULO III
3.1	MARCO TEÓRICO 6
3.1.1	LÍPIDOS 7
3.1.2	ÁCIDOS GRASOS 7,8
3.1.3	ÁCIDOS GRASOS TRANS 8,9
3.1.4	CONSIDERACIONES BIOQUÍMICAS DE LOS ÁCIDOS GRASOS 9
3.1.4.1	Digestión, Absorción y Metabolismo de ácidos graso 10
3.1.4.2	Efectos adversos por el consumo de ácidos grasos trans 14
3.1.4.2.1	Efecto de los ácidos grasos naturales y sintéticos sobre la estructura de la membrana, las funciones celulares y la salud humana 14,17
3.1.4.2.2	Efecto negativo de los ácidos grasos trans sobre los ácidos grasos esenciales 17,19
3.1.4.2.3	Efecto de las grasas trans relacionados con enfermedades cardiovasculares 19,20
3.1.4.2.4	Efecto de las grasas trans en el riesgo de diabetes mellitus tipo II 20,21
3.1.4.2.5	Efecto de las grasas trans sobre el aumento de la inflamación sistémica 21,22
3.1.5	IMPORTANCIA DEL ANALISIS DE GRASAS 22
3.1.5.1	La necesidad de ácidos grasos esenciales en la dieta 22,24
3.1.5.2	Funciones en el organismo 24
3.1.5.3	Importancia nutricional 24,25
3.1.5.4	Proceso de fritura 25
3.1.5.5	Cambios químicos que se producen en los aceites al ser calentados 26,27
3.1.5.6	Termooxidación de los ácidos grasos trans 27,28
3.1.6	Normas de Exposición y Directrices 28,29
3.1.6.1	Reglamento de ácidos grasos trans Internacional 29,30
3.1.6.2	Legislación Salvadoreña 31
3.1.6.3	Frituras populares Salvadoreñas 31,32
3.2	MÉTODOS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS 33
3.2.1	ESPECTROSCOPIA 33,34
3.2.2	ESPECTROSCOPIA INFRARROJA 34,35
3.2.3	ANÁLISIS CUALITATIVO 35
3.2.4	ESPECTROSCOPIA IR – Medio 35,36
3.2.5	APLICACIONES CUALITATIVAS 36,37
3.2.6	ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON 37,38

	TRANSFORMADA DE FOURIER	
3.2.7	FTIR/ATR	38,39
3.2.8	DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS ÁCIDOS GRASOS TRANS	40,41
3.2.9	PRINCIPIO (MÉTODO 2000:10 AOAC)	41,42
3.2.10	APLICACIÓN DEL MÉTODO	42
	CAPITULO IV	43
4.1	JUSTIFICACIÓN	44
	CAPÍTULO V	45
5.1	DISEÑO METODOLÓGICO	46
5.1.1	TIPO DE ESTUDIO	46
5.1.2	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRAFICA	46
5.1.3	INVESTIGACIÓN DE CAMPO	47
5.1.3.1	Universo	47
5.1.3.2	Muestra	48
5.1.3.3	Toma de la muestra	49
5.2	MÉTODO DE ANÁLISIS	49
5.3	MATERIAL Y EQUIPO	49
5.4	REACTIVOS	50
5.5	PROCEDIMIENTO	50
5.5.1	Tratamiento de Muestras	50
5.6	ANÁLISIS DE MUESTRAS	52
	CAPÍTULO VI	53
6.1	RESULTADOS	54,83
	CAPÍTULO VII	84
7.1	CONCLUSIONES	85
	CAPÍTULO VIII	86
8.1	RECOMENDACIONES	87,88
	FUENTES BIBLIOGRAFICAS	89-97
	GLOSARIO	98-100
	ANEXOS	101-167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág.
1	A: Estructura de ácidos grasos; B: Estructura de ácidos grasos (cis) insaturados; C: Estructura de los ácidos grasos (trans) insaturados	9
2	Digestión y absorción de los lípidos	11
3	Estructura de las lipoproteínas	12
4	Clasificación de las lipoproteínas	13
5	Metabolismo de los lípidos	13
6	Efectos fisiológicos potenciales de los ácidos grasos trans	16
7	Reacción del ácido linoleico al γ -linolénico	18
8	Vías metabólicas del ácido linoleico hasta prostaglandinas	18
9	Reacción del ácido oleico (cis) a ácido eláidico (trans).	23
10	Presentación del contenido en gramos de grasa trans en una porción de papas fritas	25
11	Reacción de autooxidación de los ácidos grasos	26
12	Reacción de isomerización	27
13	Muestras de alimentos populares comercializados en las calles del país	32
14	Diagrama esquemático de los componentes esenciales de un interferómetro	37
15	Diagrama esquemático de un típico cristal ATR con la muestra aplicada, que muestra la trayectoria óptica del haz de muestra	39
16	Estructura del estándar negativo 1,2,3-tri(cis-9-octadienol) glicerol (Trioleína)	42
17	Estructura del estándar positivo 1,2,3-tri(trans-9-octadienol)glicerol (Trielaídina)	42
18	Mapa de muestreo	47
19	Etiqueta para identificación de muestras	49
20	(a) Espectro IR obtenido de las diferentes concentraciones de estándar positivo y negativo. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de las diferentes concentraciones de estándar positivo y negativo.	56
21	Curva de calibración utilizada para los respectivos análisis de las diferentes muestras seleccionadas de alimentos fritos	57
22	(a) Espectro IR obtenido de la muestras de platanitos de la zona de feria Consuma acoplado con estándar Tríoleina-Trielaídina (pico amarillo). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} espectro IR obtenido de la muestras de platanitos de la zona de feria consuma acoplado con estándar Tríoleina-Trielaídina (pico amarillo).	58
23	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 2 (muestra 11). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 2 (muestra 11).	62
24	(a) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de estrellas de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 3. Espectro Infrarrojo	67

	región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de estrellas de la zona de feria Consuma y margarina Dany light (pico verde). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1}	
25	(a) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de papas de la zona de feria Estadio Cuscatlán. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de papas de la zona de feria Consuma y margarina Dany light (pico verde). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1}	72
26	(a) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de churros españoles de la zona de feria Estadio Cuscatlán. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de churros españoles de la zona de feria Consuma y margarina Dany light (pico celeste aqua). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1}	77
27	Espectro IR obtenido de muestras de platanitos, yuquitas, churros españoles de la zona de San Jacinto y Estándar Trielaídina-Trioleína (pico azul). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1}	82
28	Aparato de Espectrofotometría Infrarroja de transformada de Fourier, con el ordenador que contiene el programa IR-RESOLUTION, en el laboratorio Físicoquímico de Aguas	124
29	Espectrofotómetro Infrarrojo de transformada de Fourier	125
30	soporte de celdas de Espectrofotómetro Infrarrojo de transformada de Fourier	126
31	Celda de Reflectancia Total Atenuada en la que se realizaron los análisis del aceite extraído de muestras de platanitos, yuquitas, estrellas, churros españoles, y papas fritas.	127
32	Muestras de platanitos, yuquitas, estrellas, churros españoles, y papas fritas analizadas en el Espectrofotómetro Infrarrojo	128
33	Baño de María, Precitherm PFV, utilizado para fundir las muestras y mantenerlas a una temperatura de 60 ± 2 °C	129
34	Controlador de temperatura de baño de María.	129
35	Tratamiento de muestras en el baño de María Precitherm PFV	130
36	Estándares positivo y negativos (Trielaídina y Trioleína)	130
37	Obtención de espectros infrarrojos por medio de un programa llamado IR-RESOLUTION	131
38	Celda de bromuro de potasio para análisis de los estándares positivo y negativo de presencia de grasas trans.	131
39	Analistas trabajando en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas De la Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	132
40	(a) Espectro IR obtenido de la concentración 0% en grasas trans. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 0% en grasas trans.	134
41	(a) Espectro IR obtenido de la concentración 5 % en grasas trans. (a) Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 5% en grasas trans.	135
42	(a) Espectro IR obtenido de la concentración 20 % en grasas trans. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 20% en grasas trans.	136
43	(a) Espectro IR obtenido de la concentración 30 % en grasas trans.	137

	Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 30% en grasas trans.	
44	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de San Jacinto Lote N° 1(muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de San Jacinto lote N° 1(muestra 1).	138
45	(a) Espectro IR obtenido de Muestra de Platanito de la zona de Zacamil lote N°1(muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de Zacamil lote N°1(muestra 2)	139
46	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de San Jacinto Lote N° 1 (muestra 4). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de San Jacinto lote N° 1(muestra 4)	140
47	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de San Jacinto Lote N° 1 (muestra 5). (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de San Jacinto lote N° 1 (muestra 5).	141
48	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 11). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1(muestra 11)	142
49	(a) Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 12). (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1(muestra 12).	143
50	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 13). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 13).	144
51	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de Zacamil Lote N° 2 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de Zacamil lote N° 2 (muestra 2)	145
52	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES Lote N° 2 (muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES lote N° 2 (muestra 3).	146
53	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES Lote N° 2 (muestra 10). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES lote N° 2 (muestra 10).	147
54	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de feria Consuma lote N° 2 (muestra 14). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra	148

	de yuquita de la zona de feria Consuma lote N° 2 (muestra 14)	
55	Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ espectro IR obtenido de muestras de yuquita, platanito, churros españoles de la zona de San Jacinto acoplados con Estándar Trioleína-Trielaídina (pico azul).	149
56	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 3 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de estrellas de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N°3 (muestra 1).	150
57	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de La Zacamil lote N° 3 (Muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de Estrellas de la zona de La Zacamil lote N°3 (muestra 2).	151
58	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N° 3 (muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N°3 (muestra 3).	152
59	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N° 3 (muestra 8). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N°3 (muestra 8).	153
60	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N° 3 (muestra 10). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N°3 (muestra 10)	154
61	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N° 4 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N°4 (muestra 1).	155
62	Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de Zacamil lote N° 4 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de papas de la zona de La Zacamil lote N°4 (muestra 2).	156
63	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de Los alrededores de la UES lote N° 4 (Muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de papas de la zona de los alrededores de la UES lote N°4 (muestra 3).	157
64	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N° 4 (muestra 4). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N°4 (muestra 4)	158
65	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de feria Consuma lote N° 4 (muestra 13). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de papas de la zona de feria Consuma lote N°4 (muestra 13)	159
66	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de Churros Españoles de la	160

	zona de San Jacinto lote N° 5 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de churros españoles de la zona de San Jacinto lote N°5 (muestra 1).	
67	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de Zacamil lote N° 5 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de churros españoles de la zona de Zacamil lote N°5 (muestra 2).	161
68	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de los alrededores de la UES lote N° 5 (muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de churros españoles de la zona de los alrededores de la UES lote N°5 (muestra 3).	162
69	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de San Jacinto lote N° 5 (muestra 5). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de churros españoles de la zona de San Jacinto lote N°5 (muestra 5).	163
70	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 5 (muestra 12). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de churros españoles de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N°5 (muestra 12).	164
71	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de margarina Dany light. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de margarina Dany light.	165
72	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de manteca Orisol. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de manteca Orisol.	166
73	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de manteca Nieve. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de manteca Nieve	167
74	(a) Espectro IR obtenido de la muestra de aceite de Oliva Wesson. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ . Muestra de aceite de Oliva Wesson.	168
75	(a) Espectro IR obtenido del acoplamiento de las muestras margarina Dany light (pico verde), manteca Orisol (pico rojo), manteca Nieve (pico gris) y aceite de Oliva Wesson (pico azul). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm ⁻¹ . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm ⁻¹ de acoplamiento de espectros IR obtenidos de las diferentes muestras margarina Dany light (pico verde), manteca Orisol (pico rojo), manteca Nieve (pico gris) y aceite de Oliva Wesson (pico azul).	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág.
1	Concentraciones del estándar positivo, negativo y sus respectivas absorbancias	57
2	Resultados obtenidos de muestras de platanitos de las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, Feria Estadio Cuscatlán y Feria Consuma	61
3	Resultados obtenidos de muestras de yuquitas recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria del Estadio Cuscatlán y Feria Consuma.	66
4	Resultados obtenidos de muestras de estrellas recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria del Estadio Cuscatlán y Feria Consuma.	71
5	Resultados obtenidos de muestras de papas recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria del Estadio Cuscatlán y Feria Consuma.	76
6	Resultados obtenidos de muestras de churros españoles recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria del Estadio Cuscatlán y Feria Consuma	81
7	Promedio de resultados obtenidos de muestras de platanitos, yuquitas, estrellas, papas y churros españoles recolectados en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, Feria Estadio del Cuscatlán y Feria Consuma. Resultado de Estándar (Trioleína-Trielaidina). Concentración 5%; y resultados de muestras de margarina Dany light, manteca Nieve, manteca Orisol y aceite de Oliva.	83
8	Especificaciones del equipo	112

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°		Pág.
1	Método oficial de análisis infrarrojo de grasas según AOAC y su traducción al idioma español.	102
2	Especificaciones del Espectrofotómetro Infrarrojo SHIMADZU IRAFFINITY-1	111
3	Certificado de Análisis de estándar positivo, Tri(Trans-9-octadecenoil-glicerol) con traducción al idioma español; Certificado de Análisis de estándar negativo Tri(cis-9-octadecenoil-glicerol) con traducción al idioma español.	113
4	Garantía de pureza de estándares positivos y negativos con su respectiva traducción al español.	120
5	Fotografías del proceso experimental	123
6	Espectros de las cinco muestras de harinas fritas	133

ABREVIATURAS

ACS	Sociedad Estadounidense de Química (Por sus siglas en inglés: American Chemical Society)
AOAC	Asociación Oficial de Químicos Analíticos (Por sus siglas en inglés: Association of Official Analytical Chemists)
AOCS	Sociedad Estadounidense de Químicos del Aceite (Por sus siglas en inglés: American Oil Chemists' Society)
ATR	Reflectancia Total Atenuada (Por sus siglas en inglés: Attenuated Total Reflectance)
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
CV	Coefficiente de Variación
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación (Por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization)
FT	Transformada de Fourier (Por sus siglas en inglés: Fourier Transformation)
FTIR	Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier (Por sus siglas en inglés: Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
GC	Cromatografía de Gases (Por sus siglas en inglés: Gas Chromatography)
HDL	Lipoproteínas de Alta Densidad (Por sus siglas en inglés: High Density Lipoprotein)
HPLC	Cromatografía Líquida de Alta Definición (Por sus siglas en inglés: High-Performance Liquid Chromatography)
IR	Radiación Infrarroja (Por sus siglas en inglés: Infrared Radiation)
ISO	Organización Internacional de Normalización (Por sus siglas en inglés: International Organization for Standardization)
LC	Cromatografía Líquida (Por sus siglas en inglés: Liquid Chromatography)
LDL	Lipoproteína de Baja Densidad (Por sus siglas en inglés: Low-Density Lipoprotein)
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPD	Diferencia de la Trayectoria Óptica (Por sus siglas en inglés: Optical Path Difference)
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PUFA	Ácidos Grasos Poliinsaturados (Por sus siglas en inglés: Polyunsaturated Fatty Acids)
RSD	Desviación Estándar Relativa (Por sus siglas en inglés: Relative Standard Deviation)
SFA	Ácidos Grasos Saturados (Por sus siglas en inglés: Saturated Fatty Acids)
TFA	Ácidos Grasos Trans (Por sus siglas en inglés: Trans Fatty Acids)
FAMEs	Ésteres Metílicos de Ácidos Grasos (Por sus siglas en inglés: Fatty Acid Methyl Esters)
TLC	Cromatografía en Capa Fina (Por sus siglas en inglés: Thin Layer Chromatography)
WHO	Organización Mundial de la Salud (Por sus siglas en inglés: World Health Organization)
UES	Universidad de El Salvador
UI	Unidades Internacionales

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en adecuar el método de Espectroscopia Infrarroja para la identificación de grasas trans en los alimentos fritos de mayor comercialización en las calles de San Salvador, realizando la toma de muestras en los establecimientos ubicados en las zonas de San Jacinto, Zacamil, alrededores de la UES, feria del Estadio Cuscatlán y Feria Consuma.

De las cinco zonas de muestreo, se tomó una muestra de 52 unidades de frituras, este valor de muestras corresponde: A 52 muestras de Churros españoles, 52 muestras de Yuquitas, 52 muestras de Estrellas, 52 muestras de papas fritas y 52 muestras de platanitos, estas cantidades fueron recolectadas por cada zona de muestreo, haciendo un total de 260 muestras y una vez recolectadas se trataron en el laboratorio de la Escuela de Química y luego se analizaron en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, durante el período de Julio-Agosto del año 2015, aplicando el método de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier. El objetivo principal fue obtener los espectros de las diferentes muestras para posteriormente analizarlos y compararlos con el estándar positivo (Trielaídina).

El resultado de esta investigación indicó que para las 260 muestras de alimentos fritos (harinas fritas) más comercializados, utilizando la metodología oficial, no se detectó la deformación del enlace C=C del isómero trans a los 966 cm^{-1} , lo que indica que el isómero buscado está en cantidad por debajo del límite de detección del equipo FTIR/ATR, en los análisis realizados en concentraciones desconocidas, al comparar con el estándar positivo Trielaídina el cual sí detectó la deformación del enlace C=C del isómero trans a los 966 cm^{-1} , lo que comprueba la selectividad del método empleado. Por motivos de comparación se realizaron análisis con muestras de Margarina Dany Light, Manteca Orisol y Manteca Nieve, en las cuales se detectó la deformación del enlace C=C del isómero trans a los 966 cm^{-1} . En muestras de estándar negativo Trioleína y en aceite de oliva no se detectó la deformación del enlace C=C del isómero trans a los 966 cm^{-1} . Según la investigación bibliográfica, las grasas trans se encuentran principalmente en alimentos que han sido sometidos a hidrogenación o al proceso de fritura que están

relacionados con enfermedades como diabetes, obesidad y daños cardiacos, ocasionando repercusiones en la salud de la población que consume estos productos a diario.

Los resultados anteriores permiten confirmar que el método es útil para identificación y cuantificación de ácidos grasos trans, ya que coincide con el comportamiento que presentaron los estándares analizados de acuerdo con la recomendación oficial descrita por la Asociación Oficial de Químicos Analistas. Con esta investigación se ofrece información muy importante tanto para las personas que consumen alimentos fritos como Churros españoles, Platanitos, Yuquitas, Estrellas y Papas fritas, como para las personas encargadas de la elaboración y comercialización de estos productos. Este estudio queda vigente para futuras investigaciones dentro o fuera de la Escuela de Química de la Universidad de El Salvador, asimismo, se recomienda que se aplique para un análisis complementario el método de cromatografía de gases para verificar si con este método se revelan trazas significativas de ácidos grasos trans en los alimentos seleccionados para esta investigación.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Las grasas y aceites en la nutrición humana proporcionan un importante aporte energético al organismo, ya que proveen ácidos grasos que son esenciales para el crecimiento, desarrollo y funcionalidad del organismo humano.

Los alimentos fritos son los de mayor consumo humano, no sólo por el sabor y la textura crujiente que la fritura le aporta al alimento, sino por la rapidez de su preparación. Sin embargo, el aceite, cuando es sometido a temperaturas muy elevadas, por la naturaleza de éste, forma productos no deseados, entre los cuales están los ácidos grasos trans, que se definen según el Codex Alimentarius como todos los isómeros geométricos de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados que poseen en la configuración trans dobles enlaces carbono - carbono no conjugados. El Codex Alimentarius, elabora normativas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales armonizadas destinadas a proteger la salud de los consumidores y garantizar la aplicación de prácticas leales en el comercio de alimentos. Asimismo, promueve la coordinación de todos los trabajos sobre normas alimentarias emprendidos por las organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales.

En algunos países del mundo, tales como Estados Unidos, Canadá, Brasil, entre otros existen normativas sobre el proceso de fabricación, ingesta y una guía adecuada para utilizar el aceite en la cocina. En El Salvador, hasta la fecha, no se conoce que el organismo responsable en nuestro país (Codex Alimentarius de El Salvador) haya establecido normas o estudios que determinen límites aceptables en la fabricación, ingesta y uso adecuado de los aceites que son usados para cocinar los alimentos, ni información que podría ser divulgada sobre la vida útil del aceite, muchos de los alimentos populares que se comercializan en las calles del país, como papas fritas, churros españoles, platanitos, yuquitas y estrellas, son procesados en su mayoría con aceites utilizados más de una vez y no existe control por las autoridades responsables para comprobar si estos alimentos contienen grasas trans en cantidad nociva u otros componentes que sean dañinos a la salud del consumidor. Los ácidos grasos trans se relacionan con enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes tipo II, entre otros.

Por los motivos expuestos se consideró de mucha importancia realizar el presente trabajo de tesis, ya que tiene por finalidad implementar un método novedoso y efectivo

para cuantificar las grasas trans. En el desarrollo de la metodología propuesta se utilizó el equipo de espectroscopia infrarroja FTIR/ATR facilitado por el Laboratorio Físico-Químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, con el que se estudió la posibilidad de cuantificar ácidos grasos trans presentes en diferentes muestras de aceites extraídos de las harinas fritas, para tal propósito se utilizó la metodología de la AOAC 2000.10 “Determination of total isolated trans unsaturated fatty acids in fats and oils by FTIR-ATR” (Determinación del total de ácidos insaturados aislados en grasas y aceites por medio de FTIR-ATR)

El aceite fue extraído utilizando éter de petróleo como disolvente. Las muestras de harina, consistentes en papas fritas, yuquitas, platanitos, churros españoles y estrellas, fueron adquiridas en las zonas de San Jacinto, Zacamil, Universidad de El Salvador, feria del Estadio Cuscatlán y Feria Consuma, durante el período de Julio – Agosto del año 2015. Se utilizó como referencia el estándar positivo (Mezcla de Trioleína – Trielaidina) para comparar la presencia de ácidos grasos trans contra los espectros IR obtenidos. Con los datos de absorbancia se cuantificó la concentración en porcentaje de grasas trans de las 260 muestras analizadas.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar el método de espectroscopia infrarroja FTIR-ATR para cuantificar los ácidos grasos trans en frituras populares (Harinas Fritas).

2.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar una guía de observación para identificar los puestos callejeros donde se comercializan las diferentes frituras populares de las zonas más frecuentadas: Zacamil, San Jacinto, alrededores de la Universidad de El Salvador, feria en el Estadio Cuscatlán y Feria Consuma.
2. Realizar la toma de muestras de alimentos fritos (alimentos callejeros: papas fritas, yuquitas, churros españoles, platanitos, y estrellas de harina) con base en la guía de observación de los puestos callejeros seleccionados.
3. Analizar las diferentes muestras recolectadas utilizando el equipo de espectroscopia infrarroja FTIR-ATR.
4. Interpretar, por medio de los espectros obtenidos, la presencia de la deformación del enlace C=C del isómero trans.
5. Comparar los espectros obtenidos de las diferentes muestras de frituras con el respectivo control positivo (Mezcla de Trioleína - Trielaidina) para verificar la presencia de grasas trans en las muestras seleccionadas.
6. Obtener porcentajes de grasas trans presentes en las muestras mediante tratamiento estadísticos de datos.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO TEÓRICO

3.1.1 LÍPIDOS

Los lípidos son una clase de macromoléculas, como las proteínas y los carbohidratos. Químicamente hablando, los aceites y grasas son lípidos; éstos son compuestos orgánicos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno al igual que los aceites y grasas. Los lípidos constituyen uno de los nutrientes que aportan energía al organismo y se consumen a través de la dieta y/o los alimentos proporcionando 9 kilocalorías por gramo de grasa consumida, el doble de las que aportan los hidratos de carbono y las proteínas (cada uno de estos nutrientes proporcionan 4 kilocalorías por gramo).^{1,2}

Proviene de dos fuentes principales:^{1,2}

1. Aceite y Grasa visible que se utiliza para cocinar o que se añade a algunos alimentos para condimentarlos (ensaladas, verduras, pan) como el aceite de oliva o aquella que se encuentra alrededor de la carne o la piel del pollo, que puede ser retirada y no consumirse.

2. Aceite y Grasa invisible que está contenida "naturalmente" dentro de los alimentos (carnes, frutos secos, productos lácteos) o que se añade durante su procesado (alimentos preparados, aperitivos o snacks).

Los lípidos son componentes esenciales de todos los organismos vivos. Sin embargo, a diferencia de las proteínas y los carbohidratos, los lípidos tienen estructuras muy variadas.¹ Se definen como compuestos orgánicos insolubles en agua, que se encuentran en los sistemas biológicos.¹ Los lípidos tienen gran solubilidad en solventes orgánicos no polares. Son hidrofóbicos o bien son anfipáticos. La fórmula general de los lípidos más simples $R-COOH$, donde R representa una cadena de hidrocarburo.^{1,2}

Los ácidos grasos, son componentes de lípidos más complejos, como los glicerofosfolípidos, los esfingolípidos y los triglicéridos o triacilgliceroles. Los triacilgliceroles son grasas y aceites de origen animal y vegetal, por ejemplo los aceites de maní, soya, maíz y girasol, la mantequilla, la manteca de cerdo y el sebo. Por lo

general, los triacilgliceroles que son líquidos a temperatura ambiente, se llaman **aceites**, y los que son sólidos se denominan **grasas**.³

Las funciones biológicas de los lípidos son tan diversas como su química. La energía almacenada en muchos organismos se encuentra principalmente en aceites y grasas.^{1,4,5,7,8,9} Las funciones de las membranas biológicas, y sus propiedades como barreras celulares frente a solutos polares dependen de las propiedades de sus lípidos.³ Los fosfolípidos y esteroides son los principales elementos estructurales de las membranas biológicas,⁹⁻¹⁴ las que contienen una variedad de lípidos anfipáticos, incluyendo los glicerofosfolípidos y los esfingolípidos. En algunos organismos, la función de los triacilgliceroles (grasas y aceites) es de ser moléculas intracelulares de almacenamiento de energía metabólica. Existen lípidos con funciones muy especializadas.^{1,2} Por ejemplo, las hormonas esteroidales regulan e integran una variedad de actividades metabólicas en los animales, y los icosanoides participan en la regulación de la presión sanguínea, en la temperatura corporal y en la contracción de los músculos lisos en los mamíferos.^{1,2,3}

Otros lípidos, aunque están presentes en cantidades relativamente pequeñas, tienen importancia crucial como cofactores enzimáticos y transportadores de electrones.^{9,11-16}

3.1.2 ÁCIDOS GRASOS

Un ácido graso es una biomolécula de naturaleza lipídica formada por una cadena hidrocarbonada lineal, de diferente longitud o número de átomos de carbono, en cuyo extremo hay un grupo carboxilo (**Fig. 1**).^{7,9,10,17, 18, 19}

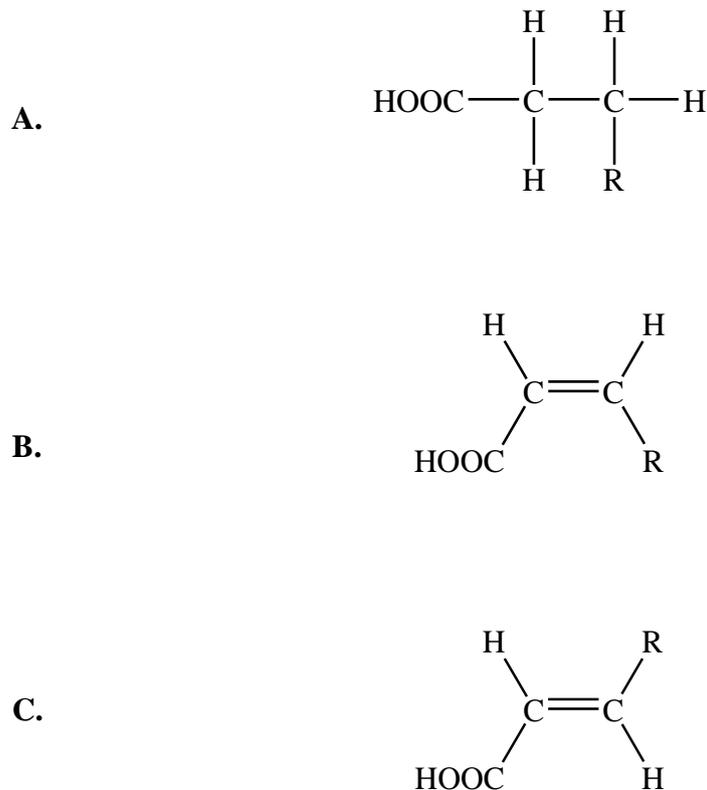


Fig. 1. A: Estructura de ácidos grasos; **B:** Estructura de ácidos grasos (cis) insaturados; **C:** Estructura de los ácidos grasos (trans) insaturados, (como ejemplo se muestra en las figuras el doble enlace en el C 1,2)

3.1.3 ÁCIDOS GRASOS TRANS

Los ácidos grasos trans, TFA (por sus siglas en inglés: Trans Fatty Acids), son ácidos grasos insaturados que contienen uno o más dobles enlaces aislados en una configuración *trans*, según FDA (por sus siglas en inglés, The Food and Drug Administration). Todos los ácidos grasos insaturados presentes en los aceites vegetales están en la forma *cis*.^{4,5,9,10,15,16,20} Las moléculas que contienen isómeros *trans* pueden empacarse de una manera sistemática y tienen un alto punto de fusión en comparación con sus correspondientes isómeros *cis*.^{5, 10, 12,17, 19, 23, 25,26}

3.1.4 CONSIDERACIONES BIOQUÍMICAS DE LOS ÁCIDOS GRASOS

3.1.4.1 Digestión, Absorción y Metabolismo de ácidos grasos

La digestión de las grasas comienza con la masticación y el disgregamiento de las mismas en moléculas más pequeñas. La lipasa sublingual comienza a actuar simultáneamente a la masticación y su acción continúa en el estómago, donde actúa también la lipasa gástrica, segregada por las células cerosas. Estas dos lipasas, sin embargo, pierden su acción a medida que pasan al resto del aparato digestivo y toman relevancia las lipasas pancreáticas.^{27, 28}

Una vez en el duodeno, la presencia de las grasas en el quimo alimenticio estimula la liberación de colecistoquinina que a su vez estimula la contracción de la vesícula biliar; las sales biliares emulsionan las grasas y junto con la acción de los movimientos peristálticos, se disgregan en partículas más pequeñas, las cuales pueden ser atacadas por la lipasa pancreática, después de cuya acción los triglicéridos, fosfolípidos y ésteres de colesterol se transforman en: glicerol, monoglicéridos, colesterol y ácidos grasos libres (**Fig.2**).²⁸

Estas moléculas más sencillas, se rodean de los ácidos biliares, formando micelas que se acercan al borde de los enterocitos para su absorción. Una vez en el borde de las células de la mucosa intestinal, la micela se disgrega, las sales biliares permanecen en el intestino y son posteriormente reabsorbidas por el íleon, mientras que los lípidos pasan al interior de los enterocitos.²⁸

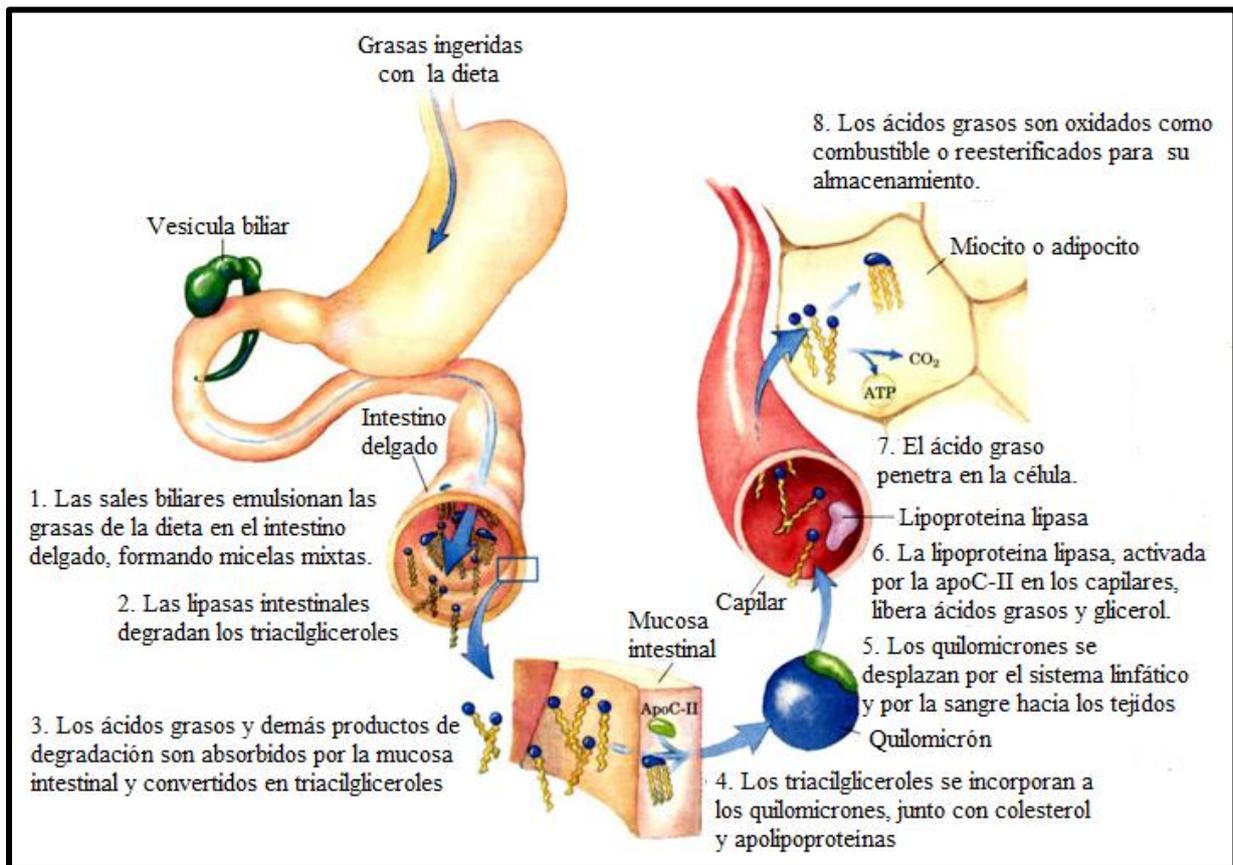


Fig.2. Digestión y absorción de los lípidos.²⁸

Los ácidos grasos de cadena media y corta, pasan directamente al hígado a través de la circulación portal, mientras que los de cadena larga, se reesterifican con los monoglicéridos, lisofosfolípidos, y colesterol para formar de nuevo triglicéridos, fosfolípidos y ésteres de colesterol; estas estructuras, puesto que no son hidrosolubles, no pueden pasar a la circulación general; para hacerlo se unen a la apolipoproteínas, sintetizadas por la mismas células intestinales y dan lugar a los quilomicrones que pasaran a la linfa y posteriormente al torrente sanguíneo.²⁸

Una vez en el torrente sanguíneo, el quilomicrón reparte su carga lipídica por diferentes tejidos, en general por el tejido muscular y músculo cardiaco, y los ácidos grasos, por acción de las lipoproteínas lipasa, pasan a las células para ser utilizados, al final de su recorrido el quilomicrón remanente, es reconocido por receptores específicos en el hígado y en las células hepáticas finalmente desaparece.²⁸

Las lipoproteínas son moléculas compuestas de proteínas y de grasa, encargadas de trasladar el colesterol y otras grasas similares a través de la sangre.^{12,22} Su apariencia física es esférica, son hidrosolubles y presentan un núcleo de lípidos apolares, tales como

el colesterol esterificado y los triglicéridos; están cubiertas por una capa externa hecha de apolipoproteínas (Se trata de una heteroproteína anfipática con un grupo prostético lipídico), fosfolípidos y colesterol libre (**Fig. 3**).^{6, 22, 27, 28,38}

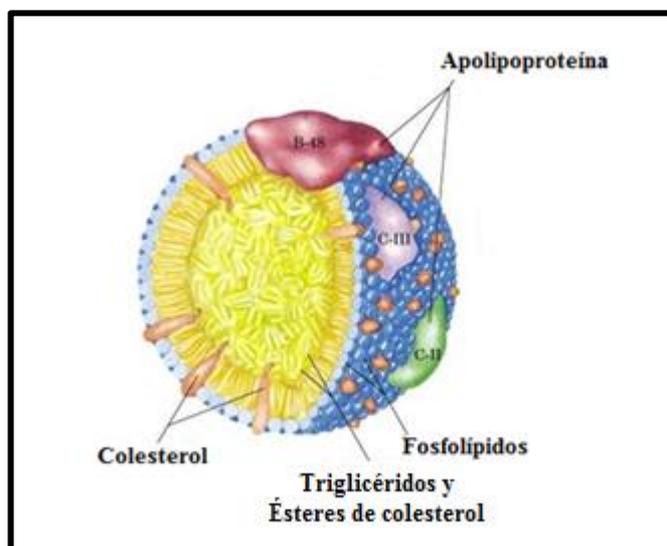


Fig. 3. Estructura de las lipoproteínas²⁸

En el hígado, a partir de las grasas que se obtienen de la alimentación y las que él mismo sintetiza, se elaboran las lipoproteínas denominadas “lipoproteína de muy baja densidad” o VLDL (por sus siglas en inglés: Very Low Density Lipoprotein), las cuales salen al torrente sanguíneo y por acción de la lipoproteinlipasa distribuyen los lípidos (incluidas las vitaminas liposolubles) por todos los tejidos periféricos.^{22,28}

En el proceso se van transformando sucesivamente en “lipoproteínas de densidad intermedia” o IDL (por sus siglas en inglés: Intermediate Density Lipoproteins) y proteínas de baja densidad o LDL (LDL, por sus siglas en inglés, Low Density Lipoprotein), con la pérdida de lípidos, la parte más densa de la molécula, o sea, las proteínas, van aumentando proporcionalmente; en consecuencia, la lipoproteína, a medida que se vacía de lípidos, gana densidad (**Fig.4**). Las LDL son especialmente ricas en colesterol y son reconocidas por receptores específicos en los diferentes tejidos, tras la unión al receptor, el colesterol pasa a la célula para su utilización.^{22,28}

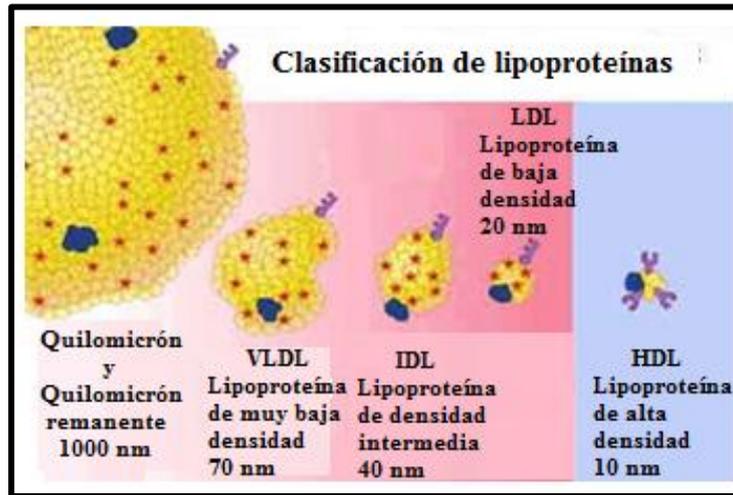


Fig.4. Clasificación de las lipoproteínas.²⁸

La lipoproteína de alta densidad o HDL (por sus siglas en inglés, High Density Lipoproteins), se utilizan en el hígado y en el intestino, su misión es almacenar y compartir lípidos y apolipoproteínas de unas lipoproteínas a otras o trasladarlas al hígado, con destino a su reutilización y así reequilibrar la carga lipídica (Fig.5).^{16,28}

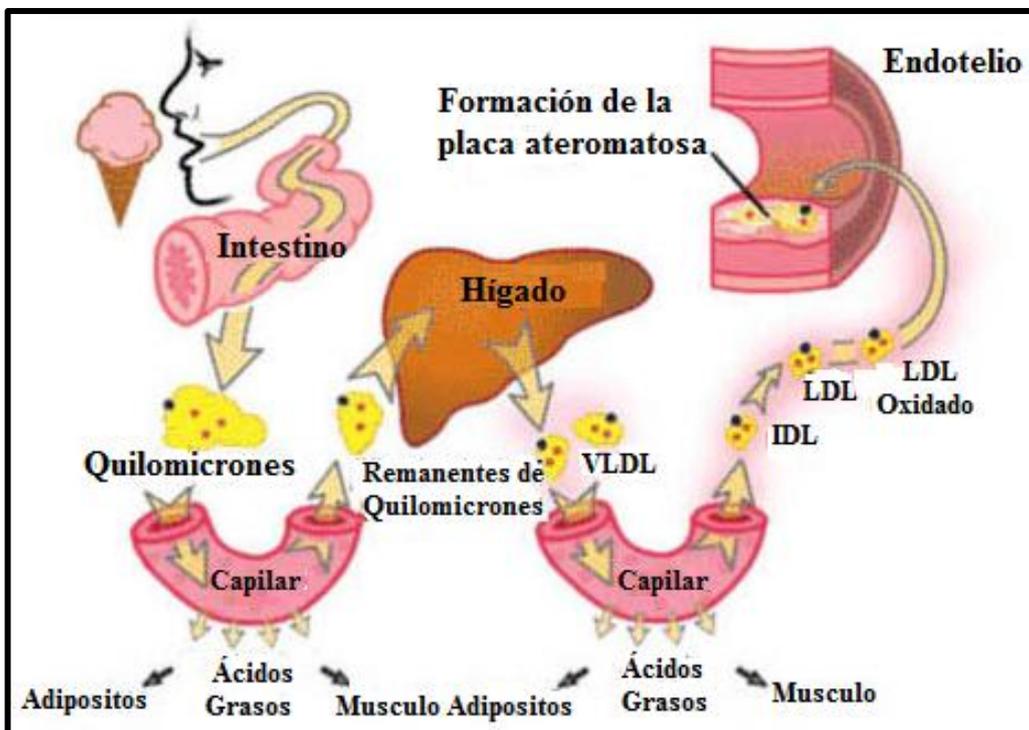


Fig.5. Metabolismo de los lípidos.²⁸

3.1.4.2. Efectos adversos

3.1.4.2.1 Efecto de los ácidos grasos naturales y sintéticos sobre la estructura de la membrana, las funciones celulares y la salud humana.

Los ácidos grasos naturales y sintéticos pueden modificar la estructura de la membrana lipídica, alterando la organización de microdominios (micelas proteicas) y otras propiedades físicas, provocando cambios en la señalización celular.^{4, 6, 19, 23, 30, 40,48}

Por lo tanto, mediante la variación de los ácidos grasos es posible regular la estructura de la membrana, que influye en los procesos celulares que son dependientes de esta estructura y potencialmente revertir disfunciones celulares patológicas que pueden provocar cáncer, diabetes tipo 2, hipertensión, Alzheimer y Parkinson.^{4,7,12,14,40}

La membrana plasmática representa la barrera de la vida, la estructura que separa las células vivas de su entorno. Durante muchos años, los lípidos no fueron considerados partícipes en procesos como la señalización celular o la regulación hormonal local. Muchos años después se conoció que el ácido linoleico (LA, por sus siglas en inglés linoleic acid) es un componente esencial de la dieta; la importancia de este hallazgo fue reconocido por la comunidad científica.^{2, 7, 21, 39, 40,48}

Las grasas trans derivadas de fuentes naturales o comerciales tienen diferentes estructuras. En estudios recientes, intentaron determinar si las grasas trans de estas fuentes tienen diferentes efectos sobre los lípidos plasmáticos y lipoproteínas.^{23, 24,28} Estudios realizados por Motard-Belanger y colegas determinaron que las dietas enriquecidas en cualquiera de las grasas trans naturales o comerciales tenían efectos similares sobre el colesterol HDL y colesterol LDL, así como en el colesterol total.^{23, 24, 28,29}

La grasa se almacena en el cuerpo en el tejido adiposo. Demasiado tejido adiposo es dañino, ya que el peso adicional obliga al corazón a trabajar más y esto acorta la vida. Las grasas trans conducen con facilidad a la obesidad y es precursora de la arteroesclerosis (síndrome caracterizado por el depósito e infiltración de sustancias lipídicas en las paredes de las arterias). Estudios recientes indican que el consumo de grasas trans

promueve la inflamación sistémica, así como también aumenta el riesgo de la aterosclerosis ocasionando problemas cardiacos, los ácidos grasos trans (TFA) alteran el metabolismo de otras sustancias en nuestro organismo y algunas actividades fisiológicas dependiendo de la duración de la ingesta.^{34,38}

Los ácidos grasos trans no sólo aumentan la concentración de lipoproteínas de baja densidad LDL en la sangre sino que también disminuyen las lipoproteínas de alta densidad HDL responsables de transportar el "colesterol bueno", lo que provoca un mayor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Dietas altas en grasas promueven la incidencia espontánea en cáncer, esto puede ser debido, en parte, a una baja ingesta de lipoproteínas.^{13,26,44,45,53}

Los riesgos al consumir grasas trans se reportan desde un valor arriba de cero, es decir que cuando se consumen se está expuesto a muchas enfermedades, por esa razón es recomendable consumir lo menos posible este tipo de grasas.

El ser humano necesita de un 20 % a un 35 % en peso de grasas en el organismo para el vivir diario. Los efectos fisiológicos potenciales de los ácidos grasos trans son resumidos en la siguiente figura (**Fig.6**).^{2,15,17,20,27,28,29,40,41}

Los cambios en la producción y secreción de hepatocitos, así como el catabolismo de las lipoproteínas, junto con los efectos sobre la proteína de transferencia de ésteres de colesterol en el plasma (CETP, por sus siglas en inglés, Ester Transfer Protein Plasma Cholesterol), probablemente representan los efectos adversos de los ácidos grasos trans en los niveles de lípidos séricos (*panel A*, Fig. 6). El efecto no es directamente sobre la CETP, sino sobre la membrana o receptores nucleares (línea discontinua). Los ácidos grasos trans también alteran el metabolismo de ácidos grasos y, posiblemente, las respuestas inflamatorias de los adipocitos.^{21, 23, 24, 29, 38,45}

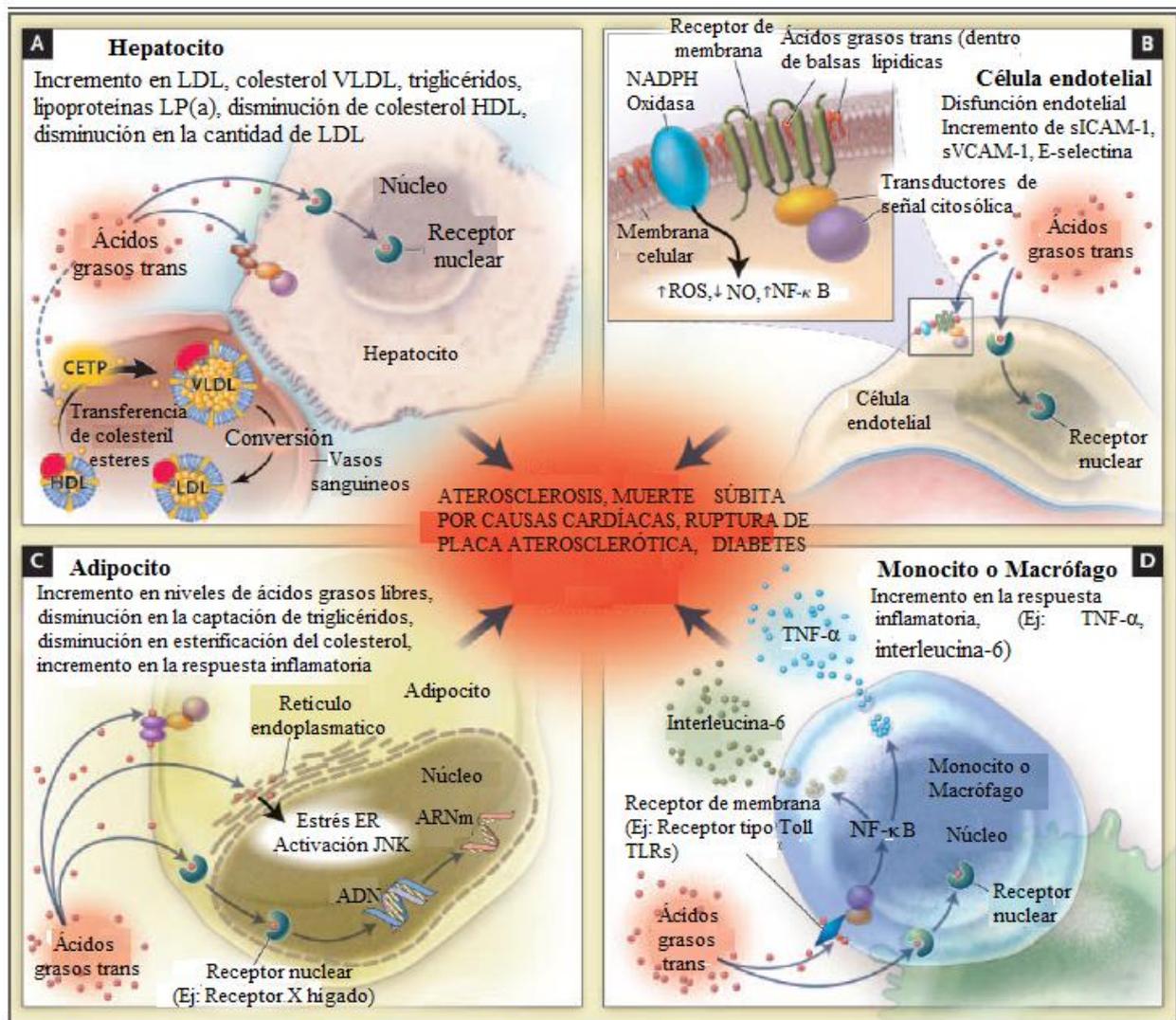


Fig. 6. Efectos fisiológicos potenciales de los ácidos grasos trans.²⁴

Además, el óxido nítrico dependiente incrementa la disfunción endotelial y los niveles circulantes de moléculas de adhesión (molécula de adhesión intercelular soluble 1 [sICAM-1] y molécula de adhesión celular vascular soluble de 1 [sVCAM-1]) se observan con la ingesta de grasas trans.^{23,24,38,45} Los ácidos grasos trans también modulan la actividad de los macrófagos y monocitos (*Panel D*), tal como se manifiesta por el aumento de la producción de mediadores inflamatorios. Cada uno de estos efectos se ha visto en estudios controlados en humanos y pueden, individualmente o en conjunto, aumentar el riesgo de aterosclerosis, ruptura de la placa aterosclerótica, muerte súbita por causas cardíacas y diabetes tipo 2.^{23,24,45} Los mecanismos subcelulares para estos efectos no están bien establecidos, pero pueden producirse a través de efectos sobre los receptores de membrana que se localizan, y están influenciadas por los fosfolípidos de membrana específicos (*Grupo B*), como la óxido nítrico endotelial (NO) sintasa (*Ej.*

Receptores tipo toll); por unión directa de los ácidos grasos trans a receptores nucleares que regulan la transcripción de genes, tales como el receptor X hepático (*Panel C*); y por los efectos directos o indirectos sobre el retículo endoplasmático (ER, por sus siglas en inglés, Endoplasmic Reticulum), en respuestas, como la activación de la quinasa Jun N-terminal (JNK). Tales vías subcelulares parecen indicar la existencia de otros ácidos grasos que requieren investigación adicional.^{17,23, 24,45}

Las grasas trans de los aceites parcialmente hidrogenados no tienen valor en la salud por encima de su valor calórico. Por lo tanto, desde un punto de vista nutricional, el consumo de ácidos grasos trans resulta potencialmente dañino.^{24, 45}

3.1.4.2.2 Efecto negativo de los ácidos grasos trans sobre los Ácidos Grasos Esenciales (EFA, por sus siglas en inglés Essential Fatty Acids)

El ácido linolénico no tiene actividad metabólica, pero es necesario, ya que es transformado en compuestos biológicamente activos. En el organismo humano existe una etapa de conversión del ácido linoleico en γ -linolénico catalizada por la enzima desaturasa, cuya actividad puede ser perjudicada por la presencia de isómeros trans.

57

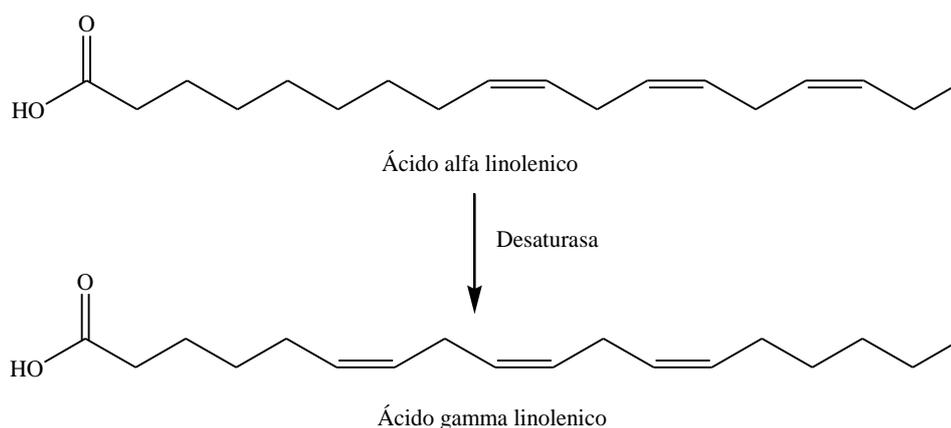


Fig. 7. Reacción del ácido linoleico en γ -linolénico

En la **Figura 8**, pueden ser observados los sitios de posibles interferencias de los ácidos grasos trans de la dieta en algunas etapas del metabolismo del ácido linoleico.

Este efecto se da sobre las enzimas desaturasas que actúan en la conversión del ácido linoleico y araquidónico en prostaglandinas.

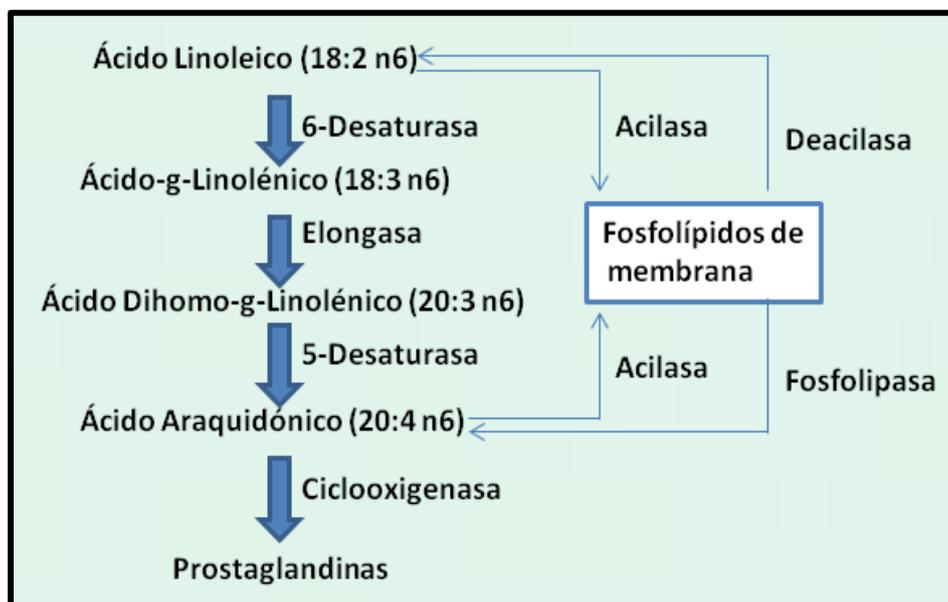


Fig. 8. Vías metabólicas del ácido linoleico hasta prostaglandinas.⁵⁷

Los isómeros trans, debido a sus características estructurales son capaces de afectar las reacciones de desaturación y alargamiento, este efecto inhibitorio supone la competición de los ácidos trans con substratos comunes en las reacciones del metabolismo de ácidos esenciales, y siendo los productos finales de estructura diferente, entonces pueden ocurrir cambios en la composición de las membranas y prostaglandinas.⁵⁷

Factores como la ingestión insuficiente de ácido linoleico, acompañada por la presencia de grandes cantidades de isómeros trans, pueden ocasionar cambios metabólicos, haciendo que los ácidos grasos trans actúen como substratos alternativos, generando ácidos grasos no esenciales, que formarían prostaglandinas de efecto desconocido o impredecible. De acuerdo con estos estudios, se puede concluir que los ácidos grasos trans afectan la disponibilidad de ácidos grasos esenciales de dos maneras:

⁵⁷

- Sustituyendo los ácidos grasos esenciales en los tejidos, y
- Bloqueando el metabolismo, actuando como inhibidores

De estas observaciones, ha sido sugerida la necesidad de mayor ingestión de ácido linoleico en dietas que contengan grasas hidrogenadas, ya que ha sido observado que los efectos negativos de los ácidos grasos trans sobre el metabolismo de ácidos esenciales no ocurre, cuando el ácido linoleico es ingerido en cantidades suficientes junto con los isómeros trans. Las dietas incluyendo 2% de ácido linoleico y 20% de isómeros trans no presentan efectos adversos en la síntesis de prostaglandinas, funcionalidad de membranas, agregación de plaquetas y oxidación de ácidos grasos.⁵⁷

3.1.4.2.3 Efecto de las grasas trans relacionados con enfermedades cardiovasculares

Existe gran cantidad de literatura científica que documenta los efectos de las grasas trans en los niveles de lípidos en el plasma sanguíneo. Los más conocidos son los estudios clínicos realizados por Katan y otros en la década de 1990 que indicaban que la grasa trans aumenta los niveles de lipoproteína de baja densidad (LDL) y disminuye los niveles plasmáticos de lipoproteínas de alta densidad (HDL).^{2, 23, 29, 30, 31}

Estos estudios se centraron en el nivel de los LDL y HDL en el plasma, en sujetos sanos, y encontraron que la sustitución de un 10% de energía a partir de los ácidos grasos saturados de grasas trans disminuye el HDL en plasma y en un 21% deteriora la vasodilatación mediada por flujo como criterio de valoración en la intervención dietética. Un aumento en las concentraciones plasmáticas de LDL se cree que es un factor de riesgo para enfermedades cardiovasculares.^{2, 32, 34, 35, 36, 40, 47}

Los estudios epidemiológicos y bioquímicos muestran que un mayor consumo de ácidos grasos trans en la dieta humana es un factor de riesgo importante para las enfermedades cardiovasculares.^{21, 31, 47} caracterizada por el bloqueo del flujo sanguíneo, se forman los coágulos de sangre debido a la falta de secreción de prostaciclina (es un eicosanoide que se deriva del ácido araquidónico) en las células endoteliales que recubren las arterias coronarias.^{2, 10, 22} El consumo de grasas trans es considerado un riesgo en las enfermedades del corazón.^{2, 57} Según estudios realizados por expertos, la ingesta de grasas trans se asocia con un mayor riesgo de cardiopatía coronaria, en particular, para las mujeres jóvenes.^{2, 56}

En un caso particular Lemaitre y colaboradores, mostraron que los pacientes que fallecieron de un paro cardíaco primario, presentaban un aumento de la grasa trans en su membrana de glóbulos rojos.²

Varios investigadores han documentado los efectos de los alimentos sin grasas trans y sus efectos positivos en la reducción de las enfermedades del corazón.² También sugirieron que una mayor ingesta de grasas trans podría afectar negativamente, causando disfunción endotelial que es cuando el endotelio no está cumpliendo adecuadamente su rol de segregar NO, lo que podría explicar en parte por qué la relación positiva entre la grasa trans y el riesgo cardiovascular es mayor de lo que se podría predecir basándose únicamente en sus efectos adversos sobre los lípidos plasmáticos.^{2,55,54}

3.1.4.2.4 Efecto de las grasas trans en el riesgo de diabetes mellitus tipo II

La diabetes mellitus no es una enfermedad, es un síndrome o conjunto de síntomas, que se producen como consecuencia de un déficit absoluto o relativo de insulina.¹⁴

Desde un punto de vista sencillo, se puede decir que existen dos grandes formas de diabetes, tipo I (insulinodependiente), y tipo II (no-insulinodependiente), ambas muestran heterogeneidad pero sobre todo la diabetes tipo II.¹⁴ La diabetes tipo I se produce por un fracaso total de la producción de insulina por la célula β (son un tipo de célula del páncreas localizadas en los islotes de Langerhans que sintetizan y segregan la insulina, una hormona que controla los niveles de glucosa en la sangre), como hecho inicial, mientras que en el tipo II se establece un forcejeo entre la resistencia de los tejidos a la acción de la insulina y la secreción insular pancreática.^{14,21-24,29}

En los estudios de profesionales de la salud, las grasas trans se asocian con un mayor riesgo de diabetes mellitus tipo II.¹⁴ Sin embargo, se encontraron inconsistencias en los resultados de otros estudios. Louheranta y colaboradores, demostraron que las dietas de ácidos grasos esenciales no tuvieron ningún efecto sobre el metabolismo de la glucosa y la insulina, en comparación con una dieta de ácidos grasos trans monoinsaturados.^{14,21,23} Los resultados de los estudios del efecto de la ingesta de grasas trans en el riesgo de diabetes tipo II, siguen siendo contradictorios.^{14,21-24,29}

3.1.4.2.5 Efecto de las grasas trans sobre el aumento de la inflamación sistémica

Los estudios han demostrado una asociación positiva en un alto nivel de exposición entre los TFA, el estrés oxidativo y la inflamación sistémica.^{1,2,21,24,29,40,41}

Los TFA pueden aumentar el estrés oxidativo a través de su incorporación en los fosfolípidos de la membrana celular, que pueden influir en la carcinogénesis a través de la mutación (inducida por daño del ADN oxidante), así como la modificación de la expresión génica.^{2,45,50,49}

Actualmente se cree que el proceso inflamatorio de las arterias es un factor de riesgo en las enfermedades del corazón, y los estudios obtenidos muestran que las grasas trans hidrogenadas aumentan la inflamación en las arterias.^{2,24,51} Según Sun y colaboradores, los niveles más altos de grasas trans de las células en los glóbulos rojos están asociados con la inflamación sistémica y un mayor riesgo de enfermedades del corazón en las mujeres.^{2,3} Basu y colaboradores, estudiaron los factores dietéticos y su papel en la inflamación; encontraron que la grasa trans promovió la inflamación en bajo grado. López-García y colaboradores también creen que el consumo de grasas trans se relaciona con biomarcadores plasmáticos de inflamación y disfunción endotelial.^{2,9,24,29,40,45,52} Su estudio sugiere que la mayor ingesta de grasas trans podría afectar negativamente a la función endotelial.^{2,3,28}

Varios investigadores han estudiado los efectos de inflamaciones en las arterias y otros factores de la dieta, a menudo a través de la presencia de proteínas C-reactiva (CRP, por sus siglas en inglés), que se asocian con la inflamación.^{2,3,24,29} Por ejemplo, Massaro y colaboradores creen que la aterosclerosis es un proceso dinámico con cambios inflamatorios en el endotelio de arterias de conducción.^{2,3,24,29} Asimismo, indicaron que los efectos de las grasas trans pueden explicar en parte los efectos inflamatorios en la salud cardiovascular.²

3.1.5 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE GRASAS

Problemas como el efecto de las grasas en la salud y los requerimientos de etiquetado en los alimentos, hacen que sea necesario que analistas especializados en alimentos sean

capaces de no sólo medir el contenido de lípidos totales de un producto alimenticio, sino también, de caracterizarlos.^{13,14,18,41}

Las preocupaciones en cuanto a la salud requieren la medición de parámetros tales como el contenido de colesterol, fitoesteroles y ácidos grasos saturados, mono y polinsaturados. La estabilidad de los lípidos impacta la vida útil de los productos alimenticios y en su seguridad, ya que algunos productos de oxidación (ej. malonaldehído, óxido de colesterol) tienen propiedades tóxicas.^{13,14,18,41}

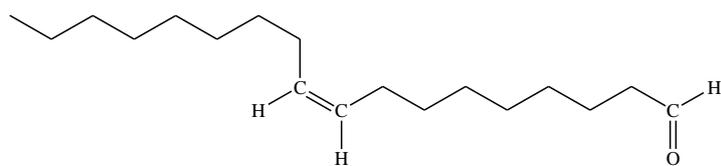
Los lípidos presentes en los productos alimenticios o grasas a granel y aceites pueden ser caracterizados por la medición de la cantidad de sus diversas fracciones que incluyen ácidos grasos mono, di, y tri gliceroles, fosfolípidos, esteroides (incluyendo el colesterol y fitoesteroides).^{13,14,18,41} Otro medio de categorización de fracciones de lípidos es inherente al etiquetado nutricional que implica la medición de no solo grasa total, sino también, la cuantificación de la saturación de las grasas, grasas monoinsaturadas, ácidos grasos polinsaturados y sus isómeros *trans*.^{13,14,18,41}

3.1.5.1 La necesidad de ácidos grasos esenciales (EFA) en la dieta

Los ácidos grasos esenciales son componentes fundamentales de todas las membranas celulares, regulan sus funciones y metabolismo, con participación en la selección de sustancias que entran y salen de las células, así como en las respuestas a impulsos nerviosos, funcionales y hormonales. La flexibilidad y fluidez de las membranas dependen del nivel de ácidos grasos esenciales disponibles en las mismas.^{3,5,17,19,57}

Los EFA, se requieren para sintetizar los eicosanoides que se necesitan para regular el flujo sanguíneo en las arterias y venas.^{3, 5, 17, 21,57} También son necesarios para el crecimiento y el desarrollo de otras funciones del cuerpo, tales como la actividad del cerebro y la visión.^{3,5,17,19} El ácido eláídico se deriva del ácido oleico (**Fig. 9**) y es el principal ácido graso *trans* encontrado en las grasas procesadas.^{2,3,10,11,18,19,44,47}

(a)



(b)

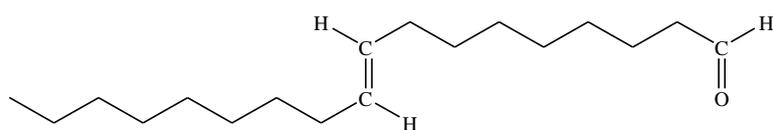


Fig. 9. (a) Ácido oleico (*cis*) (b) Ácido elaídico (*trans*).^{3, 65}

Numerosos estudios clínicos y experimentales han mostrado que los ácidos grasos *trans* (TFA) en la dieta pueden causar cambios adversos en el perfil de las lipoproteínas del plasma, con un aumento en las LDL y una disminución en la HDL.
[2,3,10,11,15,16,18,19,21,22,30,32,34](#)

Estudios epidemiológicos han encontrado una relación entre el nivel de ácidos grasos *trans* ingeridos y el riesgo de enfermedades.^{[3,65,66](#)} Estas preocupaciones se trasladaron a la organización de alimentos y agricultura (FAO; por sus siglas en inglés, food and agriculture organization) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) para recomendar que las grasas para el consumo humano deberán contener menos de 4 % de grasas *trans* totales, e incitaron a la industria alimentaria para reducir la presencia de grasas *trans* en sus productos a estos niveles.
[10,19,21,27,39,43,65](#)

Las recomendaciones de la FAO/OMS (por sus siglas en inglés: United Nations Food and Agriculture Organization / World Health Organization) sobre el consumo de grasas y aceites orientan a que estos nutrientes no aporten más de un 30 % de la energía, situación que está claramente distorsionada en muchos países del mundo incluyendo El Salvador, debido principalmente a factores culturales.
[4,23,54](#)

Los esfuerzos se encaminan a lograr aportes iguales o idealmente menores al 30% de la energía en forma de grasas y aceites. Sin embargo, la propuesta actual orienta más a modificar el tipo de grasa que se consume que a disminuir su ingesta.
[4,23,54](#)

La recomendación es que la grasa o aceites contengan una proporción similar de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, lo que significa que cada uno de estos tipos de ácidos grasos aporte un 10 % del total de la energía.^{4,23,56}

El 70 % de las muertes por enfermedades crónicas no transmisibles, es decir, enfermedades del corazón, cáncer, diabetes, hipertensión, osteoporosis, y enfermedades vasculares cerebrales, se relacionan con los alimentos que se ingieren.^{4,18}

3.1.5.2 Funciones en el organismo

- Las grasas sirven como fuente concentrada de calor y energía.
- La grasa transporta vitaminas liposolubles A, D, E y K.
- La grasa transmite una sensación de saciedad debido a que se digiere con mayor lentitud en el estómago que los carbohidratos y las proteínas.
- La grasa coopera en la función tisular normal.
- La grasa almacenada puede usarse como reserva para abastecer al cuerpo de combustible.
- La grasa almacenada ayuda a mantener a los órganos en su lugar y los protege de posibles lesiones.^{4,6}

3.1.5.3 Importancia nutricional

La FDA (por sus siglas en inglés, The Food and Drug Administration), ha definido el “Contenido de grasas” con el propósito de elaborar un etiquetado nutricional, como: El total de ácidos grasos, debe ser declarado como no mayor de 0.5 g, si la porción contiene menos de 0.5 gramos, el contenido se puede expresar como cero. En esta definición se incluyen los “ácidos grasos” que pueden ser derivados de los triglicéridos, glucolípidos, ácidos grasos libres, etc.^{4,6}

Su concentración se expresa en gramos de triglicéridos para propósitos de etiquetado nutricional, no obstante este método requiere de un cálculo estequiométrico para cambiar el método de extracción y gravimetría a ácidos grasos de ésteres metílicos determinados por cromatografía de gases.^{4,6}

3.1.5.4 Proceso de fritura

La fritura es un proceso físico-químico complejo, en el cual el producto a freír se introduce en el aceite durante determinado tiempo a temperaturas entre 175-195 °C, para favorecer una rápida coagulación de las proteínas de la superficie del producto y provocar una impermeabilización del mismo, la que controla la pérdida de agua desde su interior.^{4,11,12,18}

Investigadores indican que la ganancia del contenido de grasa total es mayor durante el período de enfriamiento del alimento que durante el período de fritura, debido a que la absorción de grasa es un fenómeno de superficie. Durante el enfriamiento, los poros del alimento están más abiertos y la grasa superficial penetra mucho más fácilmente que durante la inmersión. Solo del 15 al 20 % del aceite se absorbe por inmersión, mientras que el 65 % del contenido total del aceite se absorbe durante el enfriamiento post-fritura y el resto es mantenido en la superficie o en los poros de la estructura crujiente.^{15,18}

Por ejemplo, una porción de 150 g de papa frita contiene 7 g de grasas trans, cifra que impacta y que hace reflexionar sobre la calidad de alimentos que se consumen.^{42,43,44} Para fines ilustrativos se presenta una figura de una porción de papa frita. **Fig.10**



Fig. 10. Presentación del contenido en gramos de grasa trans en una porción de papas fritas.

3.1.5.5 Cambios químicos que se producen en los aceites al ser calentados

- a) **Hidrólisis:** Los triglicéridos a temperaturas moderadas y en presencia de agua sufren lo que se le conoce como “proceso de rotura”, formándose mono, diglicéridos y ácidos grasos libres que provocan un descenso en la temperatura del punto de humo. Este proceso se da sobre todo al principio y durante el enfriamiento del aceite, ya que a temperaturas de 150 – 180 °C toda el agua se ha evaporado.^{14,36}
- b) **Autooxidación:** Es la reacción más frecuente en la fritura en donde la presencia de luz, y trazas de metales favorecen estas reacciones. Afecta sobre todo a los ácidos grasos insaturados, y conlleva la aparición de hidroperóxidos y peróxidos inestables (**Fig.11**). El aceite después de este proceso tiende a oscurecerse, aumenta su viscosidad, incrementa la formación de espuma, y desarrolla gustos y olores anómalos.^{14,36}

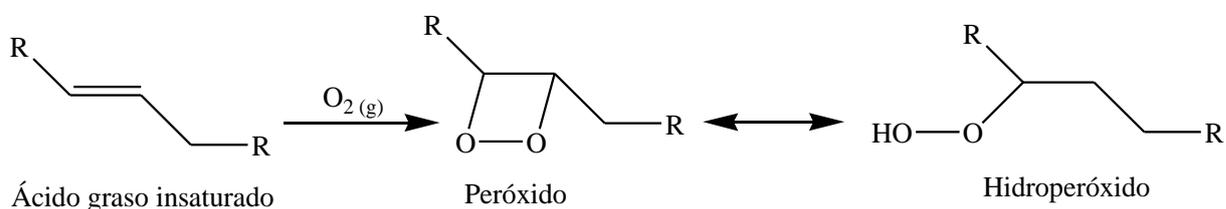


Fig. 11. Reacción de autooxidación de los ácidos grasos

- c) **Polimerización:** los peróxidos formados por la autooxidación reaccionan entre sí, o con los ácidos grasos libres formando compuestos poliméricos de gran tamaño, no digeribles por nuestro organismo, y que son considerados como tóxicos y potencialmente cancerígenos. Como ejemplo se conoce la acrilamida y acroleína que pueden reaccionar formando compuestos poliméricos.^{14,36}
- d) **Isomerización:** Es el proceso químico mediante el cual una molécula es transformada en otra que posee los mismos átomos pero dispuestos en forma distinta.^{14,36}

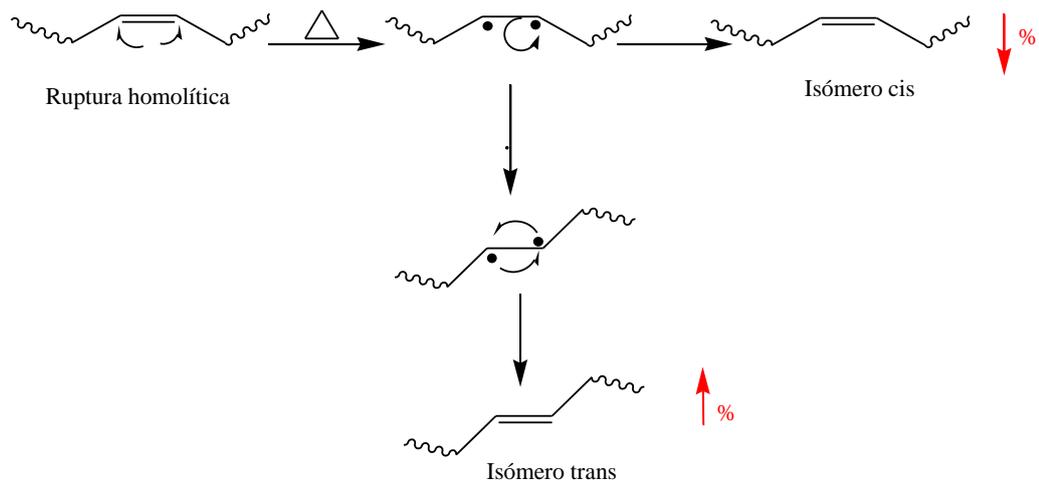


Fig. 12. Reacción de isomerización

Para evitar al máximo la alteración de los aceites durante el proceso de fritura y, por tanto, la repercusión negativa sobre los aspectos nutritivos y toxicológicos de los alimentos fritos, conviene tener en cuenta las siguientes medidas:^{14,36}

1. El alimento debe tener superficie lo más seca posible, ya que la humedad favorece la hidrólisis y la formación de espuma, con la consiguiente aceleración de la oxidación.
2. La superficie de contacto aceite/aire debe ser la mínima posible, para reducir los procesos oxidativos.
3. No deben existir trazas de metales, que actúen como catalizadores acelerando la degradación del aceite.

3.1.5.6 Termo oxidación de los ácidos grasos trans

La estabilidad oxidativa de los aceites, dada por su resistencia al proceso de oxidación, es un indicador importante de rendimiento y vida útil, que depende de la composición de la muestra y las condiciones a las que se somete.^{41,60}

Las condiciones oxidativas influyen en el mecanismo del proceso de degradación del aceite. Aunque otros mecanismos de degradación también son posibles, el proceso de degradación del aceite en general, se ha establecido como un mecanismo por radicales

libres produciendo hidroperóxidos, también llamados productos de oxidación primaria, los cuales se mencionan anteriormente.^{41,60}

Posteriormente, los productos de oxidación se degradan en aldehídos, cetonas, lactonas, alcoholes, ácidos, etc. Los métodos utilizados para determinar el grado del proceso de oxidación consisten principalmente en la medida de la concentración de productos de oxidación primarios, secundarios o ambos, o a la cantidad de oxígeno consumido durante el proceso.^{41,60}

Aparte de la hidrogenación (se produce mediante la adición directa de dihidrógeno bajo presión y en presencia de un catalizador), existen otras dos importantes tecnologías de modificación de grasas. La primera es la **interesterificación**, el reordenamiento al azar de los ácidos grasos en la molécula del triglicérido, bajo la influencia de un catalizador moderadamente alcalino, esto modifica el comportamiento de la grasa frente a la fusión, sin que cambie la naturaleza de sus ácidos grasos. La segunda es el **fraccionamiento**, la separación controlada de las fracciones de aceite/grasa a temperaturas bajas (fraccionamiento en seco) o con disolventes (fraccionamiento con disolventes), en este proceso no se dan cambios en la naturaleza química de los ácidos grasos. El aceite de palma se fracciona en palmoleína y palmestearina.^{12,17}

3.1.6 Normas de Exposición y Directrices

Existe un acuerdo casi general entre los comités de expertos desde el 2010; éstos son: Organización Mundial de la Salud (OMS) / Organización de Alimentos y Agricultura, FAO (Por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization), Asociación Americana del Corazón (AHA), Asociación Americana de Diabetes, Comité Asesor dietético Directrices (DGAC), Sociedad Internacional para el Estudio de Ácidos Grasos y Lípidos (ISSFAL, por sus siglas en inglés, International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids), Guías Alimentarias para los Estadounidenses (DGA, por sus siglas en inglés, Dietary Guidelines for Americans), y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés, Food and Drug Administration) que el consumo de ácidos grasos trans debería ser lo más baja posible y no más de 1 % de la ingesta total de energía.¹⁹

La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) también declaró que para el primero de enero del 2006, los fabricantes tenían que reportar la categoría de grasas trans de la oferta total de grasa. Para ello, los organismos FDA y Salud de Canadá, han propuesto normas generales sobre etiquetado de alimentos que requieren, la cantidad de grasas trans por porción, que se añade a la cantidad de grasa saturada por porción.^{1,24,39,48} La regla final de la FDA sobre el etiquetado de TFA exige la declaración del contenido de TFA en la etiqueta de información nutricional de los productos alimenticios. Según las normas, TFA se definen como "todos los ácidos grasos insaturados que contienen uno o más enlaces dobles aislados en configuración *trans*", que excluye los ácidos grasos con dobles enlaces conjugados.^{4,12}

Si el contenido de TFA de un producto es igual o superior a 0.5 g por porción, se debe declarar en el panel de información nutricional de dicho producto. Por otra parte, si el contenido de TFA está por debajo de 0.5 g por porción, TFA debe ser declarado como 0 g. Para cumplir con las normas de etiquetado, las industrias de aceites y alimentos comestibles se enfrentan al reto de analizar e informar con precisión el contenido de TFA. Además, aunque la divulgación requerida de contenido de TFA no incluya límites máximos permitidos, la imagen poco saludable asociada a TFA ha llevado a los fabricantes de alimentos a evaluar sus productos y buscar alternativas más saludables.^{4,12}

3.1.6.1 Reglamentos Internacionales de Grasas Trans

De los ácidos grasos, los TFA son los de mayor estudio en los laboratorios a nivel mundial debido a sus efectos adversos sobre la salud humana, la cantidad de ácidos grasos trans en la dieta puede causar enfermedades, por lo que algunos países del mundo poseen sus propios reglamentos.

El comercio internacional de alimentos está normalizado en el Codex Alimentarius. Aceites y grasas hidrogenados entran dentro del ámbito de Codex Stan 19. En el Codex Alimentarius, las grasas trans que son etiquetadas se definen como los isómeros geométricos de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados.⁴²

Canadá

Desde diciembre de 2005, Health Canada ha exigido que en las etiquetas de los alimentos se reporte la cantidad de grasas trans en la sección de información nutricional para la mayoría de los alimentos. Los productos con menos de 0.2 gramos de grasas trans por porción pueden ser etiquetados como libres de grasas trans. En junio de 2006, un grupo de trabajo copresidido por Health Canada y la Heart and Stroke Foundation de Canadá recomienda un límite del 5 % de grasas trans (en grasa total) en todos los productos vendidos a los consumidores.⁴²

El 20 de junio del 2007, el gobierno federal de Canadá, anunció su intención de regular las grasas trans. El 1 de enero del 2008, Calgary se convirtió en la primera ciudad en prohibir las grasas trans en los restaurantes y cadenas de comida rápida. Las grasas trans presentes en los aceites de cocina no pueden superar el 2 % del contenido total de grasa. Sin embargo, las regiones de salud local con la Junta de Servicios de Salud de Alberta en el 2009 eliminaron temporalmente toda la aplicación de la prohibición.⁴²

Estados Unidos

El 11 de julio del 2003, la FDA emitió una regulación que exige a los fabricantes una lista de grasas trans en el panel de información nutricional de los alimentos y algunos suplementos dietéticos. En Estados Unidos, antes de 2006, los consumidores en los Estados Unidos no pudieron determinar directamente la presencia (o cantidad) de las grasas trans en los alimentos. Esta información sólo se podía deducir de la lista de ingredientes, en especial de los ingredientes parcialmente hidrogenados. Según la FDA, el estadounidense consume un promedio de 5.8 gramos de grasas trans al día (2.6 % de las calorías).⁴² La norma de etiquetado actualizada pasó a ser obligatoria en todos los ámbitos, incluso para las empresas que solicitaron prórrogas, para el 1 de enero de 2008. Sin embargo, a diferencia de muchos otros países, los niveles de grasa trans de menos de 0.5 gramos por porción puede aparecer como 0 gramos de grasas trans en las etiquetas de los alimentos.⁴²

3.1.6.2 Legislación Salvadoreña

En El Salvador existe una “NORMA PARA GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES” (NO REGULADOS POR NORMAS INDIVIDUALES DEL CODEX), pero esta norma presenta un enfoque general de los requisitos que deben cumplir las grasas y aceites comestibles utilizados en la preparación doméstica e industrial de alimentos, como el color, olor, sabor, índice de acidez, índice de peróxido, aditivos alimentarios etc... pero ninguna menciona la cantidad mínima y máxima de grasas trans que deben de tomar en cuenta, tanto los productores de aceites como el consumo sugerido. La comisión del Codex alimentarius en conjunto a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), en un programa sobre normas alimentarias, menciona lo siguiente: *“Varias Delegaciones, aunque reconociendo la importancia para la salud pública de los ácidos grasos trans, no estuvieron de acuerdo con su inclusión pues estos no son nutrientes que causen preocupación en sus respectivos países, y que se han tomado medidas para reducir el uso de los ácidos grasos trans por parte de los elaboradores y su insumo por parte de los consumidores. Estas Delegaciones prefirieron dejar la flexibilidad en manos de los gobiernos nacionales para la inclusión de los ácidos grasos trans en las etiquetas nutricionales”*. No teniendo en el país una norma específica de la cantidad de grasas trans, las industrias pueden asegurar que sus productos son libres de estas grasas y el uso repetido de un mismo aceite al freír los alimentos puede ocasionar la formación de compuestos tóxicos, incluidos entre estos los ácidos grasos trans.^{4,12}

3.1.6.3 Frituras populares Salvadoreñas

En San Salvador, las frituras más comercializadas son papas fritas (papa cortada en trozos largos), churros españoles (trozos de harina de trigo), yuquitas (yuca cortada en trozos muy delgadas) , platanito (plátano cortado en trozos muy delgados), estrellas (harina de trigo en forma de estrella), entre otros, estos alimentos fritos son aceptables por la población salvadoreña y su comercio es más prolífero particularmente en épocas de fiestas, y se encuentran en los alrededores de las diferentes ferias o parques de diversiones. A continuación la **fig. 13**, representa algunos alimentos fritos populares.



Muestra de yuquita y platanito



Papas fritas



Churros Españoles



Platanito, enredo de yuca, yuquita



Estrellas, platanito, enredo de yuca, platanito

Fig. 13. Muestras de alimentos populares comercializados en las calles del país.

3.2 MÉTODOS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS

Los métodos instrumentales de análisis, ofrecen numerosas ventajas en comparación con otros métodos. En general, son rápidos, no destructivos y requieren una preparación mínima de la muestra y menor consumo de productos químicos. Sin embargo, el equipo puede ser costoso y las mediciones a menudo requieren establecer curvas de calibración específicas para diversas composiciones. A pesar de estos inconvenientes, estos métodos instrumentales son muy utilizados en laboratorios de control de calidad aplicados a la investigación.¹⁰⁰

3.2.1 ESPECTROSCOPIA

La espectroscopia es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante. El análisis espectral se basa en detectar la absorción o emisión de radiación electromagnética a ciertas longitudes de onda características y se relacionan con los niveles de energía implicados en una transición cuántica.¹⁰⁰

Existen tres casos de interacción con la materia:

1. Choque elástico: Ejemplos son los rayos X, la difracción de electrones y la difracción de neutrones.
2. Choque inelásticos: por ejemplo la espectroscopia Raman, IR.
3. Absorción o emisión resonante de fotones. Ejemplo: Espectrometría de Fluorescencia.

La espectroscopia se relaciona en la mayoría de los casos con la tercera interacción. Estudia en qué frecuencia o longitud de onda una sustancia puede absorber o emitir energía en forma de un cuanto de luz.¹⁰⁰

La energía de un fotón (un cuanto de luz) de una onda electromagnética o su correspondiente frecuencia, equivale a la diferencia de energía entre dos estados cuánticos de la sustancia estudiada:¹⁰⁰

$$\Delta E = h \cdot \nu$$

Donde h es la constante de Planck, ν es la frecuencia del haz de luz u onda electromagnética asociada a ese cuanto de luz y ΔE es la diferencia de energía. Esta ecuación es conocida también como la ecuación básica de la espectroscopia. Las diferencias de energía entre estados cuánticos dependen de la composición elemental de la muestra o de la estructura de la molécula, y por eso este método proporciona información importante para astrónomos, físicos, químicos y biólogos.¹⁰⁰

Por medio de un espectrofotómetro se mide el espectro de la luz (intensidad de la luz absorbida, reflejada o emitida en función de la frecuencia o de la longitud de onda). Los espectros se diferencian considerablemente de elemento en elemento.¹⁰⁰

En general, se denota como espectro a la distribución de la intensidad en función de la frecuencia o de la longitud de onda. Además de la luz visible, la espectroscopia cubre hoy en día una gran parte del espectro electromagnético, que va de los infrarrojos hasta los rayos gamma.¹⁰⁰

3.2.2 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA

La espectroscopia infrarroja es la medición de la radiación infrarroja absorbida por una muestra.^{32,60,61} La región IR del espectro electromagnético se encuentra entre 12800 a los 10 cm^{-1} . Tanto desde el punto de vista de las aplicaciones como de los aparatos, se puede dividir en tres zonas.^{32,60,61}

- IR cercano: 12800-4000 cm^{-1}

- IR medio: 4000-400 cm^{-1}

- IR lejano: 400-10 cm^{-1}

Es en la región del infrarrojo medio donde se dan la mayoría de las aplicaciones analíticas tradicionales. Una de las grandes ventajas de la espectroscopia IR es su versatilidad, ya que permite estudiar prácticamente cualquier muestra con independencia del estado en que se encuentre: líquidos, disoluciones, pastas, polvos, fibras, films, gases o superficies, son algunos ejemplos.^{60,63,96}

La aparición en la última década de equipos de Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier ha aumentado notablemente por el número y tipo de aplicaciones de la radiación del infrarrojo debido al incremento de la relación señal/ruido y del límite de detección del equipo, en un orden de magnitud mayor que puede conseguirse con los instrumentos con interferómetros, los cuales se utilizan en análisis tanto cualitativos como cuantitativos.^{32,60,61}

3.2.3 ANÁLISIS CUALITATIVO

Para la identificación de los compuestos orgánicos es muy generalizado y común el uso de espectroscopia infrarrojo. Este método revolucionó la manera en que los químicos identifican las muestras.^{32,60,61}

En el análisis cualitativo mediante espectroscopia el proceso consta de dos etapas:

1. Determinación de los grupos funcionales
2. Comparación detallada del espectro del compuesto desconocido con los espectros de referencia (los compuestos puros que contienen todos los grupos funcionales encontrados en la primera etapa). En este caso es particularmente útil la región de la huella dactilar, comprendida entre $1,200\text{ cm}^{-1}$ – 600 cm^{-1} , en esta región es donde los compuestos orgánicos presentan picos característicos.^{32,60,61}

3.2.4 ESPECTROSCOPIA IR – Medio

Las intensidades de las bandas en el espectro de IR son proporcionales a la concentración, es decir, que se cumple la Ley de Beer, por lo que la espectroscopia de infrarrojo medio es susceptible a las aplicaciones de análisis cuantitativos.^{58,65,66,96}

Las radiaciones en esta región son absorbidas por uniones interatómicas, y otras uniones químicas, los compuestos orgánicos en diferentes entornos absorben intensidades variables a diferentes frecuencias.^{67,68,80,96} Los grupos funcionales se pueden identificar debido a que sus

bandas de absorción se encuentran en zonas relativamente estrechas, en regiones características en la región infrarroja y se dividen en las siguientes regiones generales: ^{96,100}

La región de **grupos funcionales: 4000- 1300 cm⁻¹**

La región de **huellas dactilares: 1200 – 600 cm⁻¹**

La región de **los aromáticos: 910 – 650 cm⁻¹**

Las absorciones fundamentales son observadas primeramente en estas regiones del espectro. Para la espectroscopia IR-Medio existen dos tipos de espectrómetros los cuales son:

a. Instrumentos dispersivos, los cuales usan un monocromador para dispersar las frecuencias individuales de la radiación y secuencialmente pasar a través de la muestra de tal manera que la absorción de cada frecuencia pueda ser medida.

b. Los instrumentos con Transformada de Fourier, en los cuales la radiación no se dispersa, sino que llegan al detector simultáneamente todas las longitudes de onda. Mediante un tratamiento matemático, llamado Transformada de Fourier, se convierten los resultados en un espectro IR típico. Este equipo en vez de un monocromador, posee un interferómetro. ^{16,60,61}

3.2.5 APLICACIONES CUALITATIVAS

La identificación de grupos funcionales específicos, especialmente en moléculas orgánicas, es la aplicación principal de la espectroscopia IR, en tanto que permite la caracterización de sustancias desconocidas y el seguimiento de especies concretas. A continuación se presentan las principales familias de compuestos en los que esta técnica ha encontrado aplicación cualitativa: ^{16,60,61}

- **Compuestos orgánicos:** Grupos funcionales.
- **Compuestos inorgánicos:** Compuestos de boro, silicio y fósforo.
- **Polímeros:** Ofrece información sobre la estructura y composición del material. Así, se obtienen datos de isomería conformacional y configuración, enlaces por puente de hidrógeno, orden en la cadena y cristalinidad.
- **Sistemas biológicos:** La Espectroscopia IR ha demostrado ser una herramienta poderosa en el estudio de moléculas biológicas, especialmente de proteínas y lípidos.

3.2.6 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA CON TRANSFORMADA DE FOURIER

La Espectroscopia Infrarroja con Transformada de Fourier, FTIR (Por sus siglas en inglés: Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ha estado a disposición de los investigadores desde principios de 1970.⁵⁸ Se basa en la interferometría y hace uso de una fuente completa del espectro en lugar de las longitudes de onda individuales generadas por los sistemas de rejilla y / o de prisma utilizados en espectroscopia de IR convencional.^{58,76,77,100} Un interferómetro utiliza un divisor de haz para dividir la radiación de la fuente en dos partes, que se refleja en un espejo fijo y un espejo móvil, respectivamente (**Fig. 14**).^{58,78,79,100}

Los dos haces se someten a interferencia constructiva y destructiva, ya que se recombinan en el divisor de haz debido a la diferencia en la dirección que varía entre los dos espejos.^{58,80,100}

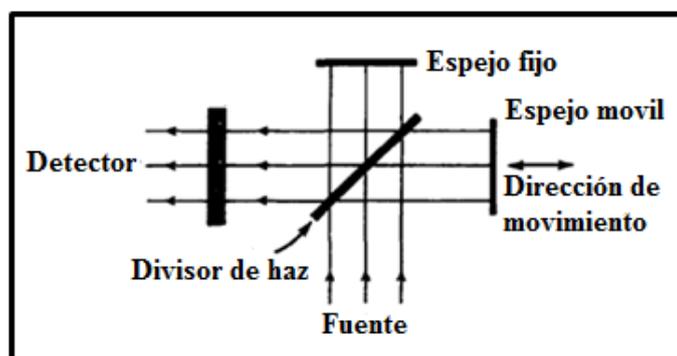


Fig. 14. Diagrama esquemático de los componentes esenciales de un interferómetro.⁵⁸

Las fluctuaciones de intensidad producidas por el efecto de interferencia son medidas por el detector, la digitalización en tiempo real y el resultado es un interferograma que contiene toda la información espectral en relación con la muestra.^{58, 81,82}

Con el fin de obtener información interpretable, el interferograma digital debe ser convertido por Transformada de Fourier a un espectro IR de emisión convencional, por ello al equipo de IR se le adapta una computadora que puede realizar esta conversión.^{58, 83}

Los espectros de emitancia a su vez se pueden convertir en espectros de transmitancia y absorbancia. Espectrómetros FTIR tienen ventajas significativas sobre los instrumentos de tipo dispersivo, ya que proporcionan una mejora en la relación señal-ruido, mientras que su propiedad de multiplexación permite que todas las frecuencias sean detectadas simultáneamente, reduciendo drásticamente el tiempo de exploración sin pérdida de resolución.^{58, 84, 85,86}

Por medio de un láser interno se mantiene estable la longitud de onda. Otras ventajas son mayor rendimiento energético, mejor resolución de longitud de onda superiores ($0,003-0,006 \text{ cm}^{-1}$) y la exactitud de longitud de onda superior obtenido a través del uso de un láser interno para mantener la calibración de longitud de onda.⁵⁸ La calibración láser asegura las manipulaciones de los datos subsiguientes tales como sustracción espectral, racionamiento, extracción, co-adición de escaneos y búsquedas de la biblioteca, pudiendo todo esto llevarse a cabo con precisión. Operaciones similares en instrumentos dispersivos computarizados están limitadas por desviaciones de frecuencia con el tiempo.^{58, 100}

3.2.7 FTIR/ATR

El éxito de las aplicaciones de análisis en FTIR a los sistemas alimentarios depende de la utilización de la tecnología de Reflectancia Total Atenuada (ATR, Por sus sigla en inglés: Attenuated Total Reflectance), ya que proporciona un medio de manipulación simple y reproducible de productos en forma de líquidos y pastas ^{58,87} En principio, es un procedimiento sencillo y normalizado, se disuelven en un disolvente adecuado el soluto o mezclas de soluto y así se dispersa la mayoría de los alimentos a modo que las muestras sean adecuadas para el análisis de FTIR.^{58,88}

Una vez en disolución, la muestra puede aplicarse directamente al cristal ATR, el espectro registrado produce un espectro de la muestra en análisis de alta calidad a partir del cual se pueden obtener datos cuantitativos.^{58,89}

La tecnología FTIR/ATR son técnicas que se han desarrollado para el manejo de la mayoría de los líquidos de rutina (**Fig. 15**). Las ventajas son: mejor relación señal-ruido, multiplexación y una mejor resolución.^{58, 90}

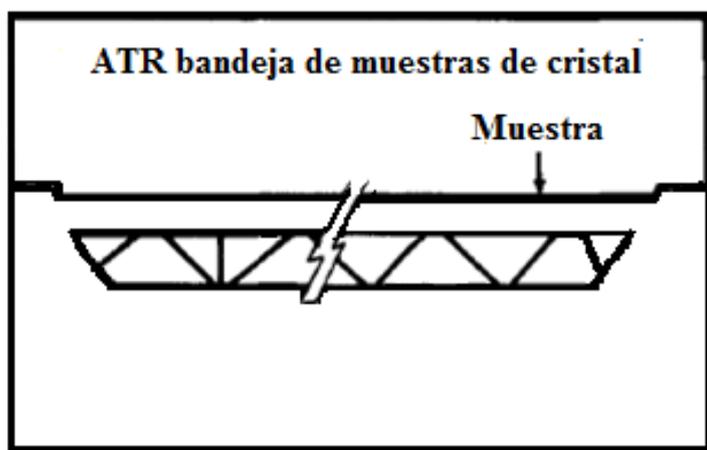


Fig. 15. Diagrama esquemático de un típico cristal ATR con la muestra aplicada, que muestra la trayectoria óptica del haz de muestra.⁵⁸

Dado que la tecnología informática es una parte integral de los instrumentos FTIR, existe un software para el manejo de datos que están disponibles con estos sistemas y son capaces de llevar a cabo el suavizado espectral, resta, suma, y reconocimiento de picos / región. Además, las capacidades de macro programación permite automatizar las operaciones, mientras que las bibliotecas espectrales se pueden desarrollar y almacenar para la identificación rutinaria y / o con fines de cuantificación.^{58, 91,92}

3.2.8 DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS ÁCIDOS GRASOS TRANS

La determinación de grasas trans aisladas en grasas y aceites por espectroscopia infrarroja de dispersión es un método oficial de la AOAC 2000.10 (Por sus siglas en inglés: Association of Official Analytical Chemists).^{32,58} El uso de la espectroscopia con FTIR permite una considerable simplificación al método de la AOAC, especialmente desde el punto de manipulación del soporte, en el que la muestra se puede analizar de manera ordenada, el método FTIR proporciona una mayor precisión y una reducción significativa en el tiempo de análisis total de (2.5 min/ muestra).⁵⁸ Además de ser susceptible de automatización.^{58,95}

En la espectroscopia FTIR la determinación cuantitativa de los ácidos grasos trans aislados se basa en la medición de área del pico de la grasa trans en la región específica $991-966\text{ cm}^{-1}$, que representa la absorción de la deformación C-H fuera del plano.⁵⁸ Las vibraciones de deformación de C-H de isómeros aislados trans de los dobles enlaces en los ácidos grasos y ésteres dan la banda de absorción infrarroja en aproximadamente 966 cm^{-1} .⁵⁸

Debido a la presencia de isómeros cis-trans conjugados y trans-trans, la nueva banda de absorción a 985 cm^{-1} y 945 cm^{-1} causa interferencias espectrales y para evitar este problema, se debe utilizar el método que utiliza la medición de la intensidad de la banda en cuatro puntos.⁵⁸

Este método permite eliminar el efecto de fondo no lineal.⁸⁰ La FTIR proporciona mediciones rápidas y reproducibles para las mezclas que contienen más de un 1 % de ácidos grasos trans.^{58-61,80}

La clave de la potencia de FTIR como una herramienta cuantitativa reside en su capacidad para llevar fácilmente a cabo análisis y la cuantificación de múltiples componentes se basa en la naturaleza aditiva de la ley de Beer: “La intensidad de un haz de luz monocromática, que incide perpendicular sobre la muestra, decrece exponencialmente con la concentración de la muestra”.^{97,100}

Según esta ley:

$$A = K \cdot C$$

A= Absorbancia de la muestra

K= Es una constante que depende de la longitud de onda usada, de la sustancia que se analiza y del espesor de la celda usada.

C= Concentración de la muestra

El software está disponible para resumir los valores de absorbancia de los espectros, calcular la matriz de factores de calibración y predecir concentraciones desconocidas.^{58, 100}

3.2.9 PRINCIPIO (MÉTODO 2000:10 AOAC)

En la mayoría de grasas y aceites vegetales de origen natural, los componentes insaturados contienen solamente dobles enlaces aislados en configuración cis. Estos enlaces dobles cis se pueden isomerizar a configuración trans durante su procesamiento y extracción por: oxidación, conversión, calentamiento y el proceso de hidrogenación parcial.^{32,60,61}

Las grasas animales y marinas pueden contener cantidades medibles de isómeros geométricos de ácidos grasos trans de origen natural. Los enlaces dobles trans aislados en los ácidos grasos de cadena larga, los ésteres metílicos de ácidos grasos, los jabones y triacilglicerol se pueden medir por espectroscopia infrarroja (IR).^{32,60,61}

La concentración se puede determinar cualitativamente en el espectro IR. Una banda de absorción única con un máximo en la región de 966 cm^{-1} ($10.3 \mu\text{m}$), se presenta por la vibración C-H de la deformación del doble enlace C=C trans, se exhibe en los espectros de todos los compuestos que contienen un grupo aislado trans. Esta banda no se observa en los espectros correspondientes a los ácidos grasos saturados e insaturado cis. La medida de la intensidad de esta banda de absorción bajo condiciones analíticamente controladas es la base para un método a su vez cuantitativo para la

determinación de ácidos grasos trans totales. No se requiere que las muestras de ensayo, grasas y aceites se conviertan a ésteres metílicos de ácidos grasos antes del análisis. En el Anexo 1, se brinda una descripción completa del proceso.^{32,60,61}

3.2.10 APLICACIÓN DEL MÉTODO

El método de la AOAC, es aplicable para grasas y aceites que contengan > 0.5 % de la instauración conjugada, materiales que contenga grupos funcionales que modifiquen la intensidad de la vibración C-H de la deformación del doble enlace C=C en posición trans, o en general a cualquier material que contenga constituyentes cuyos grupos funcionales que generan una banda de absorción específica que esté lo suficientemente cerca como para interferir con la banda de vibración de absorción C-H del doble enlace trans aislado a 966 cm^{-1} . Por ejemplo, el método de Cd 14d-96 se limita para muestras que contiene al menos 0.8 % de isómeros de ácidos grasos trans (para las muestras que contienen menos del 0.8 % de dobles enlaces trans se recomienda un método de cromatografía de gases por la AOAC, Ce if-96).^{32,60,61}

El método recomienda utilizar los estándares primarios Trioleína (TO) (**Fig.16**) y Trielaidina (TE) (**Fig.17**).^{32,60,61}

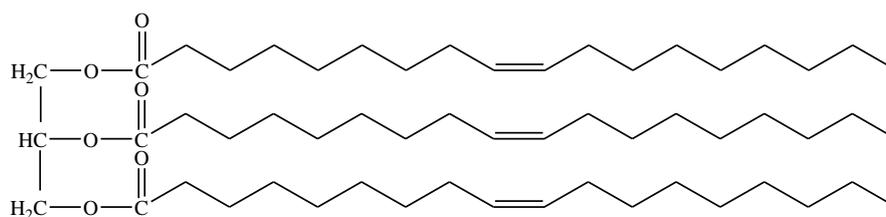


Fig. 16. Estructura del estándar negativo 1,2,3-tri(cis-9-octadienol) glicerol (Trioleína)

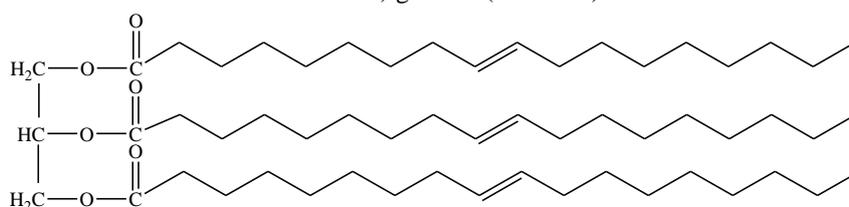


Fig. 17. Estructura del estándar positivo 1,2,3-tri(trans-9-octadienol)glicerol (Trielaidina)

CAPÍTULO IV
JUSTIFICACIÓN

4.1 JUSTIFICACIÓN

De los ácidos grasos, los TFA son los de mayor estudio en los laboratorios a nivel mundial debido a sus efectos adversos sobre la salud humana, la cantidad de ácidos grasos trans en la dieta puede causar enfermedades cardiovasculares, alteraciones en el desarrollo infantil, enfermedades coronarias, diabetes, arteriosclerosis, etc.

La técnica de espectroscopia Infrarroja FTIR/ATR a nivel mundial es utilizada para la determinación de grasas trans y se ha expandido en la investigación de alimentos y particularmente se ha convertido en una poderosa herramienta de análisis para el estudio de aceites y grasas comestibles, entre las ventajas están: Simplicidad de la técnica, análisis rápido, no destructivo, poca o ninguna preparación de la muestra, bajo costo, no utiliza reactivos nocivos y no genera residuos.

En el país hasta la fecha no se conocen normas ni estudios de ninguna entidad responsable salvadoreña en el análisis de ácidos grasos trans en alimentos fritos. Es de suma importancia que los químicos del país y las entidades responsables del control de calidad de los alimentos, realicen una inspección constante de este ingrediente contenido en los aceites y grasas que se utilizan para freír alimentos, garantizando así la salud del consumidor.

Este trabajo tiene como propósito determinar ácidos grasos trans presentes en alimentos populares fritos utilizando la técnica de FTIR/ATR, basándose en una metodología oficial AOAC.

CAPÍTULO V
DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1.1 TIPO DE ESTUDIO

Para desarrollar el trabajo se realizaron a 3 diferentes etapas de estudios:

1. Investigación Bibliográfica
2. Investigación de Campo
3. Mediciones Químicos

5.1.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La investigación bibliográfica se realizó en las siguientes bibliotecas:

1. Biblioteca “Dr. Benjamín Orozco” de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
2. Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador.
3. Base de datos de revistas científicas on-line de la Universidad de El Salvador.

5.1.3 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

El instrumento que se utilizó para la recolección de información, es una guía de observación, para identificar las diferentes muestras de alimentos fritos y así se determinó las que se comercializan con mayor frecuencia en las zonas de estudio.

5.1.3.1 Universo



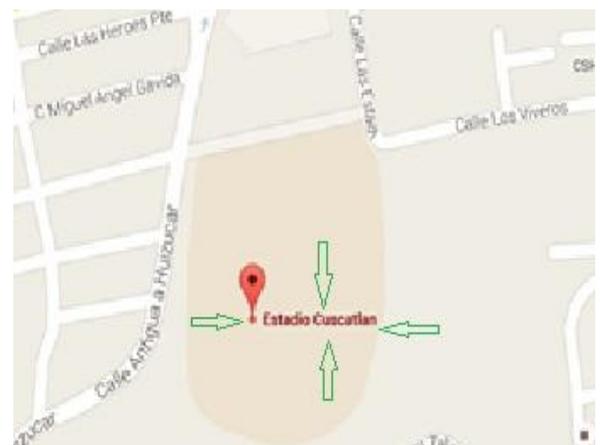
San Jacinto



Zacamil



Universidad de El Salvador



Estadio Cuscatlán



Feria Consuma

Fig.18. Mapa de Muestreo

5.1.3.2 Muestra

Para determinar el número de muestras que se analizaran en las frituras populares más comercializadas se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2}$$

En donde:

n= número de muestras

Z_α²= nivel de confianza

p = probabilidad de éxito o proporción esperada

q= probabilidad de fracaso

d = precisión (error máximo admisible en términos de proporción)

Datos:

$$Z_{\alpha}=1.96 \quad p=0.05 \quad q=0.95 \quad d=0.05$$

Sustituyendo los datos:

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.05 \times 0.95}{0.05^2} = 72.99$$

n= 72.99 (corresponde a 73 muestras por presentación de fritura)

73/ 7 = 10.43 (el 7 corresponde a los grados de libertad).

10.43 x 5 = 52 (52 es el n° de muestras trabajadas por cada una de las 5 muestras).

De acuerdo a este dato se analizaran 52 muestras de cada tipo de frituras populares (5) comercializadas en las áreas delimitadas.

5.1.3.3 Toma de la muestra

Se recolectaron las muestras de las frituras populares (Harinas fritas: Yuquita, platanitos, churros españoles, papas, estrellas) de mayor comercialización ubicados en zonas de Zacamil, San Jacinto, alrededores de La Universidad de El Salvador, Feria Estadio Cuscatlán y Feria Consuma. Esto en base a la información de la guía de observación. Las muestras recolectadas posteriormente se rotularon con la etiqueta como se muestra a continuación (**Fig.19**):

TIPO DE MUESTRA:
LOTE:
LUGAR:

Fig. 19. Etiqueta para identificación de muestra

5.2 MÉTODO DE ANÁLISIS

En el análisis experimental, se utilizó el procedimiento que tiene su fundamento en el Método Oficial para Cuantificar Ácidos Grasos Trans de la Asociación Americana de Químicos Analistas (AOAC) 2000.10

5.3 MATERIAL Y EQUIPO

1. Equipo de Espectrofotometría Infrarroja Shimadzu IR-Affinity-1 (Ver anexo N° 5, Especificaciones del Equipo)
2. Unidad de Reflectancia Total Atenuada (ATR)
3. Goteros para portar la muestra de aceite
4. Baño de María Precitherm PFV
5. Termómetro
6. Tubos de ensayos de 20 mL (boca ancha)
7. Probetas de 10 mL
8. Celda de Bromuro de potasio (KBr)

9. Gradilla
10. Espátulas
11. Mortero y pistilo
12. Erlenmeyer de 25 mL
13. Cámara de extracción de gases

5.4 REACTIVOS

Estándares: TRIOLEÍNA como estándar negativo, TRIELAIDINA como estándar positivo.

Solventes:

Etanol (para limpieza del cristal de la unidad ATR)

Acetona grado ACS (para limpieza de celda de bromuro de potasio).

Éter de Petróleo calidad para análisis (disolvente utilizado para extraer el aceite)

5.5 PROCEDIMIENTO

5.5.1 Tratamiento de Muestras

1. Las muestras recolectadas en los sitios de muestreo especificados, fueron trasladadas al laboratorio de la Escuela de Química, en bolsas plásticas asépticas, con su respectiva etiqueta en la que se especificó el tipo de muestra, lote de análisis y el lugar de procedencia.
2. Luego se preparó la muestra para extraer el aceite de la siguiente manera:
 - 2.1 Se macero la muestra en mortero y pistilo.
 - 2.2 En una balanza analítica, se pesó el erlenmeyer de 250 mL vacío, luego se taró su peso, y se pesaron 6 gramos de muestra.
 - 2.3 En la cámara de extracción de gases se agregaron 10 mL de éter de petróleo a la muestra, se agito por 5 minutos, y se dejó 5 minutos en reposo.
3. En tubos de ensayo previamente rotulados para cada una de las diferentes muestras, se decantó la disolución de aceite y éter de petróleo.
4. Se dejaron en reposo las muestras de 12 a 24 horas, con el objetivo que el éter de petróleo evaporara y así se obtuvo extracto puro de aceite.
5. Se llevaron las muestras al Laboratorio de Físico Química de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia.

5.6 ANÁLISIS DE MUESTRAS

1. Encender el espectrofotómetro IR y la computadora
2. Iniciar el programa IR-Solution
3. Conectar el computador por medio del programa, con el espectrofotómetro IR utilizando el comando “**Measure**”, comando “**Admin**”, Inicializar. Dejar 15 minutos, antes de utilizar el equipo.
4. Permitir que el programa registre las condiciones del equipo y que reconozca automáticamente el accesorio ATR.
5. Dejar correr un barrido de las condiciones iniciales del equipo con la unidad ATR armada sin muestra como sigue: utilizar el comando “**Measure**”, y presionar “**BKG**” para obtener el espectro blanco (Background).
6. Colocar la muestra en un tubo de boca ancha de 50 mL.
7. Tratar la muestra de la siguiente manera: Colocar el tubo de ensayo en baño de maría y controlar con un termómetro que la temperatura se encuentre a $62^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, hasta la fundición y separación de las fases.
8. Tomar con una pipeta o gotero, una pequeña cantidad de muestra fundida.
9. Colocar la muestra distribuida uniformemente en el cristal de la celda y acoplarla en la unidad ATR del equipo Infrarrojo Shimadzu IR-Affinity.
10. Analizar la muestra presionando el comando “**Measure**”, coleccionar la información de la muestra en el espacio “**coment**” y presionar en “**Sample**” para obtener el espectro correspondiente e identificar las bandas desde los 4000 a los 500 cm^{-1} .
11. Limpiar la celda con un pañuelo suave y luego con un algodón impregnado de alcohol.
12. Comparar los espectros obtenidos con la Mezcla de estándar Trioleina-Trielaídina
13. Observar si existe la presencia de la deformación del enlace C=C del isómero Trans que aparece cercano a los 966 cm^{-1} .
14. Comparar los resultados obtenidos, buscando en la base de datos de la computadora el espectro correspondiente a la Mezcla.

CAPÍTULO VI
RESULTADOS

6.1 RESULTADOS

Para poder comparar las diferentes muestras analizadas por espectroscopia infrarroja se obtuvieron los espectros de los estándares de referencia positivo y negativo, Trielaidina (TE) y Trioleína (TO) respetando el método de la Asociación Oficial de Químicos Analistas (AOAC) 2000.10.

Los estándares de referencia utilizados son glicéridos que se encuentran en diferentes posiciones, cis y trans, con un grado de pureza mayor del 99 % de los respectivos esteres metílicos de ácidos grasos FAMEs (Por sus siglas en inglés: Fatty Acid Methyl Esters).

Para la obtención de espectros infrarrojos, se utilizó una celda con ventanas de bromuro de potasio en un Espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier. El espectro infrarrojo de Trioleína-estándar negativo, no muestra el pico de absorción característico de grasas trans en la región de 966 cm^{-1} .

En las siguientes páginas se muestran los espectros IR de las cinco muestras y algunos de los espectros acoplados de las muestras contra los espectros de margarina Dany light, manteca Orisol, manteca Nieve y aceite de oliva Wesson, así como una tabla de resultados de las concentraciones de ácidos grasos trans para cada una de las diferentes muestras. Representando la ecuación de línea recta se obtiene el porcentaje de ácidos ácidos grasos trans como sigue:

$$b \pm m (TF \%) = A$$

Despejando TF % se obtiene:

$$[TF (\%)] = \frac{A-b}{m}$$

En donde:

A: Absorbancia

b: intercepto

m: pendiente

A su vez la absorbancia se define como:

$$A = -\log I / I_0$$

En donde:

A: Absorbancia

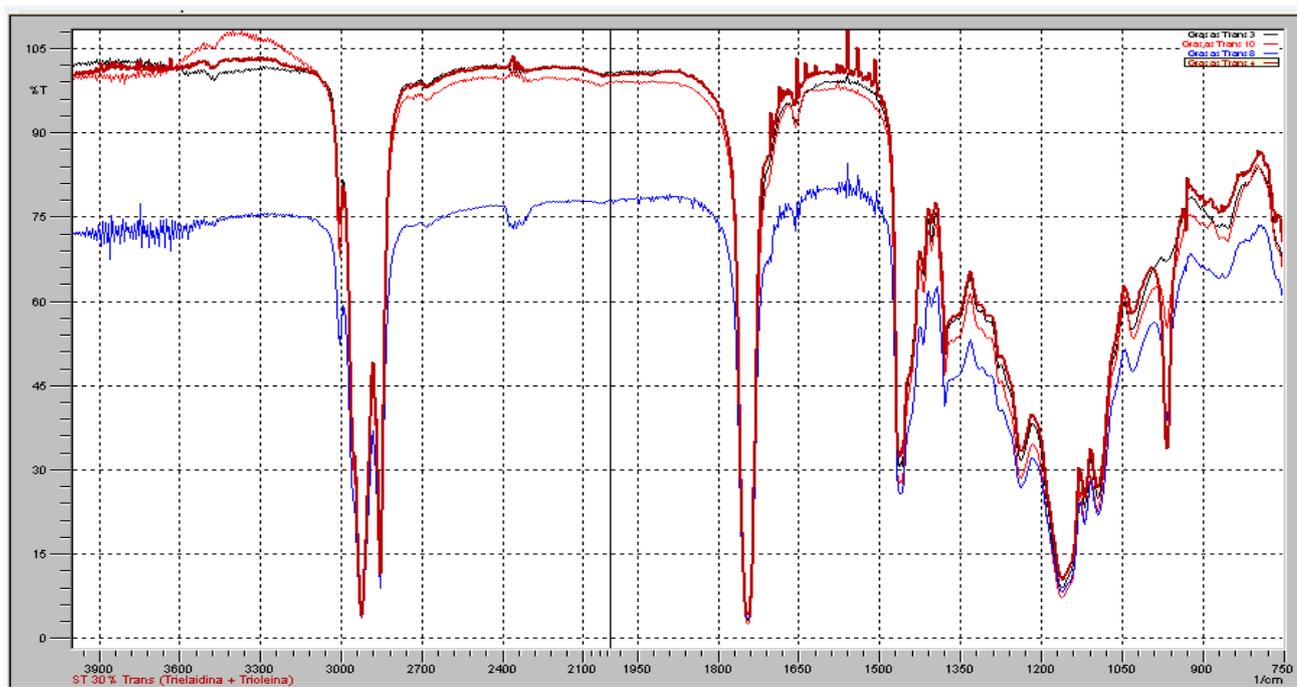
I₀: intensidad inicial de absorción de la radiación IR

I: intensidad final de absorción de la radiación IR.

ACOPLAMIENTOS DE ESPECTROS DE LAS DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ESTANDARES CON LOS CUALES SE REALIZÓ LA CURVA DE CALIBRACIÓN.

En las siguientes figuras se muestran los espectros obtenidos de los estándares Trioleína-Trielaídina a diferentes concentraciones.

(a)



(b)

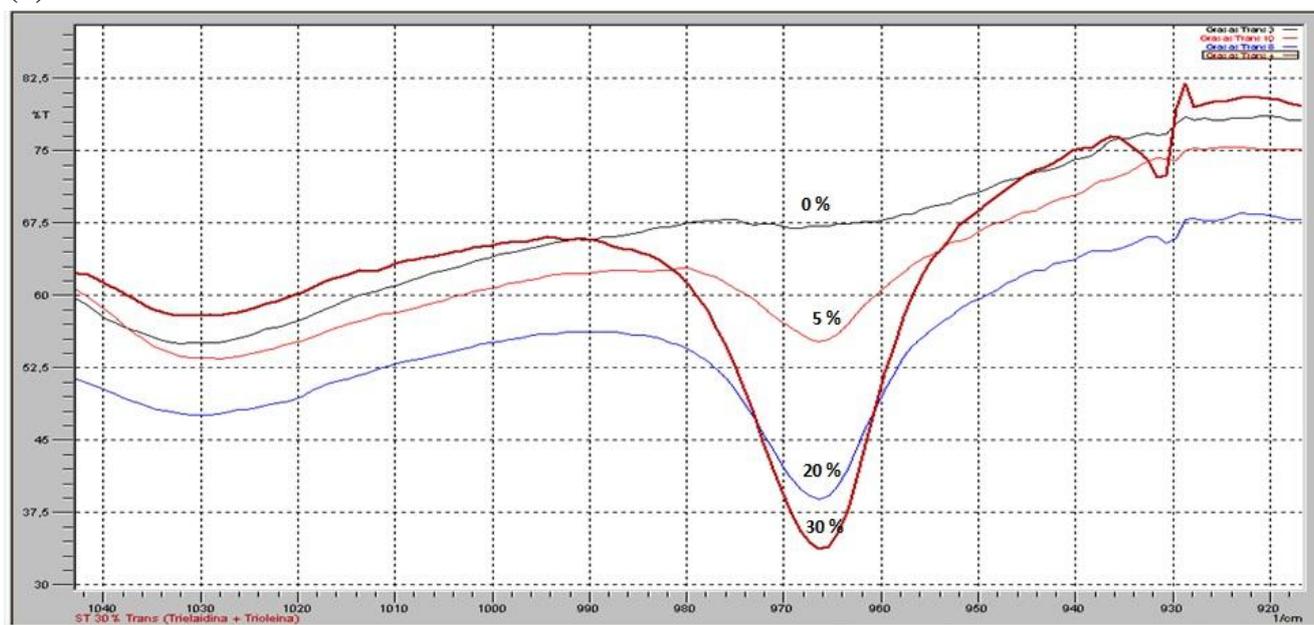


Fig. 20. (a) Espectros IR obtenidos de las diferentes concentraciones de estándar positivo y negativo. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . **(b)** Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de las diferentes concentraciones de estándar positivo y negativo.

TABLA 1. Concentraciones del estándar positivo, negativo y sus respectivas absorbancias

Concentraciones (%)	Absorbancia
0	0.011
5	0.058
20	0.180
30	0.314

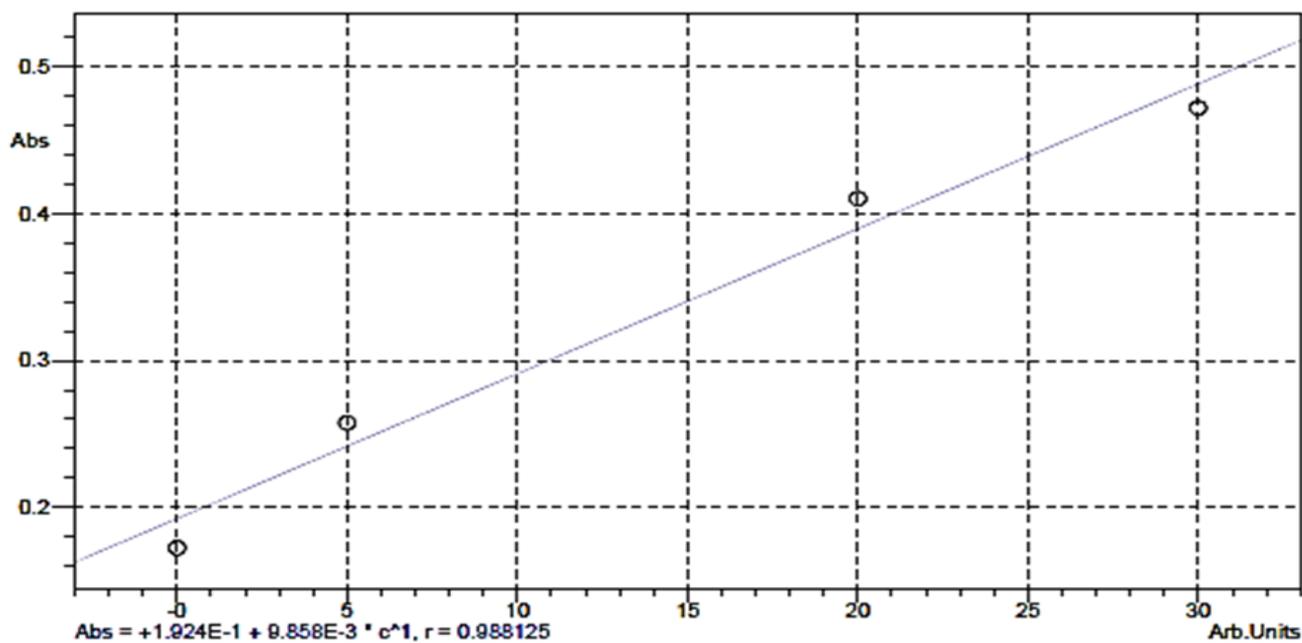
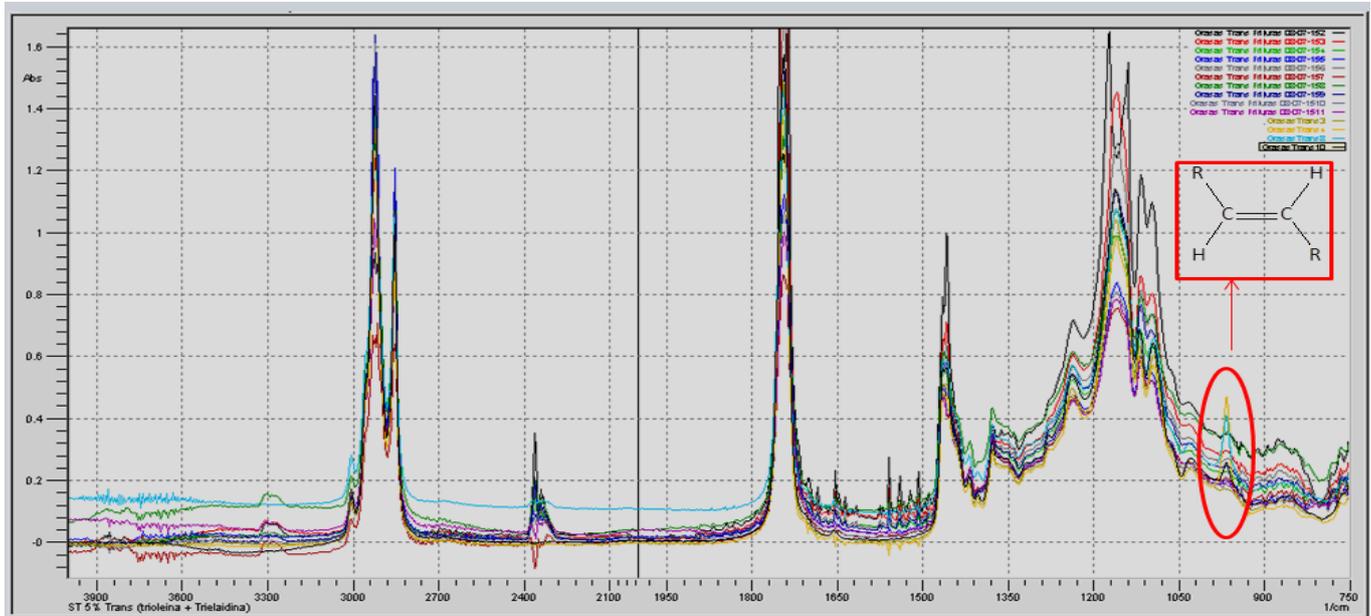


Fig. 21. Curva de calibración utilizada para los respectivos análisis de las diferentes muestras seleccionadas de alimentos fritos.

MUESTRA SELECCIONADA DE PLATANITO

Las siguientes figuras muestran un acoplamiento de los espectros obtenidos de muestras de platanitos de la zona de feria Consuma y su respectiva comparación con el estándar positivo Trielaídina.

(a)



(b)

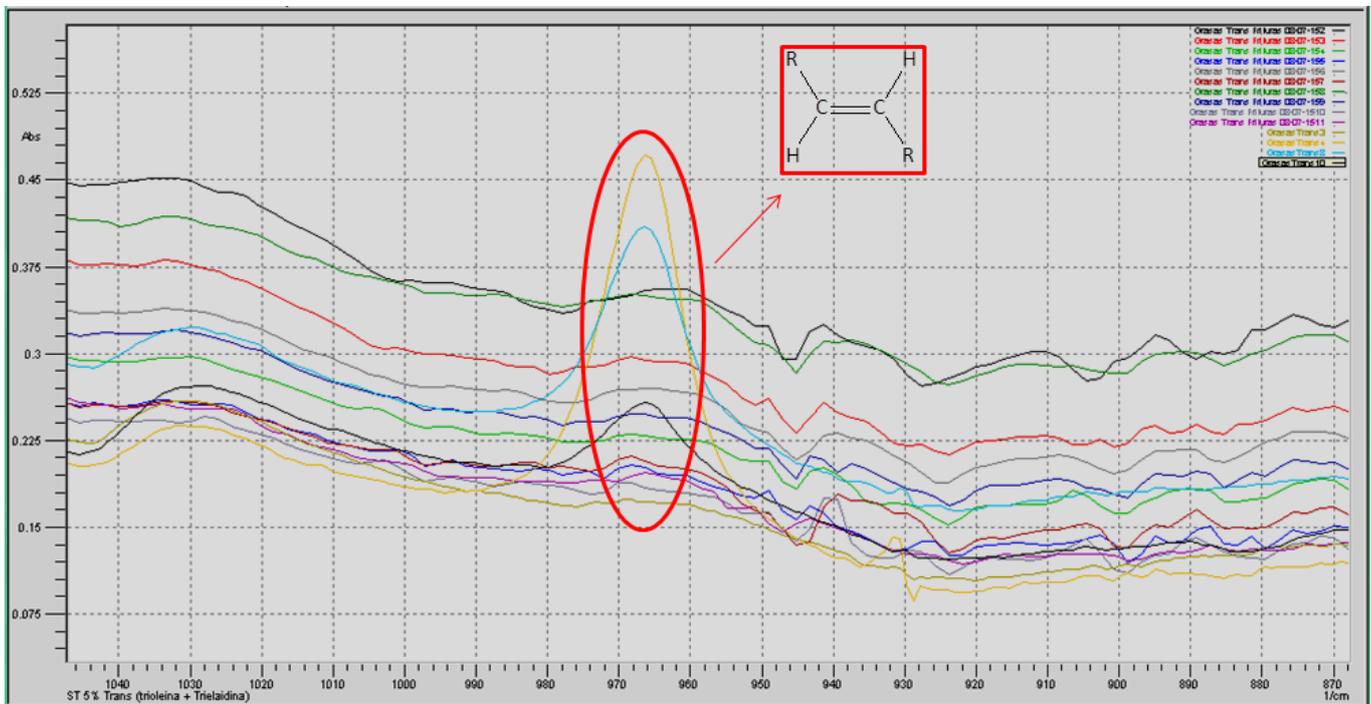


Fig. 22. (a) Espectros IR obtenidos de la muestras de platanitos de la zona de feria Consuma acoplado con estándar Trioleína-Trielaídina (pico amarillo). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} espectro IR obtenido de las muestras de platanitos de la zona de feria consuma acoplado con estándar Trioleína-Trielaídina (pico amarillo).

TABLA. 2 Resultados obtenidos de muestras de platanitos en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria del Estadio Cuscatlán y feria Consuma.

Intercepto(b) Pendiente(m)
0.192 0.009858

N°	I _o	I	Absorbancia (%)	TF (%)	RESULTADOS
1	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
2	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
3	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
4	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
5	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
6	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
7	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
8	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
9	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
10	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
11	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
12	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
13	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
14	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
15	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
16	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
17	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
18	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
19	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO

20	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
21	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
22	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
23	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
24	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
25	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
26	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
27	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
28	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
29	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
30	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
31	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
32	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
33	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
34	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
35	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
36	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
37	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
38	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
39	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
40	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
41	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
42	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
43	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
44	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO

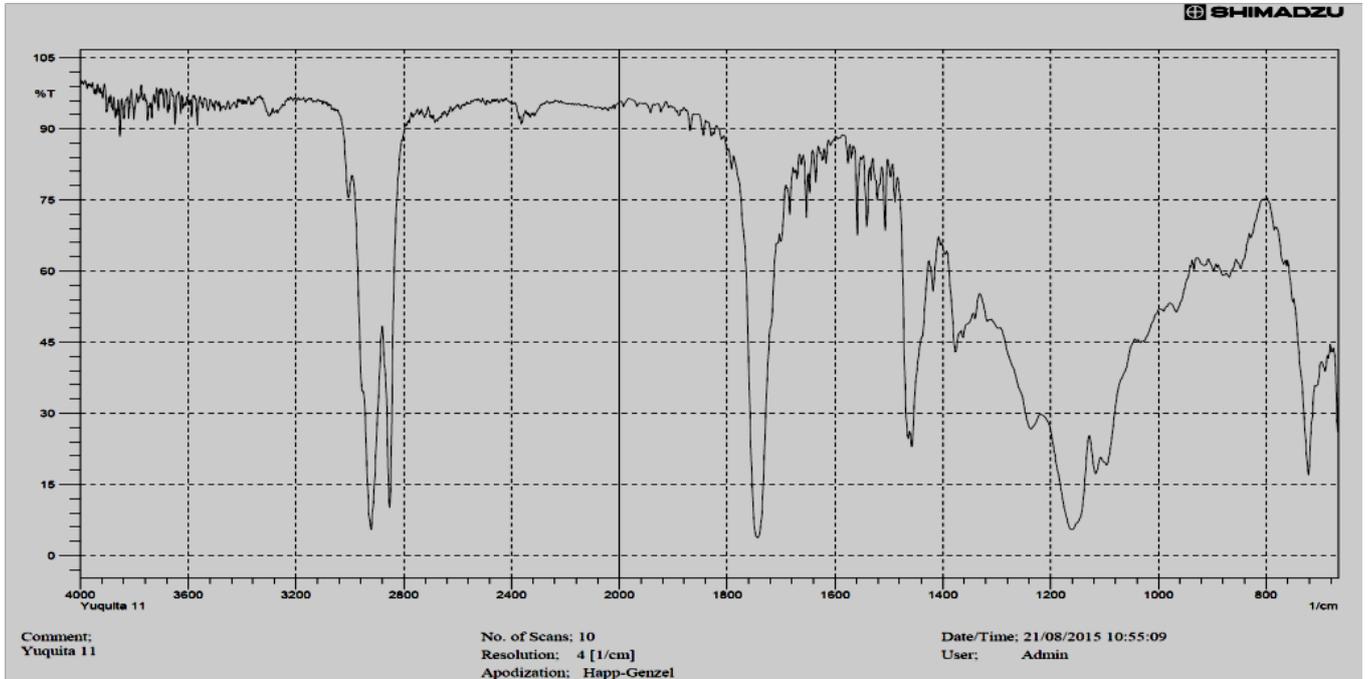
					DETERMINADO
45	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
46	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
47	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
48	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
49	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
50	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
51	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
52	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
53	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
54	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
55	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
56	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
57	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
58	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
59	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
60	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
61	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
62	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
63	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
Promedio	0.573	0.580	0.00555752	-18.9128096	NO DETERMINADO

Como se puede observar en la tabla 2, las 63 muestras analizadas de platanito no presentaron trazas significativas de ácidos grasos trans, la concentración es menor al 0.5 %.

MUESTRA SELECCIONADA DE YUQUITA

Las siguientes figuras se muestran los espectros obtenidos de muestra de yuquita recolectada de la feria Estadio Cuscatlán.

(a)



(b)

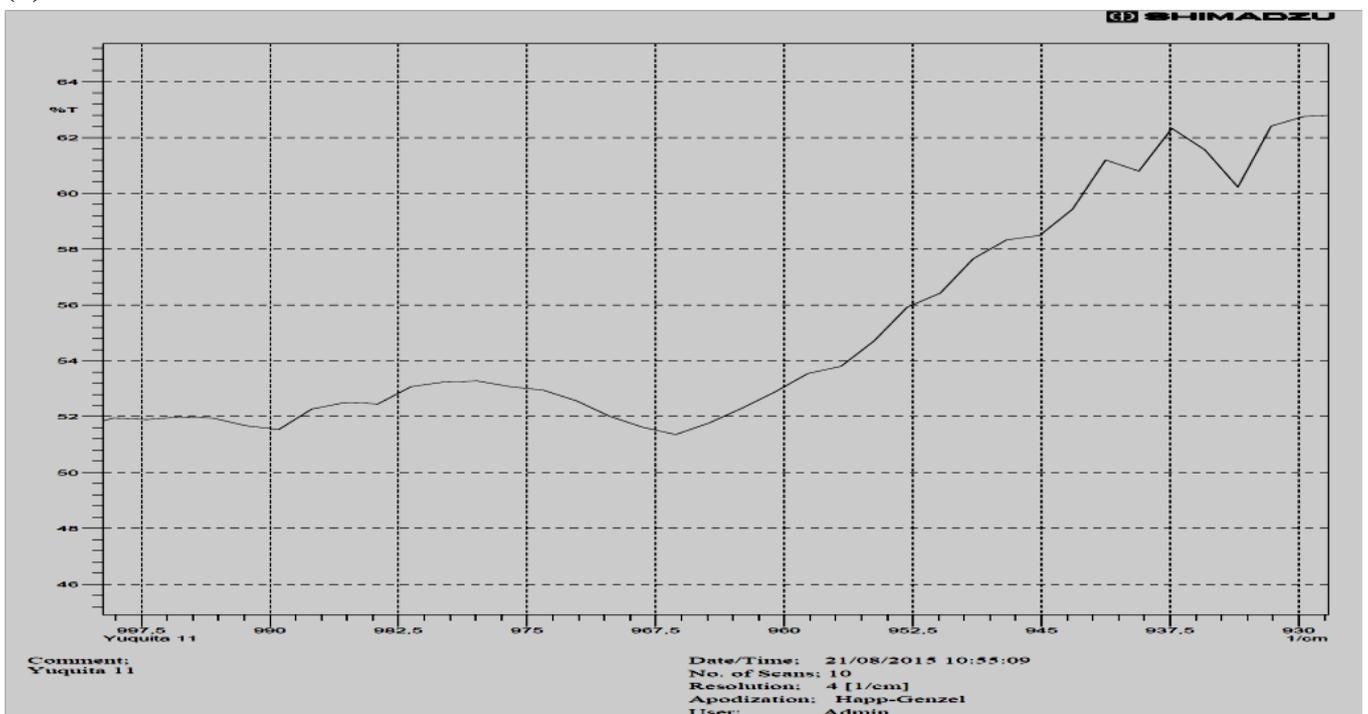


Fig. 23. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 2 (muestra 11). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N°2 (muestra 11).

TABLA. 3 Resultados obtenidos de muestras de yuquitas recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, Alrededores de la UES, feria Estadio Cuscatlán, feria Consuma.

Intercepto(b) Pendiente(m)
0.192 0.009858

N°	I _o	I	Absorbancia (%)	TF (%)	RESULTADOS
1	0.511	0.52	0.007582444	-18.70740074	NO DETERMINADO
2	0.482	0.498	0.014182305	-18.03790784	NO DETERMINADO
3	0.472	0.481	0.008203078	-18.64444332	NO DETERMINADO
4	0.575	0.598	0.017033339	-17.74869758	NO DETERMINADO
5	0.471	0.482	0.010026131	-18.45951196	NO DETERMINADO
6	0.521	0.525	0.00332158	-19.13962466	NO DETERMINADO
7	0.491	0.502	0.009622225	-18.50048438	NO DETERMINADO
8	0.552	0.554	0.001570687	-19.31723605	NO DETERMINADO
9	0.501	0.512	0.009432235	-18.51975704	NO DETERMINADO
10	0.481	0.501	0.017692649	-17.68181685	NO DETERMINADO
11	0.611	0.631	0.013988149	-18.05760306	NO DETERMINADO
12	0.612	0.622	0.007038963	-18.7625317	NO DETERMINADO
13	0.611	0.621	0.00705039	-18.7613725	NO DETERMINADO
14	0.611	0.625	0.009838807	-18.47851419	NO DETERMINADO
15	0.615	0.625	0.007004902	-18.76598686	NO DETERMINADO

16	0.631	0.641	0.00682867	-18.78386384	NO DETERMINADO
17	0.632	0.651	0.01286391	-18.17164635	NO DETERMINADO
18	0.621	0.625	0.002788417	-19.19370895	NO DETERMINADO
19	0.601	0.626	0.017699861	-17.68108529	NO DETERMINADO
20	0.625	0.631	0.004149342	-19.05565613	NO DETERMINADO
21	0.612	0.625	0.009128595	-18.55055841	NO DETERMINADO
22	0.6	0.61	0.007178585	-18.74836837	NO DETERMINADO
23	0.485	0.491	0.005339754	-18.93490023	NO DETERMINADO
24	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
25	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
26	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
27	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
28	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO
29	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
30	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
31	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
32	0.582	0.584	0.00148986	-19.3254349	NO DETERMINADO
33	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
34	0.538	0.54	0.00161148	-19.3130976	NO DETERMINADO
35	0.572	0.58	0.00603196	-18.864682	NO DETERMINADO
36	0.569	0.583	0.01055629	-18.4057326	NO DETERMINADO

37	0.569	0.582	0.00981072	-18.4813635	NO DETERMINADO
38	0.616	0.62	0.00281098	-19.1914204	NO DETERMINADO
39	0.564	0.572	0.00611692	-18.8560636	NO DETERMINADO
40	0.511	0.52	0.007582444	-18.70740074	NO DETERMINADO
41	0.482	0.498	0.014182305	-18.03790784	NO DETERMINADO
42	0.472	0.481	0.008203078	-18.64444332	NO DETERMINADO
43	0.575	0.598	0.017033339	-17.74869758	NO DETERMINADO
44	0.471	0.482	0.010026131	-18.45951196	NO DETERMINADO
45	0.521	0.525	0.00332158	-19.13962466	NO DETERMINADO
46	0.491	0.502	0.009622225	-18.50048438	NO DETERMINADO
47	0.552	0.554	0.001570687	-19.31723605	NO DETERMINADO
48	0.501	0.512	0.009432235	-18.51975704	NO DETERMINADO
49	0.481	0.501	0.017692649	-17.68181685	NO DETERMINADO
50	0.611	0.631	0.013988149	-18.05760306	NO DETERMINADO
51	0.612	0.622	0.007038963	-18.7625317	NO DETERMINADO
52	0.611	0.621	0.00705039	-18.7613725	NO DETERMINADO
53	0.611	0.625	0.009838807	-18.47851419	NO DETERMINADO
54	0.615	0.625	0.007004902	-18.76598686	NO DETERMINADO
55	0.631	0.641	0.00682867	-18.78386384	NO DETERMINADO
56	0.632	0.651	0.01286391	-18.17164635	NO DETERMINADO
57	0.621	0.625	0.002788417	-19.19370895	NO DETERMINADO

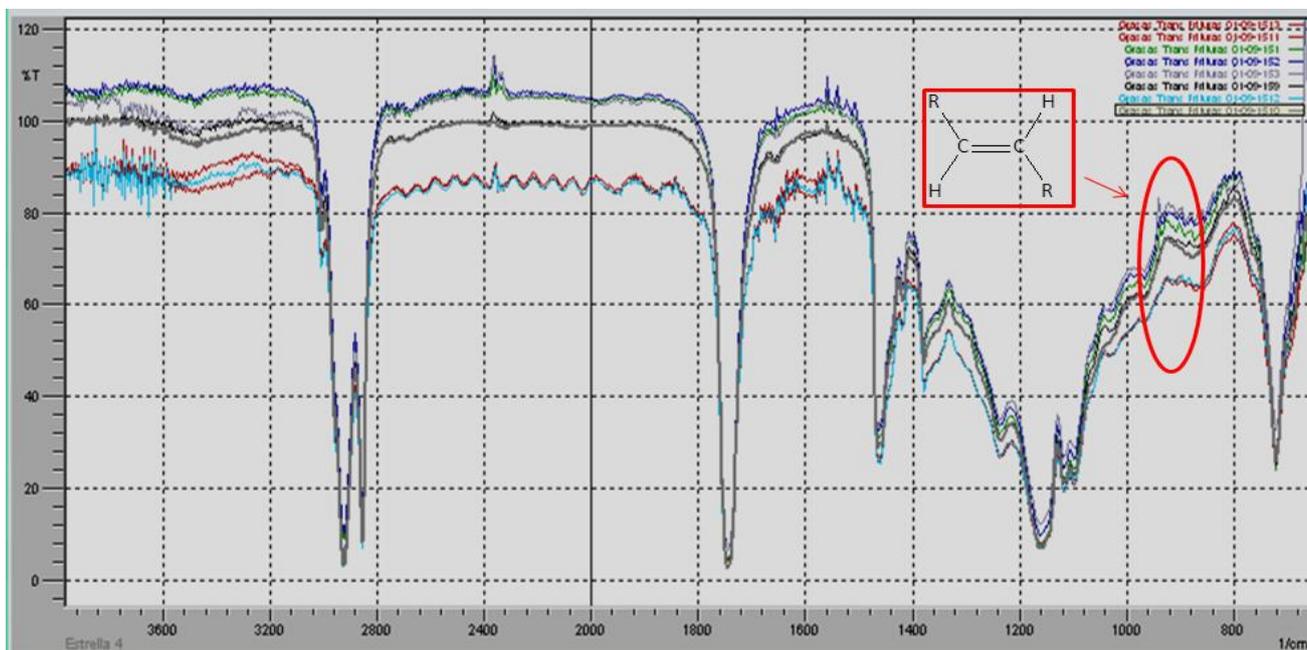
58	0.601	0.626	0.017699861	-17.68108529	NO DETERMINADO
59	0.625	0.631	0.004149342	-19.05565613	NO DETERMINADO
60	0.612	0.625	0.009128595	-18.55055841	NO DETERMINADO
61	0.6	0.61	0.007178585	-18.74836837	NO DETERMINADO
62	0.485	0.491	0.005339754	-18.93490023	NO DETERMINADO
63	0.615	0.625	0.007004902	-18.76598686	NO DETERMINADO
Promedio	0.562	0.574	0.009111522	-18.55229027	NO DETERMINADO

Como se observa en la tabla 3, las 63 muestras analizadas de yuquitas, no presentan trazas significativas de ácidos grasos trans, la concentración es menor al 0.5 %.

MUESTRA SELECCIONADA DE ESTRELLAS

Las siguientes figuras muestran los espectros obtenidos de las muestras de estrellas de la zona feria Estadio Cuscatlán.

(a)



(b)

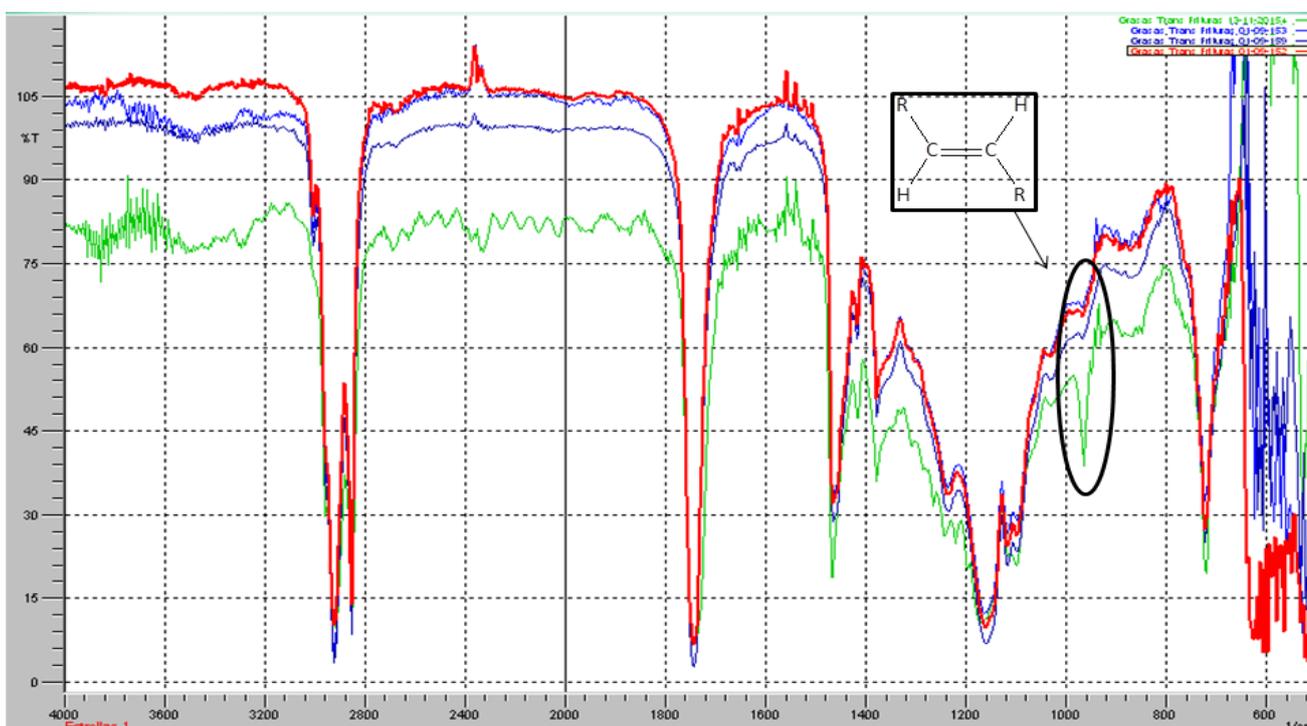


Fig. 24. (a) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de estrellas de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 3. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de estrellas de la zona de feria Consuma y margarina Dany light (pico verde). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1}

TABLA. 4. Resultados obtenidos de muestras de estrellas recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria Estadio Cuscatlán, feria Consuma.

Intercepto(b) Pendiente(m)

0.192 0.009858

N°	I_o	I	Absorbancia (%)	TF (%)	RESULTADOS
1	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
2	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
3	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
4	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
5	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
6	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
7	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
8	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
9	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
10	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
11	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
12	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
13	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
14	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
15	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO

16	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
17	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
18	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
19	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
20	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
21	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
22	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
23	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
24	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
25	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
26	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
27	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
28	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
29	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
30	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
31	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
32	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
33	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
34	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
35	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
36	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO

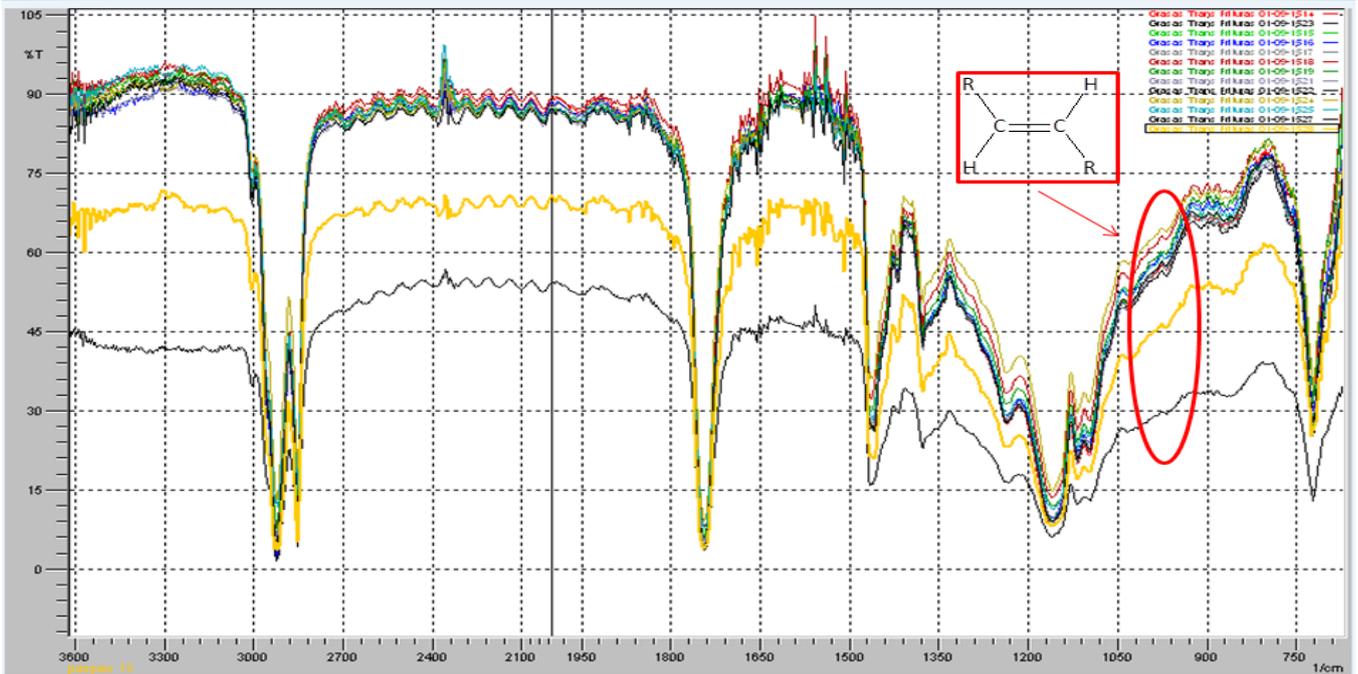
37	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
38	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
39	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
40	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
41	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
42	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
43	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
44	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
45	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
46	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
47	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
48	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
49	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO
50	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
51	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
52	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
53	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
54	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
55	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
56	0.582	0.584	0.001489862	-19.32543493	NO DETERMINADO
57	0.575	0.6	0.018483406	-17.60160218	NO DETERMINADO

58	0.584	0.592	0.00590886	-18.87716985	NO DETERMINADO
59	0.598	0.6	0.001450066	-19.32947186	NO DETERMINADO
60	0.569	0.583	0.010556288	-18.40573257	NO DETERMINADO
61	0.569	0.582	0.009810718	-18.48136354	NO DETERMINADO
62	0.616	0.62	0.002810977	-19.19142044	NO DETERMINADO
63	0.564	0.572	0.006116925	-18.85606362	NO DETERMINADO
Promedio	0.582125	0.591625	0.007078388	-18.75853237	NO DETERMINADO

Como se observa en la tabla 4, las 63 muestras analizadas de estrellas, no presentan trazas significativas de ácidos grasos trans, la concentración es menor al 0.5 %.

MUESTRA SELECCIONADA DE PAPAS

(a)



(b)

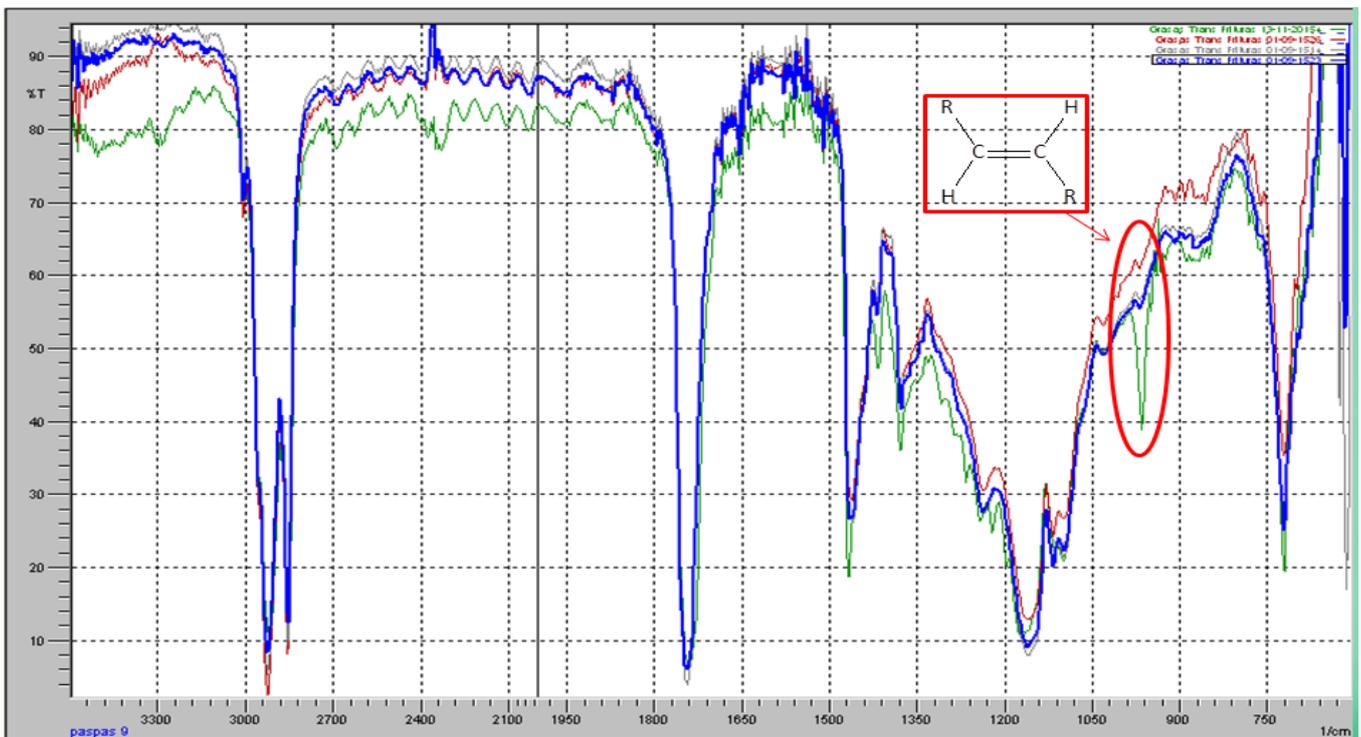


Fig. 25. (a) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de papas de la zona de feria Estadio Cuscatlán. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de papas de la zona de feria Consuma y margarina Dany light (pico verde). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} .

TABLA. 5. Resultados obtenidos de muestras de papas recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria Estadio Cuscatlán, feria Consuma.

Intercepto(b) Pendiente(m)

0.192 0.009858

N°	Ío	I	Absorbancia (%)	TF (%)	RESULTADOS
1	0.555	0.564	0.0070049	-18.5821355	NO DETERMINADO
2	0.565	0.57	0.00392635	-18.7169292	NO DETERMINADO
3	0.560	0.570	0.00788851	-19.0743756	NO DETERMINADO
4	0.568	0.579	0.00833099	-18.9406728	NO DETERMINADO
5	0.61	0.62	0.00744648	-19.3847797	NO DETERMINADO
6	0.59	0.60	0.00744648	-18.806563	NO DETERMINADO
7	0.57	0.58	0.00744648	-19.2963158	NO DETERMINADO
8	0.565	0.570	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
9	0.640	0.649	0.00612309	-18.806563	NO DETERMINADO
10	0.575	0.577	0.00130484	-18.9406728	NO DETERMINADO
11	0.457	0.466	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
12	0.457	0.466	0.00833099	-18.5371125	NO DETERMINADO
13	0.458	0.459	0.00130484	-18.6271126	NO DETERMINADO
14	0.458	0.459	0.00130484	-18.6271126	NO DETERMINADO
15	0.555	0.56	0.00392635	-18.5821355	NO DETERMINADO

16	0.567	0.576	0.0070049	-18.4017667	NO DETERMINADO
17	0.47	0.48	0.00921731	-18.7617689	NO DETERMINADO
18	0.526	0.535	0.00744648	-18.7617689	NO DETERMINADO
19	0.524	0.53	0.00524306	-18.806563	NO DETERMINADO
20	0.56	0.57	0.00788851	-19.4730664	NO DETERMINADO
21	0.524	0.53	0.00524306	-19.4289451	NO DETERMINADO
22	0.51	0.516	0.00524306	-19.4730664	NO DETERMINADO
23	0.48	0.49	0.00877392	-19.4289451	NO DETERMINADO
24	0.70	0.72	0.01233374	-19.2076738	NO DETERMINADO
25	0.51	0.52	0.00833099	-19.1188532	NO DETERMINADO
26	0.73	0.735	0.00305075	-19.1188532	NO DETERMINADO
27	0.63	0.635	0.00348833	-18.7169292	NO DETERMINADO
28	0.426	0.43	0.00392635	-18.6720438	NO DETERMINADO
29	0.71	0.724	0.00833099	-19.2076738	NO DETERMINADO
30	0.59	0.605	0.01099538	-18.5821355	NO DETERMINADO
31	0.565	0.57	0.00392635	-18.7169292	NO DETERMINADO
32	0.70	0.72	0.01233374	-19.0743756	NO DETERMINADO
33	0.81	0.82	0.00524306	-18.9406728	NO DETERMINADO
34	0.635	0.655	0.01367622	-19.3847797	NO DETERMINADO
35	0.59	0.60	0.00744648	-18.806563	NO DETERMINADO
36	0.57	0.58	0.00744648	-19.2963158	NO DETERMINADO
37	0.565	0.570	0.00392635	-19.1188532	NO

					DETERMINADO
38	0.640	0.649	0.00612309	-18.806563	NO DETERMINADO
39	0.575	0.577	0.00130484	-18.9406728	NO DETERMINADO
40	0.457	0.466	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
41	0.457	0.466	0.00833099	-18.9406728	NO DETERMINADO
42	0.458	0.459	0.00130484	-18.6720438	NO DETERMINADO
43	0.458	0.459	0.00130484	-18.5371125	NO DETERMINADO
44	0.555	0.56	0.00392635	-18.6271126	NO DETERMINADO
45	0.567	0.576	0.0070049	-18.6271126	NO DETERMINADO
46	0.47	0.48	0.00921731	-18.5821355	NO DETERMINADO
47	0.526	0.535	0.00744648	-18.4017667	NO DETERMINADO
48	0.524	0.53	0.00524306	-18.7617689	NO DETERMINADO
49	0.56	0.57	0.00788851	-18.7617689	NO DETERMINADO
50	0.524	0.53	0.00524306	-18.806563	NO DETERMINADO
51	0.51	0.516	0.00524306	-19.4730664	NO DETERMINADO
52	0.48	0.49	0.00877392	-19.4289451	NO DETERMINADO
53	0.70	0.72	0.01233374	-19.4730664	NO DETERMINADO
54	0.51	0.52	0.00833099	-19.4289451	NO DETERMINADO
55	0.73	0.735	0.00305075	-19.2076738	NO DETERMINADO
56	0.63	0.635	0.00348833	-19.1188532	NO DETERMINADO
57	0.426	0.43	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
58	0.71	0.724	0.00833099	-18.7169292	NO DETERMINADO

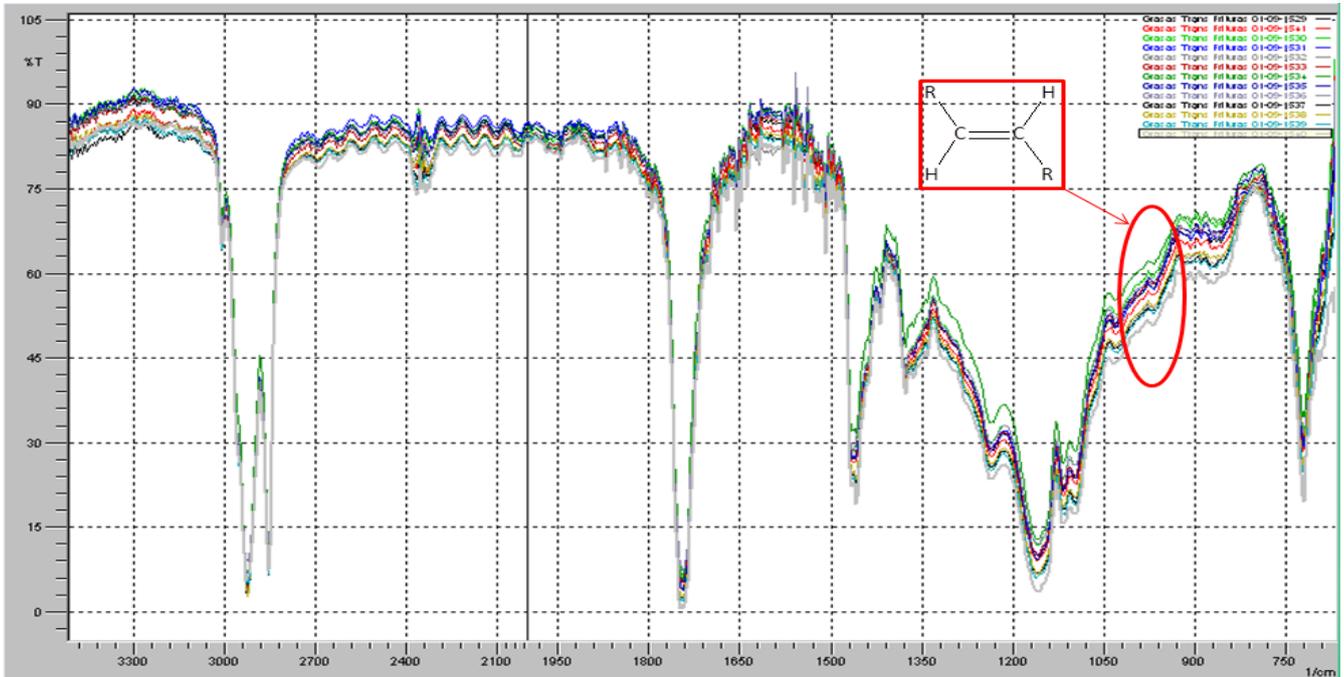
59	0.59	0.605	0.01099538	-18.6720438	NO DETERMINADO
60	0.565	0.57	0.00392635	-19.2076738	NO DETERMINADO
61	0.70	0.72	0.01233374	-18.5371125	NO DETERMINADO
62	0.81	0.82	0.00524306	-18.6271126	NO DETERMINADO
63	0.635	0.655	0.01367622	-18.6071126	NO DETERMINADO
Promedio	0.569	0.583	0.010556288	-18.44630875	NO DETERMINADO

Como se muestra en la tabla 5, en las 63 muestras analizadas de papas fritas no se encontraron trazas significativas de ácidos grasos trans, la concentración es menor al 0.5 %.

MUESTRAS SELECCIONADAS DE CHURROS ESPAÑOLES

En las siguientes figuras se muestran los espectros obtenidos de muestras de churros españoles de la zona feria estadio Cuscatlán.

(a)



(b)

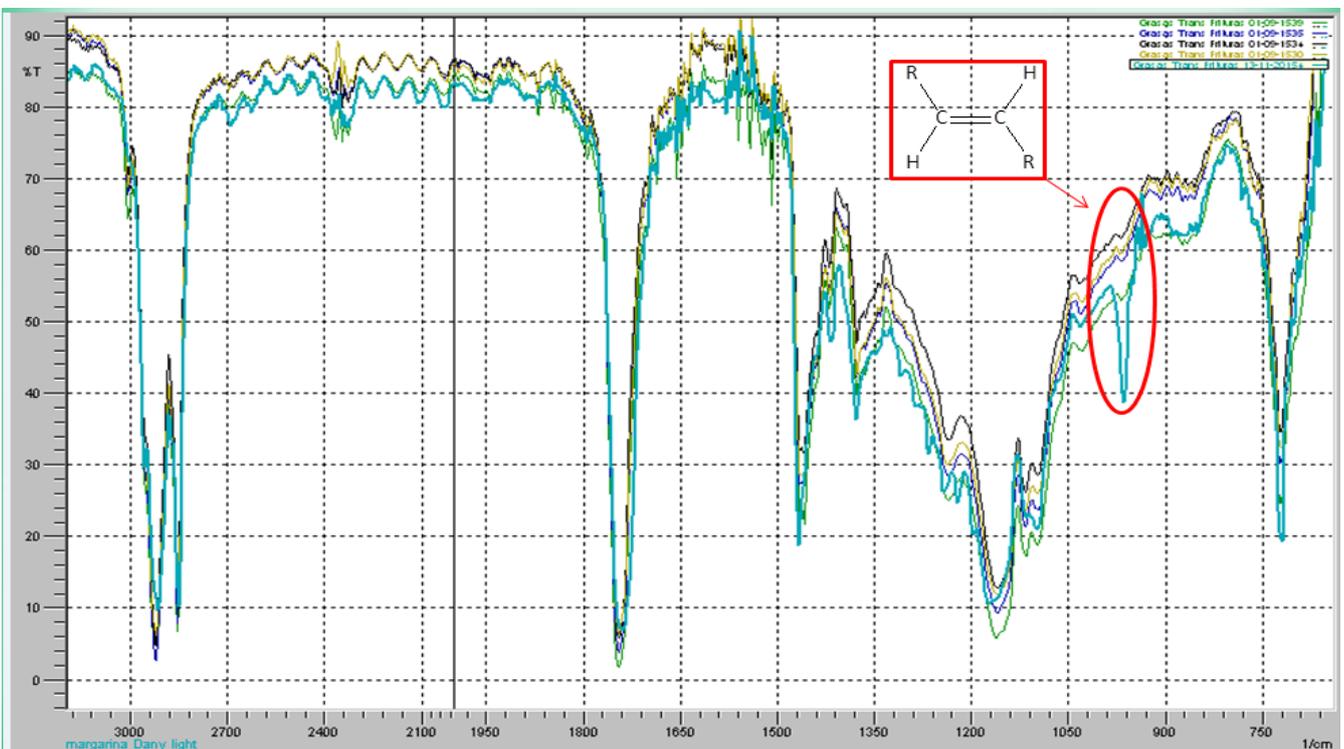


Fig. 26. (a) Espectros IR obtenido del acoplamiento de muestras de churros españoles de la zona de feria Estadio Cuscatlán. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm⁻¹. (b) Espectro IR obtenido del acoplamiento de muestras de churros españoles de la zona de feria Consuma y margarina Dany light (pico celeste aqua). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm⁻¹.

TABLA. 6. Resultados obtenidos de muestras de churros españoles recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria Estadio Cuscatlán, feria Consuma.

Intercepto(b) Pendiente(m)

0.192 0.009858

N°	Ío	I	Absorbancia (%)	TF (%)	RESULTADOS
1	0.587	0.595	0.00568285	-18.9406728	NO DETERMINADO
2	0.530	0.540	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
3	0.535	0.547	0.00966115	-18.5371125	NO DETERMINADO
4	0.544	0.555	0.00877392	-18.6271126	NO DETERMINADO
5	0.527	0.538	0.00877392	-18.6271126	NO DETERMINADO
6	0.274	0.280	0.00921731	-18.5821355	NO DETERMINADO
7	0.516	0.529	0.01099538	-18.4017667	NO DETERMINADO
8	0.515	0.524	0.00744648	-18.7617689	NO DETERMINADO
9	0.506	0.515	0.00744648	-18.7617689	NO DETERMINADO
10	0.565	0.574	0.0070049	-18.806563	NO DETERMINADO
11	0.562	0.566	0.00043451	-19.4730664	NO DETERMINADO
12	0.583	0.584	0.00086946	-19.4289451	NO DETERMINADO
13	0.562	0.566	0.00043451	-19.4730664	NO DETERMINADO
14	0.583	0.584	0.00086946	-19.4289451	NO DETERMINADO
15	0.584	0.588	0.00305075	-19.2076738	NO DETERMINADO

16	0.535	0.54	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
17	0.535	0.54	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
18	0.545	0.555	0.00788851	-18.7169292	NO DETERMINADO
19	0.529	0.539	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
20	0.274	0.276	0.00305075	-19.2076738	NO DETERMINADO
21	0.515	0.526	0.00921731	-18.5821355	NO DETERMINADO
22	0.51	0.519	0.00788851	-18.7169292	NO DETERMINADO
23	0.51	0.515	0.00436481	-19.0743756	NO DETERMINADO
24	0.565	0.572	0.00568285	-18.9406728	NO DETERMINADO
25	0.674	0.676	0.00130484	-19.3847797	NO DETERMINADO
26	0.635	0.645	0.0070049	-18.806563	NO DETERMINADO
27	0.609	0.612	0.00217692	-19.2963158	NO DETERMINADO
28	0.58	0.585	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
29	0.62	0.63	0.0070049	-18.806563	NO DETERMINADO
30	0.587	0.595	0.00568285	-18.9406728	NO DETERMINADO
31	0.530	0.540	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
32	0.535	0.547	0.00966115	-18.5371125	NO DETERMINADO
33	0.544	0.555	0.00877392	-18.6271126	NO DETERMINADO
34	0.527	0.538	0.00877392	-18.6271126	NO DETERMINADO
35	0.274	0.280	0.00921731	-18.5821355	NO DETERMINADO
36	0.516	0.529	0.01099538	-18.4017667	NO DETERMINADO
37	0.515	0.524	0.00744648	-18.7617689	NO

					DETERMINADO
38	0.506	0.515	0.00744648	-18.7617689	NO DETERMINADO
39	0.565	0.574	0.0070049	-18.806563	NO DETERMINADO
40	0.564	0.566	0.00043451	-19.4730664	NO DETERMINADO
41	0.583	0.584	0.00086946	-19.4289451	NO DETERMINADO
42	0.564	0.566	0.00043451	-19.4730664	NO DETERMINADO
43	0.583	0.584	0.00086946	-19.4289451	NO DETERMINADO
44	0.584	0.588	0.00305075	-19.2076738	NO DETERMINADO
45	0.535	0.54	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
46	0.535	0.54	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
47	0.545	0.555	0.00788851	-18.7169292	NO DETERMINADO
48	0.529	0.539	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
49	0.274	0.276	0.00305075	-19.2076738	NO DETERMINADO
50	0.515	0.526	0.00921731	-18.5821355	NO DETERMINADO
51	0.51	0.519	0.00788851	-18.7169292	NO DETERMINADO
52	0.51	0.515	0.00436481	-19.0743756	NO DETERMINADO
53	0.565	0.572	0.00568285	-18.9406728	NO DETERMINADO
54	0.674	0.676	0.00130484	-19.3847797	NO DETERMINADO
55	0.635	0.645	0.0070049	-18.806563	NO DETERMINADO
56	0.609	0.612	0.00217692	-19.2963158	NO DETERMINADO
57	0.58	0.585	0.00392635	-19.1188532	NO DETERMINADO
58	0.62	0.63	0.0070049	-18.806563	NO DETERMINADO

59	0.587	0.595	0.00568285	-18.9406728	NO DETERMINADO
60	0.530	0.540	0.00833099	-18.6720438	NO DETERMINADO
61	0.535	0.547	0.00966115	-18.5371125	NO DETERMINADO
62	0.544	0.555	0.00877392	-18.6271126	NO DETERMINADO
63	0.527	0.538	0.00877392	-18.6271126	NO DETERMINADO
Promedio	0.569	0.582	0.009850718	- 18.52196354	NO DETERMINADO

Como se observa en la tabla 6, en las 63 muestras analizadas de churros españoles no se encontraron trazas significativas de ácidos grasos trans, la concentración es menor al 0.5%.

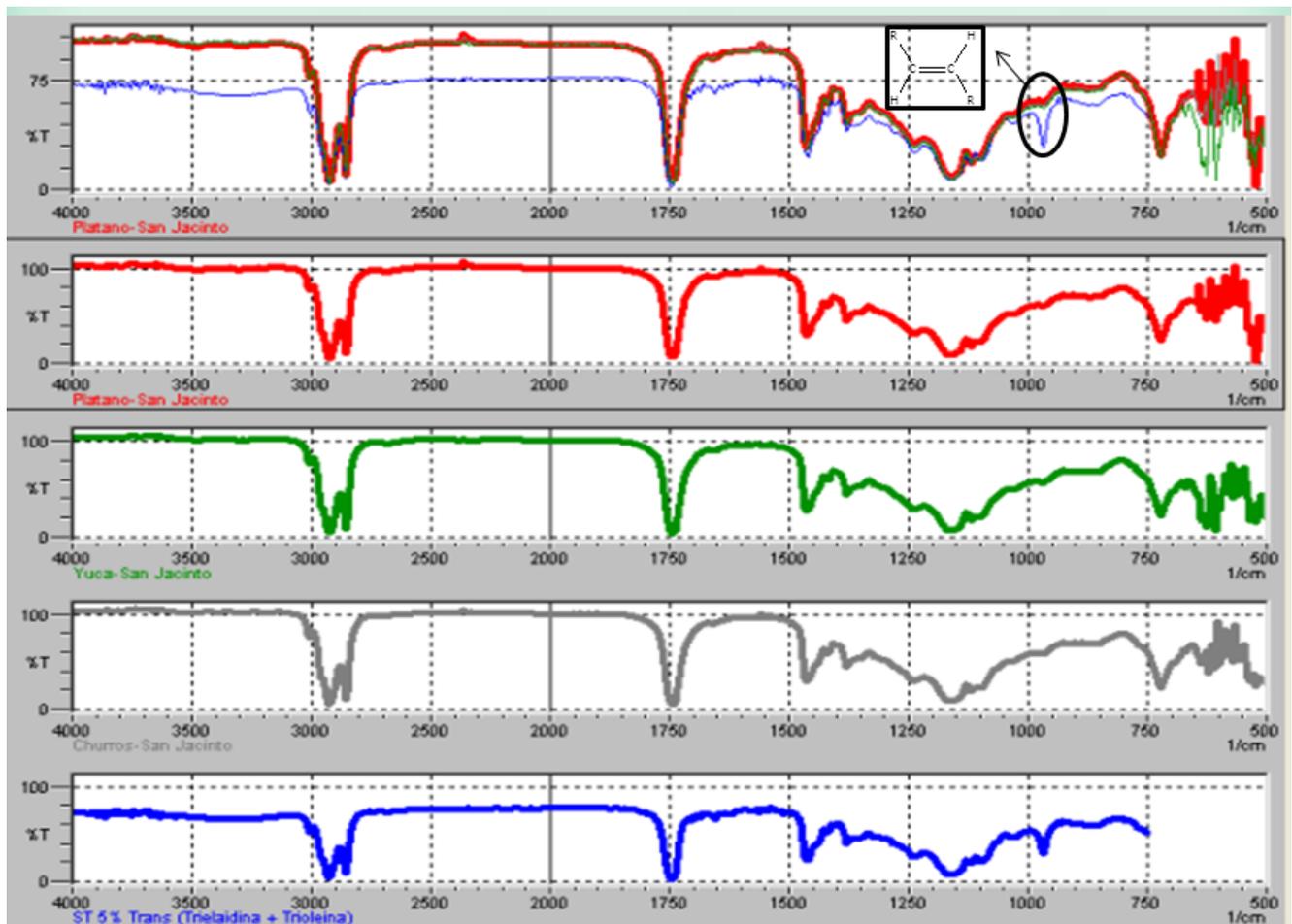


Fig. 27. Espectro IR obtenido de muestras de platanitos, yuquitas, churros españoles de la zona de San Jacinto y estándar Trioleína - Trielaidina (pico azul). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1}

La **fig. 27**, muestra un esquema comparativo del estándar positivo con respecto a muestras de platanitos, yuquitas y churros españoles, señalando el área de interés 966 cm^{-1} .

En la tabla que se presenta a continuación se muestra el resumen de los resultados de las diferentes muestras analizadas, utilizando las intensidades de absorción (I_0 , I ; I_0 = Intensidad de absorción Inicial, I = Intensidad de absorción final) de cada espectro IR obtenido se calcularon los porcentajes de absorbancias, con la ecuación de la curva de calibración y la absorbancia de cada espectro se calculó el porcentaje de grasas trans en las respectivas muestras analizadas, se realizó un análisis de comparación con los resultados obtenidos de cada muestra de alimento con los resultados de los estándares utilizados Trioleína-Trielaidina, y también se comparó con muestras de margarina Dany light, manteca Nieve, manteca Orisol y aceite de Oliva.

TABLA 7 : Promedio de resultados obtenidos de muestras de platanitos, yuquitas, estrellas, papas y churros españoles recolectadas en las zonas de muestreo, Zacamil, San Jacinto, alrededores de la UES, feria Estadio Cuscatlán, feria Consuma. Resultado de estándar (Trioleína-Trielaídina) concentración 5%. Y resultados de muestras de margarina Dany light, manteca Nieve, manteca Orisol y aceite de Oliva.

Intercepto (**b**) = 0.192 Pendiente (**m**) = 0.009858

	Frituras				
	Papa	Platanito	Yuca	Churros españoles	Estrellas
Zacamil	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Universidad de El Salvador	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Feria en el Estadio Cuscatlán	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Feria Consuma	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
San Jacinto	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Muestras Comparativas					
	(Estándar trioleína-trielaídina) concentración 5%	Margarina Dany Light	Manteca Nieve	Manteca Orisol	Aceite de Oliva Wesson
TF (%)	4.7152	0.6999	-17.938	-15.695	-19.206
	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo

Los resultados obtenidos en las concentraciones de ácidos grasos trans de las cinco muestras de harinas fritas son menores del 0.5 % indica un resultado negativo. Los resultados de los estándares de la mezcla de Trioleína-Trielaídina, y margarina Dany light son mayores al 0.5 % indicando un resultado positivo.

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES DE RESULTADOS

7.1 CONCLUSIONES DE RESULTADOS.

- a. Por medio del método de FTIR/ATR se identificó la presencia de grasas trans, aplicando el método oficial de la AOAC 2000.10, con el estándar positivo Trielaidina y con muestras comparativas como margarina Dany light, manteca Nieve, manteca Orisol y aceite de oliva Wesson, se confirmó que el método es efectivo para el análisis cualitativo de ácidos grasos trans. En las muestras de frituras seleccionadas se logró apreciar el pico característico de ácidos grasos trans en la región de 966 cm^{-1} con poca intensidad de absorción, se concluye que la baja intensidad de la señal es debido a cualquiera de las siguientes razones: El límite de detección del equipo FTIR/ATR, (la sensibilidad del equipo no permite detectar una concentración menor al 0.5 %), o la formación de peróxidos e hidroperóxidos consecuencia de la termooxidación menguando la concentración de ácidos grasos trans.
- b. Aunque no exista presencia significativa de ácidos grasos trans por porción de muestra de fritura analizada, el consumo diario y en exceso de estos alimentos podría crear una acumulación de grasas trans en el organismo y causar a su vez, problemas de salud.
- c. El presente trabajo abre una puerta de investigación que podría ser de interés de la población en general y como ayuda a los microempresarios para asegurar la calidad de sus productos.

CAPÍTULO VIII
RECOMENDACIONES

8.1 RECOMENDACIONES

- a. Al Ministerio de Salud Pública, concientizar a los comerciantes sobre el uso adecuado de aceites para freír los alimentos y el uso de aceites y grasas de buena calidad, garantizando la salud del consumidor, y que entre sus acciones para el control implementen análisis periódicos de contenido de grasas trans en frituras de consumo popular en todos los puntos de venta alrededor del país, además de desarrollar programas de educación a la población en general, sobre la forma correcta del uso de los aceites y grasas de consumo.
- b. A las entidades encargadas de la vigilancia y registro de productos alimenticios, monitorear las frituras populares “platanitos, yuquita, estrellas, papas, churros españoles” y otros productos callejeros, así como analizar los aceites sin etiqueta nutricional que utilizan los comerciantes, por Espectroscopia FTIR-ATR y Cromatografía de Gases, HPLC como métodos complementarios.
- c. A las autoridades de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad de El Salvador, realizar las gestiones necesarias para la adquisición de estándares, materiales, reactivos, equipo FTIR-ATR.
- d. A los laboratorios que se encargan del análisis de calidad de alimentos, se les recomienda implementar el método propuesto en la oferta de servicio del Laboratorio Físicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador para la identificación de ácidos grasos trans en todo tipo de alimentos en los que se utilice grasas y aceites.

FUENTES BIBLIOGRAFICAS

1. Smith. E. A, Tinsley. B. **Effects of cis and trans unsaturated lipids on an interdigitated membrane.** *J. Biophysical Chemistry*, 2014, 190–191: 1–7.
2. Chen. S. X, M. Rovai, Lock. A. L, Bauman. D. E, Gipson. T. A, Ren. F. Z, and Zeng. S. S. Short communication: **Effects of milk fat depression induced by a dietary supplement containing trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid on properties of semi-hard goat cheese.** *J. Dairy Sci*, 2009, 92:2534–2538.
3. Kummerow. F. A. **The negative effects of hydrogenated trans fats and what to do about them.** *J. Atherosclerosis*, 2009, 205: 458–465.
4. Tarrago-Trani. M. T, Phillips. K. M, Lemar. L. E, Holden. J. M. **New and Existing Oils and Fats Used in Products with Reduced Trans-Fatty Acid Content.** *J. Am Diet Assoc.* 2006;106:867-880.
5. Kummerow. F. A, Zhou. Q, Mahfouz. M. M, Smiricky. M. R, Grieshop. C. M, Schaeffer. D. J. **Trans fatty acids in hydrogenated fat inhibited the synthesis of the polyunsaturated fatty acids in the phospholipid of arterial cells.** *J. Life Sciences*, 2004, 74: 2707–2723.
6. Ibarguren. M, López. D. J, Escribá. P. V. **The effect of natural and synthetic fatty acids on membrane structure, microdomain organization, cellular functions and human health.** *J. Biochimica et Biophysica Acta.* 2014, 1838: 1518–1528.
7. Clare Morris. M, Tangney. C. **Dietary fat composition and dementia risk.** *J. Neurobiology of Aging*, 2014, 35: S59-S64.
8. Barnard. N. D, Bunner. A. E, Agarwal. U. **Saturated and trans fats and dementia: a systematic review.** *J. Neurobiology of Aging* 2014, 35: S65-S73.
9. Stender. S, Dyerberg. J. **The influence of trans fatty acids on health.** 4^{ta} Ed. 2003.
10. Turpeinen. A, Merima. P. **Functional fats and spreads.** *J. Functional foods*, 2011.
11. González. L, Moreno. T, Dugan. M. E. **Effect of supplementing different oils: Linseed, sunflower and soybean, on animal performance, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of veal from “Rubia Gallega” calves.** *J. Meat Science* 2014, 96: 829–836.

12. Mozaffarian. D, Katan. B, Ascherio. A, Willett. W. **Trans Fatty Acids and Cardiovascular Disease.** *N Engl. J. Med* 2006; 354: 1601-13.
13. Micha. R, Mozaffarian. D. **Trans fatty acids: Effects on cardiometabolic health and implications for policy. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids.** 2008;79, 47–152.
14. Micinski. J, Zwierzchowski. G, Kowalski. I, **The effects of bovine milk fat on human health.** *J. Polish annals of medicine.* 2012: 19, 170–175.
15. Huang. Z, Wang. B, Pace. R. D, Yoon. S. **Trans fat intake lowers total cholesterol and high-density lipoprotein cholesterol levels without changing insulin sensitivity index in Wistar rats.** *J. Nutrition Research,* 2009, 29: 206–212.
16. Codony. R, Dutta. P. **Effects of different levels of trans fatty acids and oxidised lipids in diet on cholesterol and cholesterol oxidation products formation in rabbit.** *J. Food Chemistry,* 2010, 121: 1198–1202.
17. Kummerow. F. A. **Improving hydrogenated fat for the world population.** *J. Prevention and Control,* 2005, 1: 157–164.
18. Carrillo Fernandez. L, Dalmau Serra. J, Martínez Álvarez. J. R, Solà Alberich. R, Pérez Jiménez. F. **Grasas de la dieta y salud cardiovascular.** *J. Clin Invest Arterioscl.* 2011; 23 (Supl 1): 1-36.
19. Shojaei Saadi. H. **trans-Fatty Acids.** *Encyclopedia of Toxicology, Vol. 4, 2014.*
20. Cohen. J. T. **FDA’s Proposed Banon Trans Fats: How Do the Costs and Benefits Stack Up?.** *J. Clinical Therapeutics,* 2014, 36: 3.
21. Aldai. N, Dugan. M. E, Rolland. D. C. **Red blood cell trans-18:1 isomeric profile correlates with subcutaneous fat and muscle profiles in beef cattle.** *J. Meat Science,* 2012, 91: 203–206.
22. Tsuzuki. W. **Effects of antioxidants on heat-induced trans fatty acid formation in triolein and trilinolein.** *J. Food Chemistry,* 2011, 129: 104–109.
23. Remig. V, Margolis. S, Kostas. G. **Trans Fats in America: A Review of Their Use, Consumption, Health Implications, and Regulation.** *J. Am Diet Assoc.* 2010; 110: 585-592.

24. Morales Mizurini. D, Costa Maia. I, Queiroz Monteiro. R. Venous thrombosis risk: **Effects of palm oil and hydrogenated fat diet in rats.** *J. Nutrition.* 2011;27, 233–238.
25. Penny M, Etherton K. **The impact of the changing fatty acid profile of fats on diet assessment and health.** *J. Of Food Composition and Analysis*, 2003:16 373–378.
26. Park. Y. Conjugated linoleic acid (CLA): **Good or bad trans fat?.** *J. Of Food Composition and Analysis* 2009: 22S, S4–S12.
27. Booker. C.S, Mann. J.I. **Trans fatty acids and cardiovascular health: Translation of the evidence base.** *J. Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases.* 2008: 18, 448-456.
28. Feynman. R. Thru. **Biochemistry.** *E. Wesley*, 5ta Ed. 2012, 238-257.
29. Morán. H. **Principios de Bioquímica.** 4^{ta}. Ed. México. 2008
30. Bhattacharya. A, Banu. J, Rahman. M, Fernandes. G. **Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease.** *J. Of Nutritional Biochemistry* 2006:17, 789–810.
31. Teixeira. Santos. L, Cruz. R, Casal. S. **Trans fatty acids in commercial cookies and biscuits: An update of Portuguese market.** *J. Food Control.* 2015: 47 141-146.
32. Collison. K. S, Makhoul. N. J, Saleh. S. M, Mondreal. R. **Dietary trans-fat combined with monosodium glutamate induces dyslipidemia and impairs spatial memory.** *J. Physiology & Behavior*, 2010, 99: 334–342.
33. Nestel. P. **Trans Fatty Acids: Are Its Cardiovascular Risks Fully Appreciated?.** *J. Clinical Therapeutics*, 2014, 36: 3.
34. Wandall. B. **The controversy over trans fatty acids: Effects early in life.** *J. Food and Chemical Toxicology* 2008, 46: 3571–3579.
35. Aro. A. **The scientific basis for trans fatty acid regulations—Is it sufficient? A European perspective.** *J. Atherosclerosis Supplements.* 2006:7, 67–68.
36. Lehninger. A. L. **Principles of Biochemistry.** 6^{ta} Ed., 2013, 787-829.
37. Carrillo Fernández. L, Pérez Jiménez. F. **Grasas de la dieta y salud cardiovascular.** *J. An Pediatr (Barc).* 2011;74(3):192.1-192.16.

38. Sherazi. S. T, Kandhro. A, Mahesar. S. A, Bhangar. M, Talpur. M, Arain. S. **Application of transmission FT-IR spectroscopy for the trans fat determination in the industrially processed edible oils.** *J. Food Chemistry*, 2009, 114: 323–327.
39. Poudyal. H, Panchal. S, Ward. L, Brown. L. **Effects of ALA, EPA and DHA in high-carbohydrate, high-fat diet-induced metabolic syndrome in rats.** *J. Of Nutritional Biochemistry* 2013:24, 1041–1052.
40. Bhardwaj. S, Passi. S, Misra. A. **Overview of trans fatty acids: Biochemistry and health effects.** *J. Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2011: 5161–164.
41. Vannice. G. **Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Dietary Fatty Acids for Healthy Adults.** *J. Acad Nutr Diet*. 2014:114,136-153.
42. Gebauer. S.K, Baer. D. J. **Trans Fatty Acids Health Effects, Recommendations, and Regulations.** *Encyclopedia of Human Nutrition*, Vol. 4. 2013.
43. Yen Tan. S. **Effects of Different Dietary Fatty Acids on Human Energy Balance, Body Weight, Fat Mass, and Abdominal Fat.** *Art. Nutrition in the Prevention and Treatment of Abdominal Obesity*. 2014: 36, 417-427.
44. Ratnayake. W.M, Cruz Hernandez. C. **Analysis of trans fatty acids of partially hydrogenated vegetable oils and dairy products.** *Art. Trans Fatty Acids In Human Nutrition*. 2006:5, 105-146.
45. Mensink. R, Katan. M. **Effect of dietary trans fatty acids on High Density y Low Density Lipoprotein Cholesterol Levels in Healthy Subjects.** *J. N Engl J Med*. 1990: 323, 439-445.
46. Lopez. Garcia. E, Schulze. M, **Consumption of Trans Fatty Acids Is Related to Plasma Biomarkers of Inflammation and Endothelial Dysfunction.** *J. Nutr*. 2005:135, 562–566.
47. Willett Meir. W, Graham. M, Hennekens. C. **Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women.** *J. Lancet* 1993: 341, 581 -585.
48. Goncalves Albuquerque. T, Soares Costa. H, Sanches Silva. A. **Trends in the analytical methods for the determination of trans fatty acids content in foods.** *J. Trends in Food Science & Technology*. 2011: 22, 543-560, 48.

49. Livingstone. K. M. **Authorised EU health claims for the replacement of saturated fats.** *Art. Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims.* 2011: 14. 299-317.
50. Rubio. M.A. **Enfermedad cardiovascular y grasas: “amigo o villano”.** *Art. Endocrinol Nutr.* 2002;49(5):145-67.
51. Mapiye. C, Turner. D, Dugan. M. **Adipose tissue and muscle fatty acid profiles of steers fed red clover silage with and without flaxseed.** *J. Livestock Science.* 2013: 151, 11–20.
52. Feynman.R.Thru. **Biochemistry.** *E. Wesley, 5ta Ed.* 2012,238-251.
53. **Wade. L. C. Química orgánica. 5ta Ed.** Madrid, 2004, 1195-1211.
54. Melo. V. Cuamatzi. O. **Bioquímica de los procesos metabólicos.** México, 2006, 119.
55. Murray. R. K, Bender. D. A, Weil. P. A. Harper **Bioquímica ilustrada.** 28^a Ed. Mc Graw Hill. México. 2010. 121-131.
56. Hernández Rodríguez. M, Sastre Gallego A. **Tratado de Nutrición. 1^a, Ed.** Madrid. 1999. 957.
57. Mcgilvery. R. W. **Conceptos Bioquímicos. 1^a, Ed.** España. 1977. 405.
58. Barrera, Arellano. D. **Ácidos grasos trans en aceites Hidrogenados: implicaciones técnicas y nutricionales.** *revistas.csic.es.* 1993: 44, 4-5.
59. Ruiz Álvarez. V. Ácidos grasos trans. **Recomendaciones para reducir su consumo.** *Rev. Cub Aliment Nutr.* 2009;19(2):364-369.
60. Van de Voort. F. R. **Fourier transform infrared spectroscopy applied to food analysis.** *Food Research International.* Canada, 1992, 25: 397-403.
61. Chmielarz. B, Bajdor. K, Labudzinska. A, Klukowska-Majewska. Z. **Studies on the double bond positional isomerization process in linseed oil by UV, IR and Raman spectroscopy.** *J. of Molecular Structure.* 1995, 348: 313-316.
62. Vlachos. N, Skopelitis. Y, Psaroudaki. M, Chatzilazarou. A. **Applications of Fourier transform-infrared spectroscopy to edible oils.** *Analytica Chimica Acta* 2006, 573-574: 459-465.

63. Moya Moreno. M, Mendoza Olivares. D, Amézquita Lopez. F. **Determination of unsaturation grade and trans isomers generated during thermal oxidation of edible oils and fats by FTIR.** *J. of Molecular Structure. Mexico*, 1999, 482-483: 551-556.
64. Moros. J, Roth. M, Gutierrez. S. **Preliminary studies about thermal degradation of edible oils through attenuated total reflectance mid- infrared spectrometry.** *J. Food Chemistry*. 2009, 114: 1529-1536.
65. Sherazi. S, Talpur. M, Mahesar. S, Arain. S. **Main fatty acid classes in vegetable oils by SB-ATR-Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy.** *J. Talanta*, 2009, 80: 600–606.
66. Talpur. M, Kara. H, Sherazi. S, Topkafa. M. **Application of multivariate chemometric techniques for simultaneous determination of five parameters of cottonseed oil by single bounce attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy.** *J. Talanta*. 2014.
67. Yang. H, J. Irudayaraj, Manish M. **Discriminant analysis of edible oils and fats by FTIR, FT-NIR and FT-Raman spectroscopy.** *J. Food Chemistry*, 2005, 93: 25–32.
68. Sherazi. S, Mahesar. S, Bhangar. M. **Application of transmission FT-IR spectroscopy for the trans-fat determination in the industrially processed edible oils.** *J. Food Chemistry* 2009, 114: 323–327.
69. Mahesar. S, Kandhro. A, Cerretani. L, Bendini. A. **Determination of total trans-fat content in Pakistani cereal-based foods by SB-HATR FT-IR spectroscopy coupled with partial least square regression.** *J. Food Chemistry*, 2010, 123: 1289–1293.
70. Maurer. N, Hatta-Sakoda. B, Pascual-Chagman. G, Rodriguez-Saona L. **Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil.** *J. Food Chemistry* 2012, 134: 1173–1180.
71. Meng. X, Ding. Y, Jiang. L. **Rapid determination of phospholipid content of vegetable oils by FTIR spectroscopy combined with partial least-square regression.** *J. Food Chemistry*, 2014, 147: 272–278.
72. Nunes. C. A. **Vibrational spectroscopy and chemometrics to assess authenticity, adulteration and intrinsic quality parameters of edible oils and fats.** *J. Food Research International* 2014, 60: 255–261.

73. Aryee. A, van de Voort. F. R, **Simpson. B. K. FTIR determination of free fatty acids in fish oils intended for biodiesel production.** *J. Process Biochemistry*, 2009, 44: 401–405.
74. Javidnia. K, Parish. M, Karimi. S, **Hemmateenejad. B. Discrimination of edible oils and fats by combination of multivariate pattern recognition and FT-IR spectroscopy: A comparative study between different modeling methods.** *J. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2013, 104: 175–181.
75. Zahir. E, Saeed. R, Hameed. M, Yousuf. A. **Study of Physicochemical Properties of Edible Oil and Evaluation of Frying Oil Quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy.** *J. of Chemistry*, 2014.
76. McKelvy. M, Britt. T, Gillie. B, Graves. F, Lentz. L. **Infrared Spectroscopy.** *J. Anal. Chem.* 1998, 70: 119R-177R.
77. Meng. X, Sedman. J, van de Voort F. R. **Improving the determination of moisture in edible oils by FTIR spectroscopy using acetonitrile extraction.** *J. Food Chemistry*, 2012, 135: 722–729.
78. Rohman. A, Che Man. Y. B. **Application of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy combined with chemometrics for authentication of cod-liver oil.** *J. Vibrational Spectroscopy* 2011, 55: 141–145.
79. Priego-Capote. F, Ruiz-Jiménez. J, Garcia Olmo. J, Luque de Castro. M. **Fast method for the determination of total fat and trans fatty-acids content in bakery products based on microwave-assisted Soxhlet extraction and medium infrared spectroscopy detection.** *J. Analytica Chimica.* 2004, 517: 13–20.
80. Calvey. E, McDonald. R, Mossoba. M. Taylor. L. **Evaluation of SFC/FT-IR for Examination of Hydrogenated Soybean Oil.** *J. Agric. Food Chem.* 1991, 39, 542-548.
81. Chang. T, Zhang. H. **Monitoring Lipase-Catalyzed Interesterification for Bulky Fat Modification with FT-IR/NIR Spectroscopy.** *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53, 9841-9847.
82. Mobaraki. N, Hemmateenejad. B. **Structural characterization of carbonyl compounds by IR spectroscopy and chemometrics data analysis.** *J. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2011, 109: 171–177.

83. Per K. C. **Quantitative determination of saturated and unsaturated fatty acids in edible oils by infrared spectroscopy and chemometrics.** *J. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2006, 82: 130 – 136.
84. Che Man. Y, Setiowaty. G. **Multivariate calibration of Fourier transform infrared spectra in determining iodine value of palm oil products.** *J. Food Chemistry* 1999, 67: 193-198.
85. Candela. M, Bello. J. **Deep-Fat Frying Modifies High-Fat Fish Lipid Fraction.** *J. Agric. Food Chem.* 1998, 46: 2793-2796.
86. Zou. M, Zhang. X, Wang. H. **Rapid Authentication of Olive Oil Adulteration by Raman Spectrometry.** *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57: 6001–6006.
87. Meagher. L, Holroyd. S, Illingworth. D, Lane. S. **At-Line Near-Infrared Spectroscopy for Prediction of the Solid Fat Content of Milk Fat from New Zealand Butter.** *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55: 2791-2796.
88. Hartel. A. Moore. A. **Extraction and ¹H NMR Analysis of Fats from Convenience Foods: A Laboratory Experiment for Organic Chemistry.** *J. Of Chemical Education.* United States. 2013.
89. Herrero. A, Ruiz. C, Jiménez. F, Carmona. P. **Raman Spectroscopic Study of Structural Changes upon Chilling Storage of Frankfurters Containing Olive Oil Bulking Agents As Fat Replacers.** *J. Of Agricultural and Food Chemistry. Madrid, Spain,* 2014.
90. Rodrigues. J, Nascimento. A, Alves. A, Fonseca. R, Ferreira Dias. S. **Calibration of near infrared spectroscopy for solid fat content of fat blends analysis using nuclear magnetic resonance data.** *J. Analytica Chimica,* 2005, 544: 213–218.
91. Farmakia. E, L. Kousouris, F. Tzoumerkas. **Validation of a FT-IR method for the determination of oils and grease in water using tetrachloroethylene as the extraction solvent.** *J. Desalination,* 2007, 210: 52–60.
92. Koca. N, Vurma. K, Harper. W, Rodriguez. L. **Application of temperature-controlled attenuated total reflectance-mid-infrared (ATR-MIR) spectroscopy for rapid estimation of butter adulteration.** *J. Food Chemistry* 2010, 121: 778–782.
93. Tariq. M, Ali. S, Ahmad. F, Ahmad. M, Zafar. M, Khalid. N. **Identification, FT-IR, NMR (¹H and ¹³C) and GC/MS studies of fatty acid methyl esters**

- in biodiesel from rocket seed oil.** *J. Fuel Processing Technology* 2011, 92: 336–341.
94. Schwartz. H, Ollilainen. V, Piironen. V, Maija L. **Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats.** *J. Of Food Composition and Analysis* 2008, 21: 152–161.
95. Shiroma. C, Rodriguez. L. **Application of NIR and MIR spectroscopy in quality control of potato chips.** *J. Of Food Composition and Analysis*, 2009, 22: 596–605.
96. Per. K. C, Østensen. E. T. **Simultaneous quantitative determination of isolated trans fatty acids and conjugated linoleic acids in oils and fats by chemometric analysis of the infrared profiles.** *J. Vibrational Spectroscopy* 2003, 33: 37–48.
97. Maggio. R, Cerretani. L, Chiavaro. E, Kaufman. T, Bendini. A. **A novel chemometric strategy for the estimation of extra virgin olive oil adulteration with edible oils.** *J. Food Control* 2010, 21: 890–895.
98. Ferreira. D, Galão. O, Pallone. J, Poppi. R. **Comparison and application of near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy for determination of quality parameters in soybean samples.** *J. Food Control*, 2014, 35: 227-232.
99. Sinelli. N, Cerretani. L, Di Egidio. V, Bendini. A, Casiraghi. E. **Application of near (NIR) infrared and mid (MIR) infrared spectroscopy as a rapid tool to classify extra virgin olive oil on the basis of fruity attribute intensity.** *J. Food Research International* 2010, 43: 369–375.
100. Van Ruth. S, Rozijn. M, Koot. A, Perez Garcia. R, van der Kamp. H, Codony. R. **Authentication of feeding fats: Classification of animal fats, fish oils and recycled cooking oils.** *J. Animal Feed Science and Technology*, 2010, 155: 65–73.
101. Khaliq Ahmed. M, Daun. K, Przybylski. R. **FT-IR based methodology for quantitation of total tocopherols, tocotrienols and plastochromanol-8 in vegetable oils.** *J. Of Food Composition and Analysis* 2005:18, 359–364.
102. Rubinson. K, Rubinson. J. *Analisis Instrumental*. 1^a, Ed. Madrid. 2001.
103. Parada. L, Saavedra. J, Villatoro. X, Rodríguez Fuentes. I, Díaz del Pinal. A. **Norma para Grasas y Aceites comestibles no regulados por normas individuales del codex. (primera actualización).** NSO 67.23.01:04, 1989.

GLOSARIO

- a. **ÁCIDO GRASO CIS:** Es un ácido graso insaturado que posee los grupos semejantes o idénticos (generalmente grupos –H) en el mismo lado de un doble enlace. Los ácidos grasos cis son isómeros de los ácidos grasos trans, en los que los –H se disponen uno a cada lado del doble enlace.¹

- b. **ÁCIDO GRASO TRANS:** Son ácidos grasos insaturados que contienen uno o más dobles enlaces aislados en una configuración trans.^{1,2,3}

- c. **ANÁLISIS CUALITATIVO:** Se basa en una identificación y en la verificación de las cualidades del analito o de sus componentes, evita la cuantificación, busca información sobre la identidad o forma de la sustancia.⁹

- d. **COMPUESTO ORGÁNICO:** Es una sustancia química que contiene carbono, formando enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno. En muchos casos contiene oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo, boro, halógeno y otros elementos menos frecuentes en su estado natural.¹⁰

- e. **CROMATOGRAFÍA DE GASES:** Es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas, la cual tiene aplicación en todas las ramas de la ciencia y la física. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.¹²

- f. **ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:** Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética, que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a una huella dactilar.¹⁻¹⁵

- g. **GRASAS:** En bioquímica, grasa son sustancias apolares que las hacen insolubles en agua que se debe a que tienen muchos átomos de carbono e hidrógeno unidos de modo covalente puro y por lo tanto no forman dipolos que interactúen con el agua.¹⁻⁵
- h. **GRUPO FUNCIONAL:** Es un conjunto de estructuras submoleculares, caracterizadas por una conectividad y composición elemental específica que confiere reactividad química específica a la molécula que los contiene.⁸
- i. **HUELLA DACTILAR:** En un espectro es la impresión visible o moldeada que identifica cada compuesto, ya que es propio de cada uno.¹¹
- j. **ICOSANOIDE:** Son un grupo de moléculas de carácter lipídico originadas de la oxidación de los ácidos grasos esenciales de 20 carbonos tipo Omega-3 y Omega-6. Mediadores para el sistema nervioso central.⁵²
- k. **ISÓMERO:** Son compuestos que tienen la misma fórmula molecular pero diferente fórmula estructural y por tanto diferentes propiedades.²⁻⁹
- l. **LÍPIDOS:** Los lípidos son un conjunto de moléculas orgánicas, la mayoría son biomoléculas, compuestas principalmente por carbono e hidrogeno y en menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fosforo, azufre y nitrógeno, tienen como característica principal el ser hidrofobias o insolubles en agua y sí en solventes orgánicos como la bencina, el benceno y el cloroformo.¹⁶⁻²⁵
- m. **LIPOPROTEÍNA:** Son complejos macromoleculares compuestos por proteínas y lípidos que transportan masivamente las grasas por todo el organismo. Son esféricas, hidrosolubles, formados por un núcleo de lípidos apolares (colesterol esterificado y triglicéridos) cubiertos con una capa externa polar de 2 nm formada por apoproteínas, fosfolípidos y colesterol libre.²⁶
- n. **LONGITUD DE ONDA:** Describe cuan larga es la onda. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos.²⁷

- o. **MATERIAL ESTÁNDAR DE REFERENCIA (PATRÓN PRIMARIO):** Material emitido por la Oficina Nacional de Normas de Estados Unidos (U.S National Bureau of Standards) cuyo nombre fue cambiado recientemente a Instituto Nacional para Normas y Tecnología.²⁸
- p. **MÉTODO ANALÍTICO:** Adaptación específica de una técnica analítica para un propósito de medición seleccionado.²⁹
- q. **MULTIPLEXACIÓN:** Es una combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión.⁷⁴
- r. **PARÁMETRO DE DESEMPEÑO ANALÍTICO:** Características de validación que necesitan ser evaluadas y que típicamente corresponden a la siguiente lista: exactitud, precisión, especificidad, límite de detección, límite de cuantificación, linealidad, intervalo de linealidad y robustez.³⁰
- s. **PICO DE ABSORCIÓN:** Es el pico de la curva representativa del espectro correspondiente a la absorción total de la energía de los fotones en un material detector.³¹
- t. **SELECTIVIDAD:** Describe la habilidad de un procedimiento analítico para diferenciar entre varias sustancias en la muestra y es aplicable a métodos en los que dos o más componentes son separados y cuantificados en una matriz compleja.³²
- u. **VIDA ÚTIL:** Es la duración estimada que un objeto puede tener cumpliendo correctamente con la función para la cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración.³³
- v. **ATEROSCLEROSIS:** Es una enfermedad de las arterias en la cual el material graso se deposita en la pared de los vasos sanguíneos y ocasiona un deterioro progresivo y una reducción de flujo sanguíneo.

ANEXOS

ANEXO N° 1

Método oficial de análisis infrarrojo de grasas según AOAC y traducción al idioma español.

AOAC Official Method 2000.10

Determination of Total Isolated *Trans* Unsaturated Fatty Acids in Fats and Oils by ATR-FTIR.

(This method is applicable to natural or processed oils and fats consisting of long-chain fatty acids, esters and triglycerides with *trans* levels $\leq 5.0\%$.)

Table 2000.10 Interlaboratory Study results for Total Isolated *trans* Content by ATR-FTIR

ID	True Value	\bar{x} , %	# Labs ^{a(b)}	S _r	% RSD _r	S _R	% RSD _R	% Rec
		0.8	11(1)	0.1	7.5	0.2	21.1	103
		1.0	12(0)	0.1	10.5	0.3	29.3	97
		5.1	12(0)	0.1	2.3	0.2	3.1	102
		10.3	12(0)	0.4	3.6	0.5	5.1	103
		15.6	12(0)	0.3	2.2	0.5	3.3	103
		20.6	11(1)	0.9	4.5	1.0	5.0	103
		40.1	12(0)	1.4	3.5	1.4	3.5	100

a(b) a= number of labs retained after eliminating outliers, (b)= number of labs removed as outliers

A. Principle

In most naturally occurring vegetable fats and oils, unsaturated constituents contain only isolated double bonds in the *cis* configuration. These *cis* double bonds may be isomerized to the *trans* configuration during extraction and processing procedures, due to oxidation, conversion during heating, and/or partial hydrogenation. Animal and marine fats may contain measurable amounts of naturally occurring *trans* fatty acid geometric isomers. Isolated *trans* double bonds in long-chain fatty acids, fatty acid methyl esters (FAME), soaps and triacylglycerols may be measured by infrared (IR) spectroscopy. A unique absorption band with a maximum at ca 966 cm⁻¹ (10.3 μm), arising from a C-H deformation vibration about a *trans* double bond, is exhibited in the spectra of all compounds containing an isolated *trans* group; this band is not observed in the spectra of the corresponding saturated and *cis* unsaturated fatty acids. Measurement of the intensity of this absorption band under analytically controlled conditions is the basis for a quantitative method for the determination of total isolated *trans* fatty acids. Fat and oil test samples are not required to be converted to FAME prior to analysis.

This method is not applicable to fats and oils containing ca > 1% of conjugated unsaturation (e.g., tung oil), materials containing functional groups which modify the intensity of the C-H deformation vibration about the *trans* double bond (e.g., castor oil which contains hydroxy fatty acids), or, in general, to any materials containing constituents which have functional groups that give rise to specific absorption bands at, or sufficiently close to interfere with, the 966 cm⁻¹ (10.3 μm) band of the C-H deformation vibration of the isolated *trans* double bond.

B. Apparatus

(a) *Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer*.-- Capable of making measurements at 4 cm^{-1} resolution in the spectral range covering $1050\text{-}900\text{ cm}^{-1}$. The instrument data handling system to allow conversion of the spectra to absorbance, scale expansion of the x and y axes, readout of wavenumbers to the nearest 1 cm^{-1} and absorbance to the nearest 0.0001 amu, and integration of the area under the absorption band at 966 cm^{-1} . FTIR spectrometer equipped with a deuterated triglycine sulfate (DTGS) detector for greatest linearity. In the absence of test samples, a 1-min data collection at 4 cm^{-1} resolution must yield, between $1050\text{ - }900\text{ cm}^{-1}$, a peak-to-peak noise level of ≤ 0.0005 amu. The 966 cm^{-1} band for a 1% trielaidin standard, must yield a signal-to-noise ratio $> 10:1$.

(b) *Attenuated total reflection (ATR) infrared cell*.-- Equipped with a zinc selenide (or equivalent) crystal. The capacity of the horizontal ATR cell is ca $50\text{ }\mu\text{L}$ and is capable of maintaining a constant temperature of $65 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$.

(c) *Analytical balance*.-- With 60 g capacity; capable of weighing $0.3\text{ g} \pm 0.0001\text{ g}$.

(d) *Disposable plastic pipets*.-- Capable of transferring $50\text{ }\mu\text{L}$ test samples to ATR cell.

(e) *Steam water bath*.-- For melting fats.

C. Reagents

(a) *Primary standards*.-- Trielaidin (TE) and triolein (TO) with purity $>99\%$ (available from Nu Check Prep, Inc., P.O. Box 295, Elysian, MN 56028 USA).

D. Preparation of Standards

Trans Calibration Standards. Weigh, to the nearest 0.0001 g , $(0.3-x)\text{ g}$ of TO, and $x\text{ g}$ of TE, into a 10 mL beaker, where x equals $0.0015, 0.0030, 0.0150, 0.0300, 0.0600, 0.0900, 0.1200$ and 0.1500 g , in order to prepare $0.5, 1, 5, 10, 20, 30, 40,$ and 50% *trans* calibration standards, respectively.

E. Calibration

For each *trans* standard, calculate the exact % *trans* expressed as the amount of TE as percent of total fat. Analyze each standard and determine the integrated area under the absorption band at 966 cm^{-1} as described in G and H.

Using a first-order regression analysis, determine the slope and intercept of the line which best fits the plot of the area of the *trans* band for all the *trans* standards (y axis) as a function of % *trans* (x axis). Once a calibration curve has been established, it must be checked periodically to insure that it has not shifted.

F. Preparation of Test Samples

Solid fats must be gently melted and mixed. Test samples that appear cloudy due to the presence of water should be treated with anhydrous sodium sulfate until clear and filtered before removing the test portion for analysis.

G. Infrared Determination

Set up the FTIR operating parameters according to the manufacturer's recommendations for using an ATR cell with the following parameters: 1050-900 cm^{-1} range, 64-scan (or appropriate number of scans needed to meet peak-to-peak noise level and SNR requirements given in B), 4 cm^{-1} resolution, and triangular apodization functions (the most common weighting functions in FTIRs that suppress the magnitude of side lobes of interferograms). Conditions employed must be identical for test samples and calibration standards. The performance of FTIRs must be evaluated for wavenumber accuracy and noise level to insure that they are operating within the manufacturer's established specifications. For solid fats maintain ATR cell at 65 ± 2 °C.

Materials for measuring the reference background single beam spectrum are (a) TO for calibration standards, (b) the unfortified material for *trans*-fortified test samples, and (c) an appropriate *trans*-free material such as the refined bleached source oil for test samples.

Using a disposable pipet, transfer (without weighing) ca 50 μL of the neat (undiluted in any solvent) reference background material. Place the reference background material on the horizontal (face-up) ZnSe sampling surface of the ATR cell. The test portion must *completely* cover the horizontal surface of the crystal. Collect and save the single-beam spectrum to be used as background. Clean the crystal by wiping off the test portion with a disposable soft lint-free or low-lint tissue paper. In general, to minimize contamination, apply part of the next test portion then wipe it off the crystal before re-applying the ca 50 μL test portion for analysis.

Place ca 50 μL (without weighing) of the neat test portion on the horizontal ZnSe crystal. It must *completely* cover the surface of the crystal. Collect and save the single-beam spectrum of the test portion.

Ratio the test sample single-beam spectrum against that of the reference background, and convert to absorbance. Save the absorption spectrum. Repeat for other test samples.

H. Calculations

With the absorbance spectrum wavenumber scale expanded in the region from 1050 - 900 cm^{-1} , integrate (electronically) the area under the 966 cm^{-1} band between the limits 990 - 945 cm^{-1} . Calculate the linear regression equation for Area vs. % *trans* plot of the *trans* calibration standards.

Using the slope and intercept generated for *trans* standards, calculate the % *trans* for test samples, by substituting the value of the integrated area of the *trans* band in the following equation:

$$\text{trans fat as TE, \%} = \frac{[\text{Area} - \text{Intercept}]}{\text{Slope}}$$

Report results to the nearest 0.1%.

TRADUCCIÓN AL IDIOMA ESPAÑOL

Determinación del total de ácidos grasos insaturados aislados en grasas y aceites por medio de ATR-FTIR.

(Este método es aplicable a aceites y grasas naturales o procesadas que contienen una cadena larga de ácidos grasos, ésteres y triglicéridos con $\pm .0\%$ niveles trans)

PRINCIPIO

En la mayoría de grasas y aceites vegetales de origen natural, los componentes insaturados contienen solamente dobles enlaces aislados de configuración cis. Estos enlaces dobles cis se pueden isomerizar a configuración trans durante su procesamiento y extracción, por oxidación, mientras su calentamiento y proceso de hidrogenación parcial. Las grasas animales y marinas pueden contener cantidades medibles de isómeros geométricos de ácidos grasos trans de origen natural. Los enlaces dobles trans aislados en los ácidos grasos de cadena larga, los ésteres metílicos de ácidos grasos, los jabones y triacilglicerolos se pueden medir por espectroscopia infrarroja (IR). Una banda de absorción única con un máximo en la región de 966 cm^{-1} ($\mu\text{m } 10.3$), que se presenta por una vibración de la deformación de un enlace doble C-H trans, se exhibe en los espectros de todos los compuestos que contienen un grupo trans aislado. Esta banda no se observa en los espectros de los correspondientes a los ácidos grasos saturados e insaturado cis. La medida de la intensidad de esta banda de absorción bajo condiciones analíticamente controladas es la base para un método cuantitativo para la determinación de ácidos grasos trans totales. No se requiere que las muestras de ensayo, grasas y aceites se conviertan a ésteres metílicos de ácidos grasos antes del análisis.

Este método es aplicable para grasas y aceites que contengan $> 1\%$ de la insaturación conjugada, materiales que contenga grupos funcionales que modifiquen la intensidad de la vibración de la deformación C-H de la doble banda trans, o en general a cualquier material que contenga constituyentes cuyos grupos funcionales que generan una banda de absorción específica, o que este suficientemente cerca de interferir con la banda de vibración de absorción C-H de la doble banda trans aislada 966 cm^{-1} .

APARATO

- a. Espectrómetro infrarrojo de Transformada de Fourier (FTIR): Capaz de hacer mediciones a una resolución de 4 cm^{-1} en la región del espectro cubriendo $1050\text{-}900\text{ cm}^{-1}$. El sistema de manipulación de datos tiene un instrumento que permite la conversión del espectro a absorbancia, la expansión de escala del eje de las x, y, la lectura del número de onda cerca de 1 cm^{-1} y absorbancia cerca de 0.0001mu e integración del área bajo la banda de absorción a 966 cm^{-1} .
- b. El espectrómetro FTIR equipado con un detector de sulfato de triglicinadeuterado (DTGS) de una excelente linealidad. En la ausencia de muestras de ensayo, una recolección de datos de 1 min a una resolución de 4 cm^{-1} debe ceder, entre $1050\text{-}900\text{ cm}^{-1}$, un nivel de ruido pico a pico de número 0.0005 amu . La banda de 966 cm^{-1} para el estándar de Trielaidina 1%, debe ceder una señal de ruido $> 10:1$.
- c. Celda infrarroja de Reflectancia Total Atenuada (ATR): Equipada con un cristal de Selenio de Zinc. La capacidad de la celda ATR horizontal es $50\text{ }\mu\text{L}$ y es capaz de mantener una temperatura constante de $65\pm 2^\circ\text{ C}$.
- d. Balanza Analítica: Con capacidad de 60 g, capaz de medir $0.3\text{ g} \pm 0.0001\text{g}$.
- e. Pipetas de plástico descartables: Capaces de transferir $50\text{ }\mu\text{l}$ de la muestra del ensayo a la celda ATR.
- f. Baño de vapor: Para derretir las grasas.

REACTIVOS

Estándares primarios: Trielaidina (TE) y Trioleina (TO) de pureza $> 99.0\%$

PREPARACIÓN DE ESTANDARES

Pesar cerca del 0.0001 g ($0.3\text{-}x$)g de Trioleina, y $x\text{ g}$ de Trielaidina, en un beaker de 10 mL, en donde x es igual a 0.0015, 0.0030, 0.0150, 0.0300, 0.600, 0.0900, 0.1200 y 0.1500g, para preparar 0.5, 1, 5, 10, 20, 30, 40 y 50% estándares de calibración trans respectivamente.

CALIBRACIÓN

Para cada estándar trans, calcular el porcentaje exacto trans expresado como la cantidad de TE como porcentaje de grasas totales. Analizar cada estándar y determinar el área integrada bajo la banda de absorción a 966 cm^{-1} .

Usando un análisis de regresión de primer orden, determinar la pendiente y el intercepto de la línea que mejor encaje en el área de las bandas trans de todos los estándares trans (eje de las y) en función de porcentaje trans (eje de las x). Una vez se haya establecido la curva de calibración debe ser revisada periódicamente para asegurar que no haya sido desplazada.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las grasas solidas deben derretirse y mezclarse correctamente. Si existe alguna muestra que aparezca nublada debido a la presencia de agua se deben tratar con sulfato de sodio anhidro, hasta que las veamos claras, filtrar el contenido antes de remover la porción que se ocupara para el análisis.

DETERMINACIÓN INFRARROJA

Establecer los parámetros de operaciones de FTIR, de acuerdo a lo que recomienda el fabricante, para hacer uso de una celda ATR, con los siguientes parámetros: rango de $1050 - 900\text{ cm}^{-1}$, 64 determinaciones (a un número apropiado de determinaciones que sean necesarias para satisfacer los niveles de ruido pico a pico), resolución de 4 cm^{-1} y funciones de apodización triangulares (las funciones de ponderación más comunes en FTIR que inhiben la magnitud de los lóbulos laterales de interferogramas). Deben utilizarse las mismas condiciones para las muestras del ensayo y para la calibración de los estándares. El rendimiento de FTIR debe ser evaluado para una longitud de onda exacta y nivel de ruido para asegurar que están operando dentro de las especificaciones que establece el fabricante. Para grasas solidas debe mantenerse la celda ATR a temperatura de $62 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los materiales para medir el fondo del espectro del haz de referencia son:

- a. Trioleina para calibración
- b. Material sin fortificar para muestras de ensayo trans-fortificadas,

- c. Un material apropiado libre de grasas trans, tales como el aceite refinado que es una fuente blanqueada.

Usando una pipeta desechable, transferir 50µL de material base de referencia ordenado. Poner el material de base de referencia en la celda ATR de Zn Se horizontal. La porción del ensayo debe cubrir completamente la superficie horizontal del cristal.

Recolectar y guardar todos los espectros de un solo haz para ser usados como base. Limpiar el cristal sacando la porción del ensayo con un papel suave de seda desechable. En general para minimizar la contaminación, aplicar parte de la próxima muestra y volver a limpiar el cristal antes de volver a agregar 50µL de la porción de la muestra para el análisis.

Colocar alrededor de 50µL de la porción de ensayo ordenada en el cristal horizontal de ZnSe. Debe cubrir completamente la superficie del cristal.

Recolectar y guardar todos los espectros de un solo haz. Relacionar el espectro de un solo haz de la muestra de ensayo contra el espectro base de referencia y convertir a absorbancia. Guardar el espectro de absorción. Repetir con las otras muestras.

CALCULOS

Con la escala de longitud de onda del espectro de absorbancia, que se expande desde 1050 – 900 cm⁻¹, integrar el área bajo la banda 966 cm⁻¹ entre los límites de 900 – 945 cm⁻¹. Calcular la ecuación de la regresión lineal para área vs % de área de la calibración de los estándares trans. Usando la pendiente y el intercepto generado por los estándares trans, calcular el porcentaje de % trans de las muestras de ensayo, sustituyendo el valor del área integrada de las bandas trans en la siguiente ecuación:

$$\text{Grasas trans como TE(\%)} = \frac{[\text{Area} - \text{Intercepto}]}{[\text{Pendiente}]}$$

Reportar los resultados lo más cercano a 0.1%.

ANEXO N° 2

Especificaciones del Espectrofotómetro Infrarrojo SHIMADZU IRAFFINITY-1

TABLA 8. Especificaciones del equipo

Característica	Observaciones
Interferómetro	Interferómetro de Michelson (ángulo de incidencia de 30 grados)
	Sistema avanzado de alineamiento dinámico
	Interferómetro sellado y secado con desecador automático
Divisor de radiación	Cubierta de Germanio y placa de KBr para región intermedia del IR (Standard)
	Cubierta de Germanio y placa de CsI para región Intermedia/lejana del IR (Opcional)
	Cubierta de Silicón y placa de CaF ₂ para región cercana del IR (Opcional)
Fuente	Fuente de Globar (Cerámica) con enfriamiento de aire para la región intermedia/lejana del IR con 3 años de garantía (Standard)
	Lámpara de Tungsteno para región cercana del IR (Opcional)
Detector	Detector DLATGS con control de Temperatura para la región intermedia/lejana del IR (Standard)
	Detector MCT (Hg-Cd-Te) con enfriamiento con Nitrógeno líquido para la región intermedia del IR (Opcional)
	Detector InGaAs para región cercana del IR (Opcional)
Rango de números de onda	7,800 - 350 cm ⁻¹
	12,500 - 240 cm ⁻¹ (Opcional)
Resolución	0.5, 1, 2, 4, 8, 16 cm ⁻¹ (Intermedio/lejano del IR)
	2, 4, 8, 16 cm ⁻¹ (cercano del IR)
Razón S/N (señal/ruido)	40,000: 1 y mayores (pico-a-pico, resolución de 4 cm ⁻¹ , aprox. 2100 cm ⁻¹ , escaneo (barrido) de 1 minuto)
Sistema operativo	Microsoft Windows 2000/XP
Interface entre PC y FTIR	IEEE 1394
Monitoreo de hardware	Auto diagnóstico, Monitor de estado
	Programa de validación en cumplimiento conforme con la Farmacopea Japonesa, Farmacopea Europea, Normas ASTM
Procesamiento de datos	Adición, Multiplicación, conversión Abs a % T, normalización, corrección de línea base, conversión logarítmica, difuminado, derivación, corrección ATR, conversión Kubelka-Munk, análisis de Kramers-Kronig, conversión de número de onda/longitud de onda, detección de pico, cálculo de área del pico, cálculo de espesor de película
Procesamiento cuantitativo	Curva de Calibración Multipunto con altura/área/radio o razón del pico, regresión multilínea (método MLR)
Búsqueda de espectro	Búsqueda de parámetros, Búsqueda, creación de Librería de espectros
Proceso de impresión	Generador de reportes
Software opcionales	Programación de Macro, cuantificación de PLS, curva adecuada, Presentación tridimensional con mapeo
Rastreo de Auditoría	Función de contenedor con almacenaje de interferograma/espectro de fondo (background), Historial de operación
	Protección con clave de ingreso
	Grabado Log
	Conformidad con FDA CFR Part 11, firma electrónica
Detección de accesorios	Reconocimiento automático del accesorio instalado. Además configuración de parámetros de escaneo o barrido y corrida de programación con macro.
	Accesorios ATR; ATR-8000A, ATR-8200HA, MIRacle A, DuraSampleIR A, etc.
	Accesorios de reflectancia difusa; DRS-8000A, etc.
Dimensiones	600 (W) x 680 (L) x 290 (H) mm
Peso	54 Kg

ANEXO N° 3

Certificado de Análisis de estándar positivo, Tri(Trans-9- octadecenoil-glicerol) con traducción al idioma español; Certificado de Análisis de estándar negativo Tri(cis-9- octadecenoil-glicerol) con traducción al idioma español.

CERTIFICATE OF ANALYSIS

DATE: JULY 18, 2012

SCIENTIFIC NAME: 1,2,3 TRI[TRANS-9-OCTADECENOYL]-GLYCEROL

COMMON NAME: TRIELAIDIN

DENSITY: UNKNOWN

GAS LIQUID CHROMATOGRAPHY: >99% ON METHYL ESTER

THIN LAYER CHROMATOGRAPHY: SHOWS ONLY THE TRIGLYCERIDE MOIETY PRESENT

FORMULA: C₅₇H₁₀₄O₆

APPEARANCE: SOLID AT ROOM TEMPERATURE

LOT: T-240-M17-V

ORIGINAL SOURCE OF MATERIAL: SUNFLOWER OIL

FORMULA WEIGHT: 885.50

CAS # 537-39-3

SHELF LIFE: UNLIMITED IF UNOPENED AND STORED AT 0 DEGREES CENTIGRADE OR COLDER. ONCE OPENED, 6-12 MONTHS UNDER GOOD STORAGE CONDITIONS

OUR UNSATURATED COMPOUNDS ARE INSERTED IN VIALS BY VOLUME AND NOT WEIGHT, FLUSHED WITH NITROGEN AND SEALED UNDER HIGH VACUUM. EACH VIAL CONTAINS AT LEAST THE MINIMUM AMOUNT SPECIFIED ON THE LABEL.

SAFETY DATA INFORMATION

THIS COMPOUND MAY BE HARMFUL IF SWALLOWED, INHALED OR ABSORBED THROUGH THE SKIN. IT MAY CAUSE EYE IRRITATION, BE IRRITABLE TO MUCOUS MEMBRANES AND UPPER RESPIRATORY TRACT.

TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE THE TOXICOLOGICAL PROPERTIES HAVE NOT BEEN FULLY INVESTIGATED.

CONTAMINATION OF THE EYES OR SKIN SHOULD BE FOLLOWED BY WASHING WITH LARGE AMOUNTS OF WATER.

ALL OF THE COMPOUNDS WHICH YOU HAVE PURCHASED FROM NU-CHEK-PREP ARE HIGHLY PURIFIED LIPID STANDARDS THAT HAVE BEEN ISOLATED OR SYNTHESIZED FROM VARIOUS VEGETABLE OILS.

AS A FINAL PRECAUTIONARY MEASURE, ALL RESIDUAL VOLATILE ORGANIC CONTAMINATES ARE REMOVED BY HIGH VACUUM FRACTIONAL DISTILLATION. SINCE MANY OF OUR PURE PRODUCTS ARE UNSATURATED, THE FINAL PRODUCT IS GENERALLY FLUSHED WITH INERT GAS (i.e., N₂) AND HERMETICALLY SEALED IN GLASS VIALS UNDER VACUUM AND STORED UNDER LOW TEMPERATURE (-30°C) CONDITIONS UNTIL READY FOR SHIPMENT.

THESE PRODUCTS ARE PREPARED IN SMALL RESEARCH QUANTITIES FOR THE LIPID ORGANIC SCIENTIFIC COMMUNITY. WHILE THESE MATERIALS MAY BE TOXIC, THEY ARE NOT INTENDED FOR HUMAN CONSUMPTION OR AS A MEDICINAL OR DRUG RELATED USES. OUR PRODUCTS ARE USED IN ANIMAL STUDIES AND AS STANDARDS STRICTLY FOR RESEARCH.

WE CERTIFY THAT THIS LOT CONFORMS TO THE PRODUCT SPECIFICATIONS AND HAS BEEN RELEASED FOR SALE.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

FECHA: 18 DE JULIO, 2012

NOMBRE CIENTIFICO: 1,2,3 TRI TRANS-9 Octadienol glicerol

Nombre Común: Trielaidina

Densidad: Desconocida

Cromatografía gas líquido: >99% sobre metilester

Cromatografía capa fina: Muestra solo la mitad de triglicéridos presentes

Formula: $C_{57}H_{104}O_6$

Apariencia: Solido a temperatura ambiente.

Lote: T-240-M17-V

Fuente original del material: Aceite de girasol.

Peso de la fórmula: 885.50

CAS # 537-39-3

Vida útil: Es ilimitada si no se abre el vial y almacenada a cero grados centígrados o más helado. Una vez abierto, 6-12 meses bajo buenas condiciones de almacenamiento.

Nuestros compuestos insaturados son colocados en viales por volumen y no por peso, lavados con nitrógeno y sellados al vacío. Cada vial contiene al menos la mínimo cantidad especificada en lo rotulado.

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

Este compuesto puede ser perjudicial si se ingiere, inhala o se absorbe en la piel. Puede causar irritación en los ojos, puede ser irritable a las membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Para nuestros conocimientos, las propiedades toxicológicas no han sido investigadas por completo. La contaminación de los ojos o la piel debe ser tratada lavando con grandes cantidades de agua. Todos los compuestos que se adquieren en NU-CHEK-PREP son altamente lípidos altamente purificados que han sido aislados o sintetizados de varios aceites vegetales. Como última medida de precaución, todos los contaminantes de residuos orgánicos volátiles son removidos por una destilación fraccionada de alto vacío. Como muchos de nuestros productos son insaturados, el

producto final es generalmente lavado con gas inerte (N_2) y sellado herméticamente en viales de vidrio bajo vacío y almacenados a una baja temperatura ($^{\circ}C$). Estas son las condiciones usuales hasta que es vendido. Estos productos son preparados en cantidades pequeñas para la comunidad científica de los lípidos orgánicos. Mientras que estos materiales pueda que sean tóxicos, no son adecuados para el consumo humano ni tiene usos medicinales. Nuestros productos se utilizan en estudios con animales. Certificamos que este lote se ajusta a las especificaciones requeridas del producto y que ha sido lanzado para su venta.

CERTIFICATE OF ANALYSIS

DATE: July 18, 2012

SCIENTIFIC NAME: 1,2,3 TRI CIS-9 OCTDECENOYL GLYCEROL

COMMON NAME: TRIOLEIN

DENSITY: 0.90 GM/ML

GAS LIQUID CHROMATOGRAPHY: >99% ON METHYL ESTER

THIN LAYER CHROMATOGRAPHY: SHOWS ONLY THE TRIGLYCERIDE MOIETY PRESENT

FORMULA: C₅₇H₁₀₄O₆

APPEARANCE: CLEAR COLORLESS LIQUID AT ROOM TEMPERATURE

LOT: T-235-D19-V

ORIGINAL SOURCE OF MATERIAL: SUNFLOWER OIL

FORMULA WEIGHT: 885.50

CAS # 122-32-7

THE EXPIRATION DATE ON STANDARDS RECEIVED FROM NU-CHEK-PREP IS 3-6 MONTHS ON AN OPENED VIAL UNDER GOOD STORAGE CONDITIONS. UNLIMITED IF THE VIAL IS UNOPENED. GOOD STORAGE CONDITIONS FOR AN OPENED VIAL IS KEPT AT 0 DEGREES CENTIGRADE OR COLDER AND FLUSHED WITH AN INERT GAS LIKE NITROGEN OR ARGON. THIS RIDS IT OF OXYGEN WHICH CAN CAUSE OXIDATION. FOR AN UNOPENED VIAL IT SHOULD BE KEPT AT 0 DEGREES OR COLDER.

THE EXPIRATION DATE STARTS THE DAY THE BUYER RECEIVES IT.

OUR UNSATURATED COMPOUNDS ARE INSERTED IN VIALS BY VOLUME AND NOT WEIGHT, FLUSHED WITH NITROGEN AND SEALED UNDER HIGH VACUUM. EACH VIAL CONTAINS AT LEAST THE MINIMUM AMOUNT SPECIFIED ON THE LABEL.

SAFETY DATA INFORMATION

THIS COMPOUND MAY BE HARMFUL IF SWALLOWED, INHALED OR ABSORBED THROUGH THE SKIN. IT MAY CAUSE EYE IRRITATION, BE IRRITABLE TO MUCOUS MEMBRANES AND UPPER RESPIRATORY TRACT.

TO THE BEST OF OUR KNOWLEDGE THE TOXICOLOGICAL PROPERTIES HAVE NOT BEEN FULLY INVESTIGATED.

CONTAMINATION OF THE EYES OR SKIN SHOULD BE FOLLOWED BY WASHING WITH LARGE AMOUNTS OF WATER.

ALL OF THE COMPOUNDS WHICH YOU HAVE PURCHASED FROM NU-CHEK-PREP ARE HIGHLY PURIFIED LIPID STANDARDS THAT HAVE BEEN ISOLATED OR SYNTHESIZED FROM VARIOUS VEGETABLE OILS.

AS A FINAL PRECAUTIONARY MEASURE, ALL RESIDUAL VOLATILE ORGANIC CONTAMINATES ARE REMOVED BY HIGH VACUUM FRACTIONAL DISTILLATION. SINCE MANY OF OUR PURE PRODUCTS ARE UNSATURATED, THE FINAL PRODUCT IS GENERALLY FLUSHED WITH INERT GAS (i.e., N₂) AND HERMETICALLY SEALED IN GLASS VIALS UNDER VACUUM AND STORED UNDER LOW TEMPERATURE (0°C) CONDITIONS UNTIL READY FOR SHIPMENT.

THESE PRODUCTS ARE PREPARED IN SMALL RESEARCH QUANTITIES FOR THE LIPID ORGANIC SCIENTIFIC COMMUNITY. WHILE THESE MATERIALS MAY BE TOXIC, THEY ARE NOT INTENDED FOR HUMAN CONSUMPTION OR AS A MEDICINAL OR DRUG RELATED USES. OUR PRODUCTS ARE USED IN ANIMAL STUDIES AND AS STANDARDS STRICTLY FOR RESEARCH.

WE CERTIFY THAT THIS LOT CONFORMS TO THE PRODUCT SPECIFICATIONS AND HAS BEEN RELEASED FOR SALE.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

FECHA: 18 DE JULIO, 2012

NOMBRE CIENTIFICO: 1,2,3 TRI CIS-9 Octadienol glicerol

Nombre Común: Trioleina

Densidad: 0.90 gm/ml

Cromatografía gas líquido: >99% sobre metilester

Cromatografía capa fina: Muestra solo la mitad de triglicéridos presentes

Formula: $C_{57}H_{104}O_6$

Apariencia: Líquido incoloro a temperatura ambiente.

Lote: T-235-D19-V

Fuente original del material: Aceite de girasol.

Peso de la fórmula: 885.50

CAS # 122-32-7

La fecha de expiración de los estándares recibidos de NU-CHEK-PRERP es de 3 a 6 meses desde que el vial se abre si está bajo buenas condiciones de almacenamiento. Es ilimitado si el vial no se abre.

Las buenas condiciones de almacenamiento para un vial que ya está abierto, es mantenerlo a 0 grados centígrados o más frío y lavarlo con un gas inerte como nitrógeno o argón. Esto se hace para deshacerse del oxígeno el cual puede causar oxidación. Para un vial sin abrir debería de mantenerse a cero grados centígrados.

La fecha de expiración empieza desde el día que el comprador lo recibe. Nuestros compuestos insaturados son insertados en nuestros viales por volumen y no por peso, se hacen lavados con nitrógeno y son sellados al vacío. Cada vial contiene al menos la mínima cantidad especificada en el rotulado.

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

Este compuesto puede ser perjudicial si se ingiere, inhala o se absorbe en la piel. Puede causar irritación en los ojos, puede ser irritable a las membranas mucosas y el tracto

respiratorio superior. Para nuestros conocimientos, las propiedades toxicológicas no han sido investigadas por completo. La contaminación de los ojos o la piel debe ser tratada lavando con grandes cantidades de agua. Todos los compuestos que se adquieren en NU-CHEK-PREP son altamente lípidos altamente purificados que han sido aislados o sintetizados de varios aceites vegetales. Como última medida de precaución, todos los contaminantes de residuos orgánicos volátiles son removidos por una destilación fraccionada de alto vacío.

Como muchos de nuestros productos son insaturados, el producto final es generalmente lavado con gas inerte (N_2) y sellado herméticamente en viales de vidrio bajo vacío y almacenados a una baja temperatura ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Estas son las condiciones usuales hasta que es vendido. Estos productos son preparados en cantidades pequeñas para la comunidad científica de los lípidos orgánicos. Mientras que estos materiales pueda que sean tóxicos, no son adecuados para el consumo humano ni tiene usos medicinales. Nuestros productos se utilizan en estudios con animales. Certificamos que este lote se ajusta a las especificaciones requeridas del producto y que ha sido lanzado para su venta.

ANEXO N° 4

Garantía de pureza de estándares positivos y negativos y traducción al español.

PURITY GUARANTEE

NU-CHEK GENERALLY PREPARES CHROMATOGRAPHICALLY PURE COMPOUNDS LISTED IN OUR CATALOG AS HAVING A PURITY GREATER THAN 99%+. VARYING DEGREES OF PURITY (I.E. RELATIVELY PURE GREATER THAN 90%) ARE SO LISTED. COMPOUNDS OF LESSER DEGREE PURITY CAN ALSO BE OBTAINED BY SPECIAL REQUEST.

ALL PRODUCTS MADE AVAILABLE UNDER OUR LABEL ARE GUARANTEED TO MEET THE MINIMUM SPECIFICATIONS DESIGNATED AT THE TIME OF SALE. AGE OR CONDITION OF STORAGE MAY ALTER CHEMICAL PROPERTIES FOR WHICH CHANGE WE CANNOT BE HELD LIABLE.

IF AT THE TIME OF SALE ANY OF OUR PREPARATIONS ARE FOUND TO BE INFERIOR OR OF A DEGREE PURITY LESS THAN SPECIFIED, NU-CHEK WILL SUPPLY YOU (FREE OF CHARGE) AN ADEQUATE REPLACEMENT, OR AT OUR OPTION, REFUND YOUR PURCHASE PRICE. ALL CLAIMS MUST BE MADE WITHIN 60 DAYS OF INVOICE DATE. (ANTIOXIDANTS TEND TO ALTER NORMAL COMPOUND FUNCTIONS AND ARE NEVER ADDED UNLESS REQUESTED SPECIFICALLY.)

OUR UNSATURATED COMPOUNDS ARE INSERTED IN VIALS BY VOLUME AND NOT WEIGHT-FLUSHED WITH NITROGEN SEVERAL TIMES AND SEALED UNDER HIGH VACUUM. EACH VIAL CONTAINS AT LEAST THE MINIMUM AMOUNT SPECIFIED ON THE LABEL. EXACT WEIGHTS MAY BE OBTAINED IF DESIRED WITH A \$3.00 RESEAL CHARGE PER VIAL.

TRADUCCIÓN

NU-CHEK Generalmente prepara compuestos cromatográficamente puros, enlistados en nuestros catálogos, para tener una pureza mayor a 99 %, variando los grados de pureza (relativamente más puros que un 90%).

También se pueden obtener compuestos de menor grado de pureza por petición especial. Todos los productos hechos disponibles bajo nuestro etiquetado están garantizados para reunir el mínimo de especificaciones designadas al momento de su venta. Las propiedades químicas se pueden alterar por el tiempo o por las condiciones de almacenamiento por lo cual no nos hacemos responsables.

Si al momento de la venta, alguna de nuestras preparaciones son encontradas con un grado menor de pureza que el identificado, UN-CHEK suplirá (libre de cargos) un reemplazo adecuado o reembolsar el precio de venta. Todos los reclamos deben ser hechos dentro de los próximos 60 días a partir de la fecha de facturación (los

antioxidantes tienden a alterar las funciones normales de los componentes y nunca son agregados a menos de que se halla requerido específicamente)

Nuestros componentes instaurados son insertados en viales por volumen y no por peso con Nitrógeno varias veces y sellado al vacío. Cada vial contiene al menos el mínimo de cantidad especificada en la etiqueta. El peso exacto debe ser obtenido si se desea con un cargo extra de 3 dólares por vial.

ANEXO N° 5
Fotografías del proceso experimental



Fig. 28. Aparato de Espectrofotetría Infrarroja de transformada de Fourier, con el ordenador que contiene el programa IR-RESOLUTION, en el laboratorio Físicoquímico de Aguas



Fig. 29. Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformada de Fourier

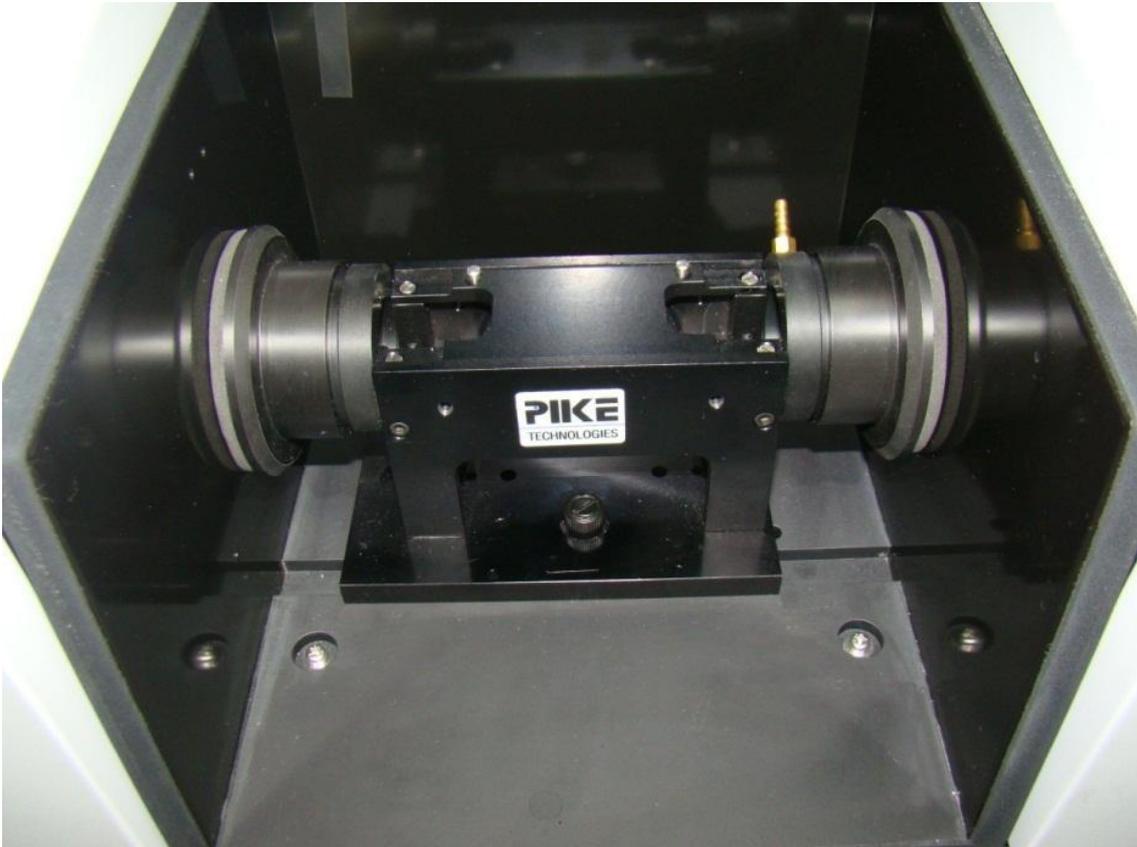


Fig. 30. Soporte de celdas del Espectrofotómetro Infrarrojo de transformada de Fourier.



Fig. 31. Celda de Reflectancia Total Atenuada en la que se realizaron los análisis del aceite extraído de muestras de Platanitos, Yuquitas, Estrellas, Churros Españoles, y Papas fritas.



Fig. 32. Muestras de Platanitos, Yuquitas, Estrellas, Churros Españoles, y Papas fritas analizadas en el Espectrofotómetro Infrarrojo.



Fig. 33. Baño de María, Precitherm PFV, utilizado para fundir las muestras y mantenerlas a una temperatura de $60 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



Fig. 34. Controlador de temperatura de baño de María.

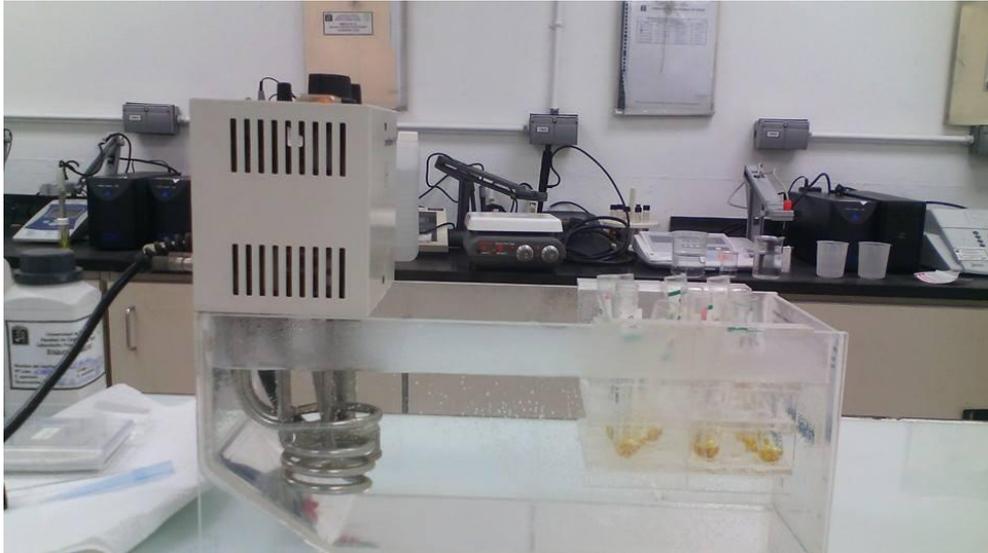


Fig. 35. Tratamiento de muestras en el baño de María Precitherm PFV



Fig. 36. Estándares positivo y negativos (Trielaidina y Trioleina)

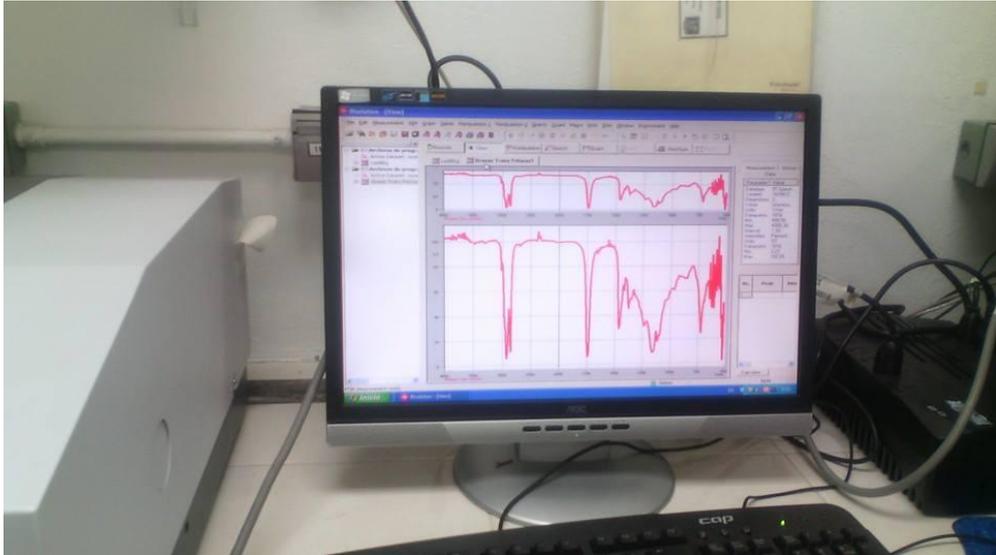


Fig. 37. Obtención de espectros infrarrojos por medio de un programa llamado IR-RESOLUTION

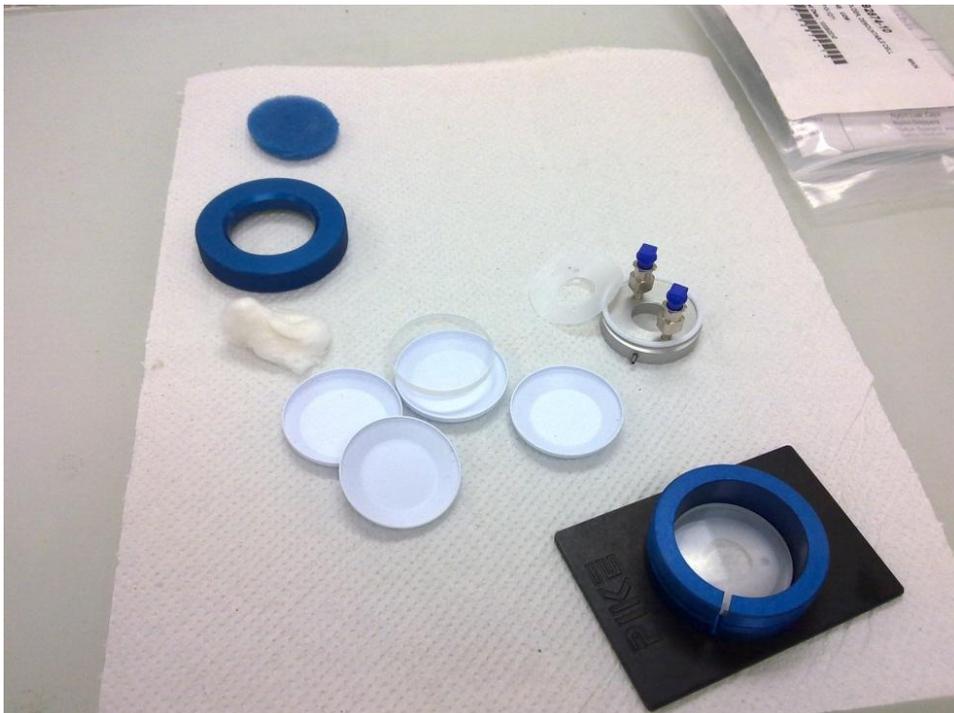


Fig. 38. Celda de Bromuro de Potasio para análisis de los estándares Positivo y negativo de presencia de grasas trans.



Fig. 39. Analistas trabajando en el Laboratorio Físicoquímico de Aguas De la Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

ANEXO N° 6

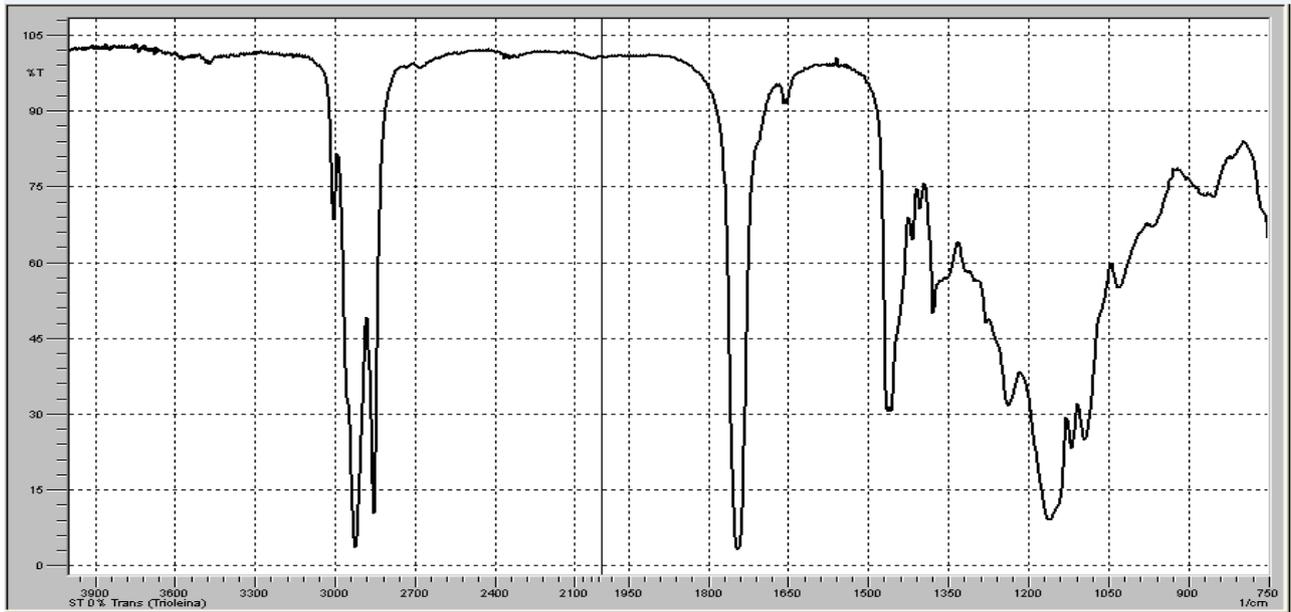
Espectros de las cinco muestras de harinas fritas

CURVA DE CALIBRACIÓN

La curva de calibración se trabajó con las siguientes concentraciones de estándar:

Espectro de Trioleína estándar negativo.

(a)



(b)

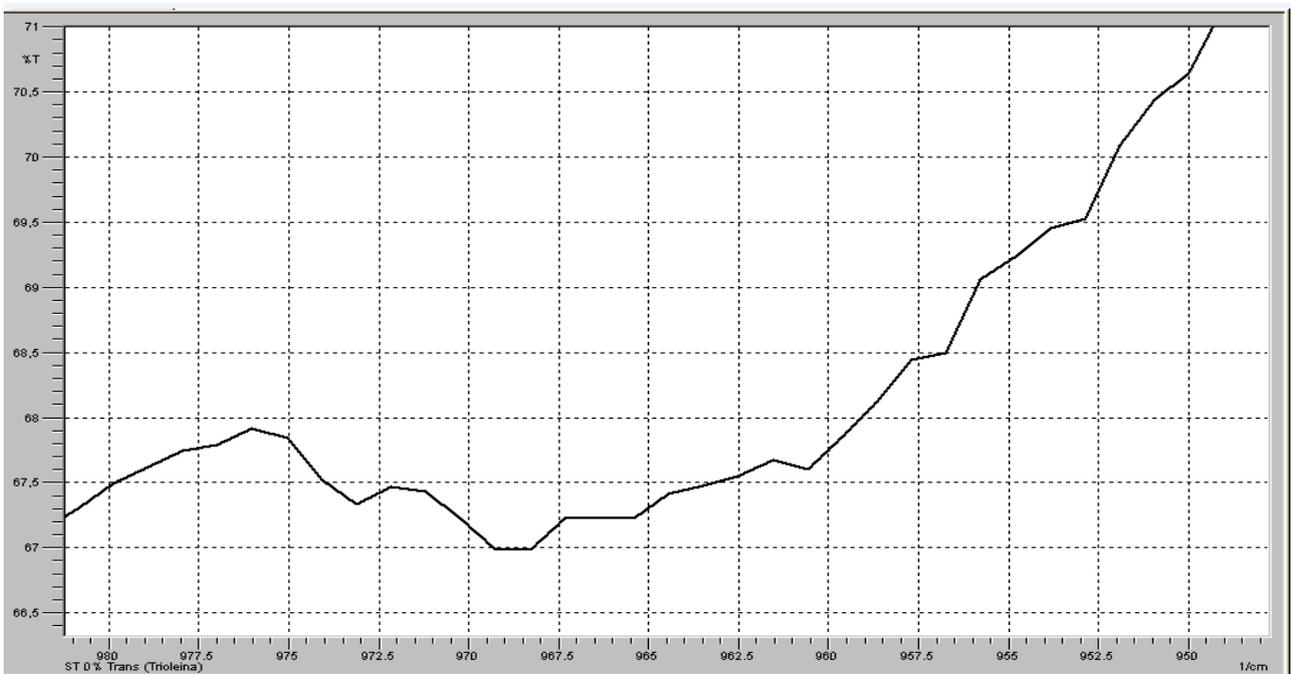
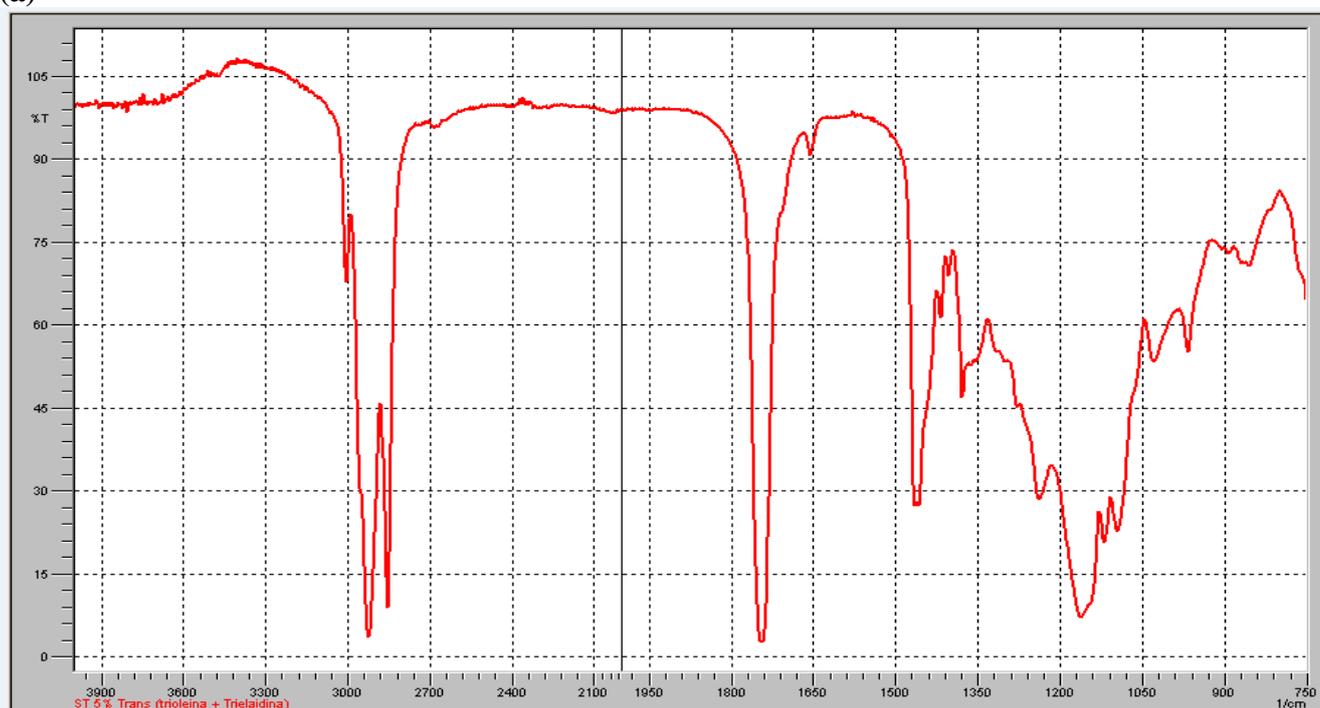


Fig. 40. (a) Espectro IR obtenido de la concentración 0% en grasas trans. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 0% en grasas trans.

Espectro de Trielaidina estándar positivo

(a)



(b)

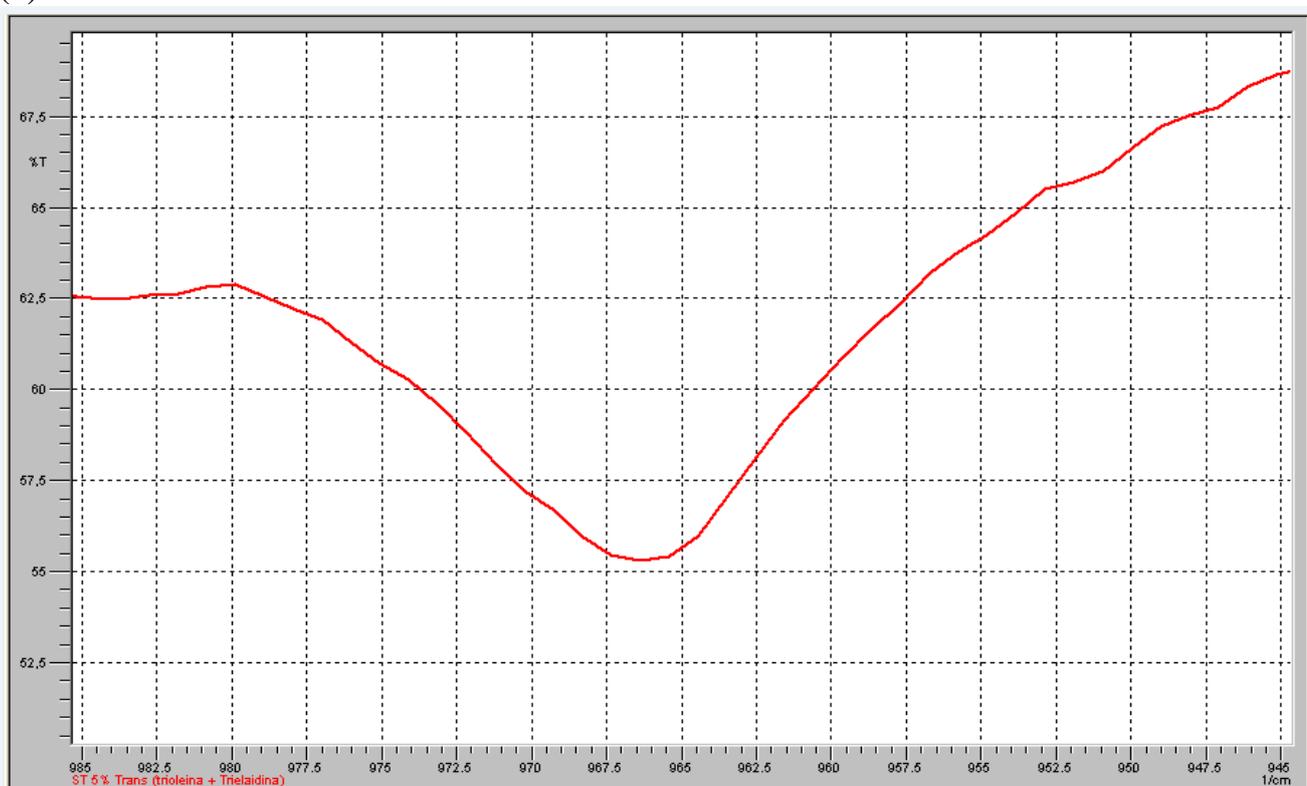
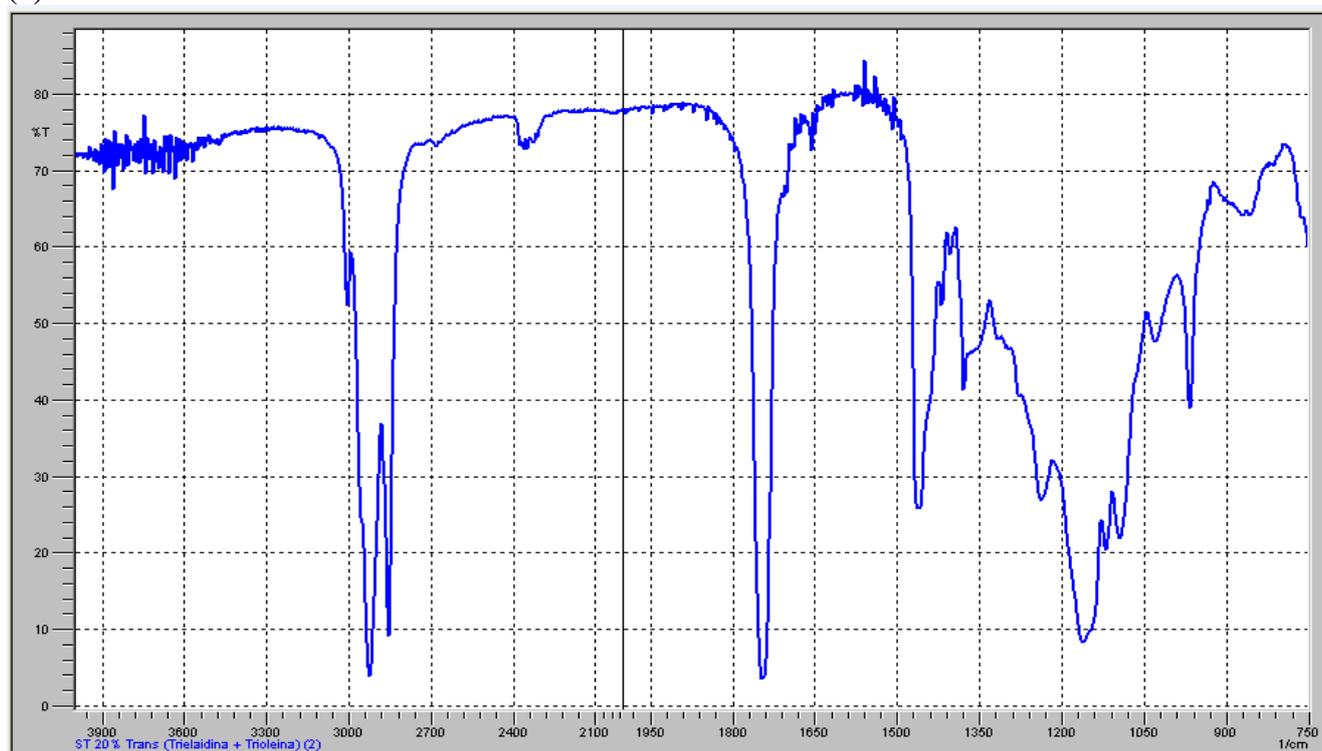


Fig. 41. (a) Espectro IR obtenido de la concentración 5 % en grasas trans. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm⁻¹. (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm⁻¹ de la concentración 5% en grasas trans.

Espectro de Trielaidina estándar positivo

(a)



(b)

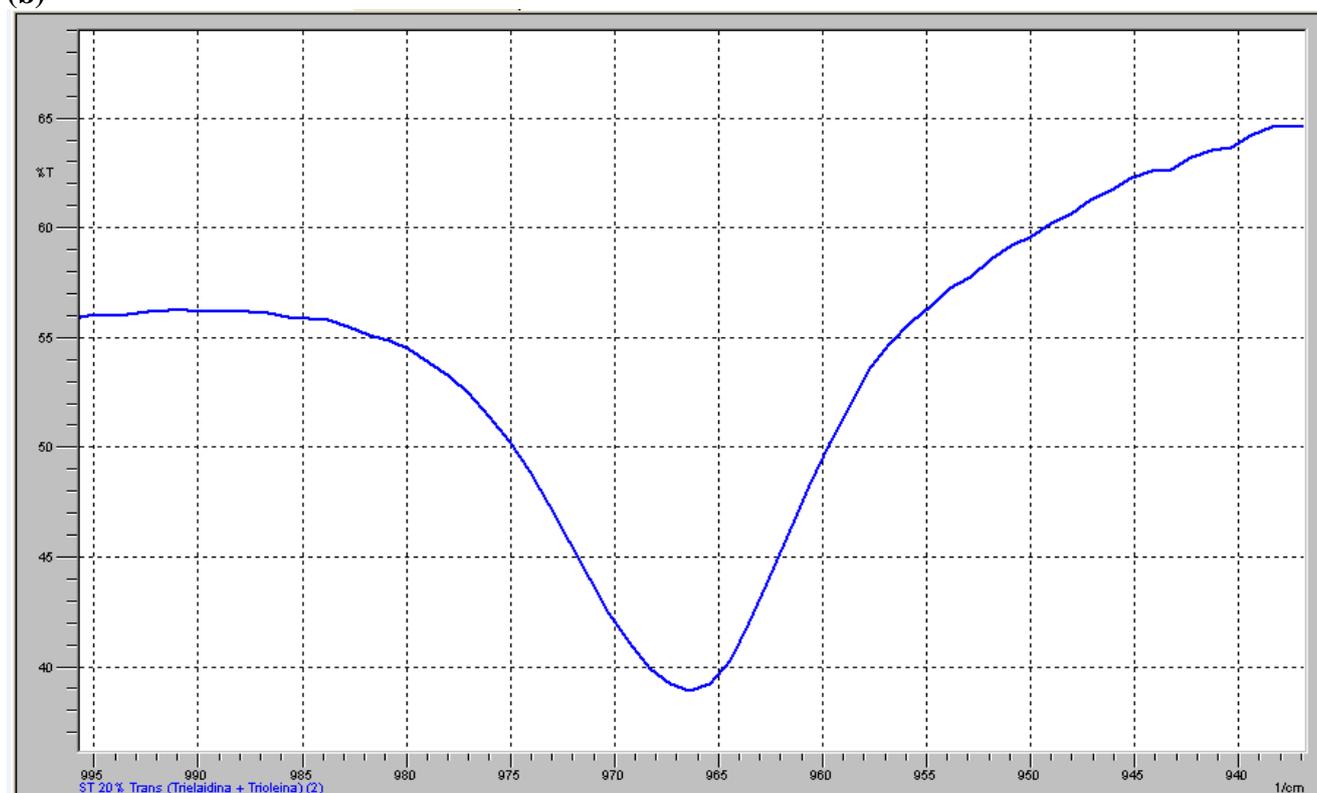
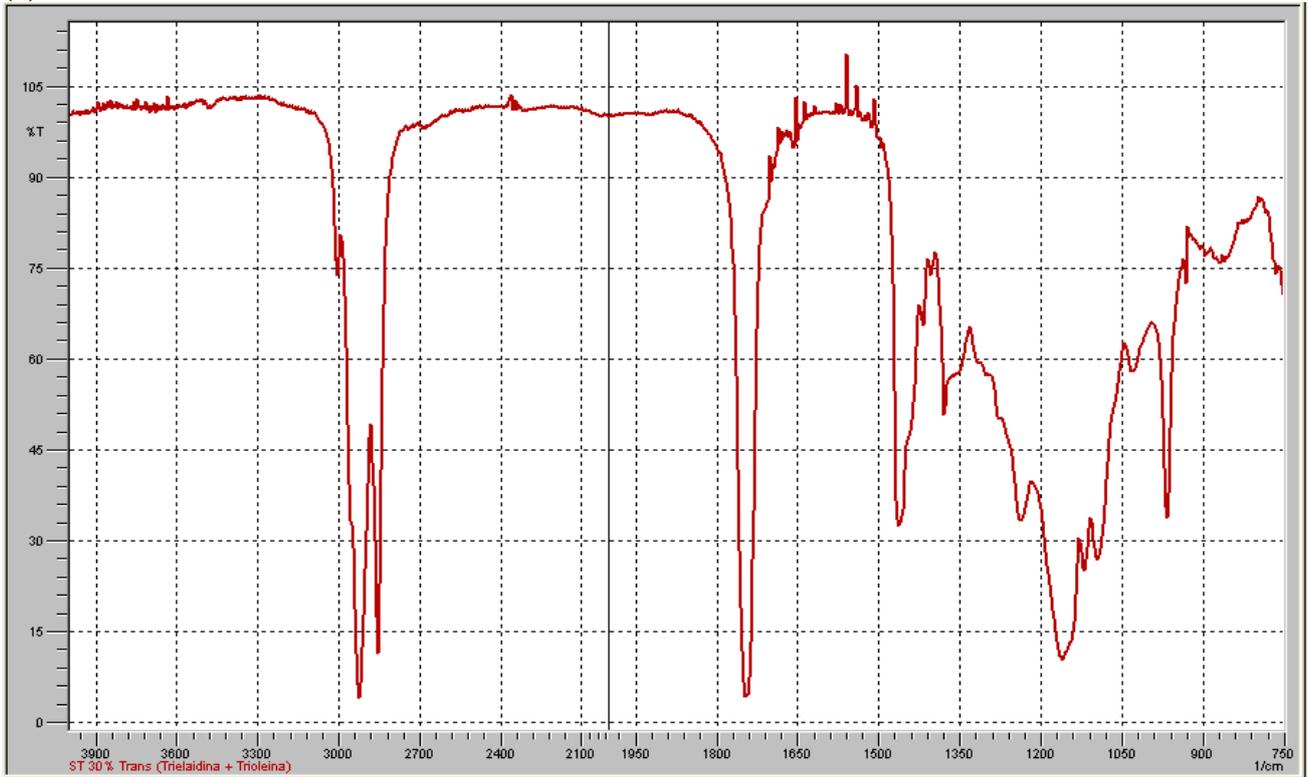


Fig. 42. (a) Espectro IR obtenido de la concentración 20 % en grasas trans. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} .
(b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 20% en grasas trans.

Espectro de Trielaidina estándar positivo al 30 %.

(a)



(b)

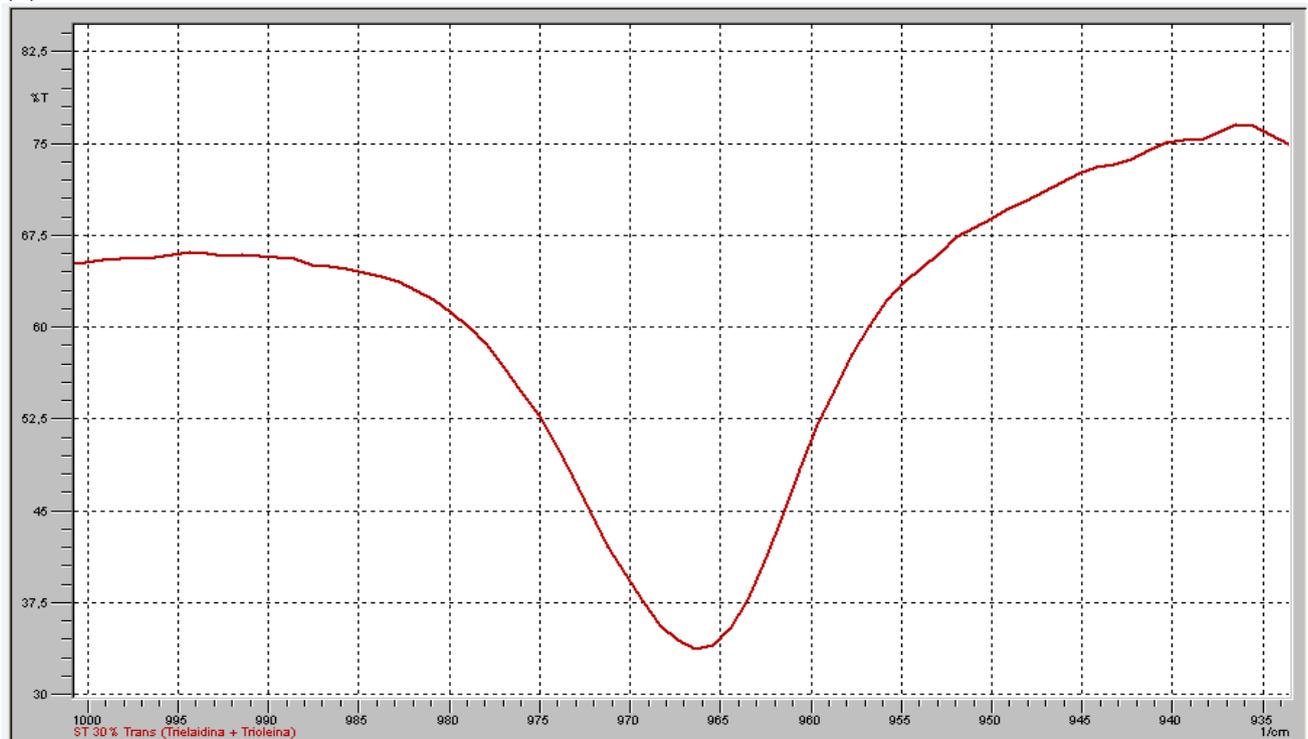
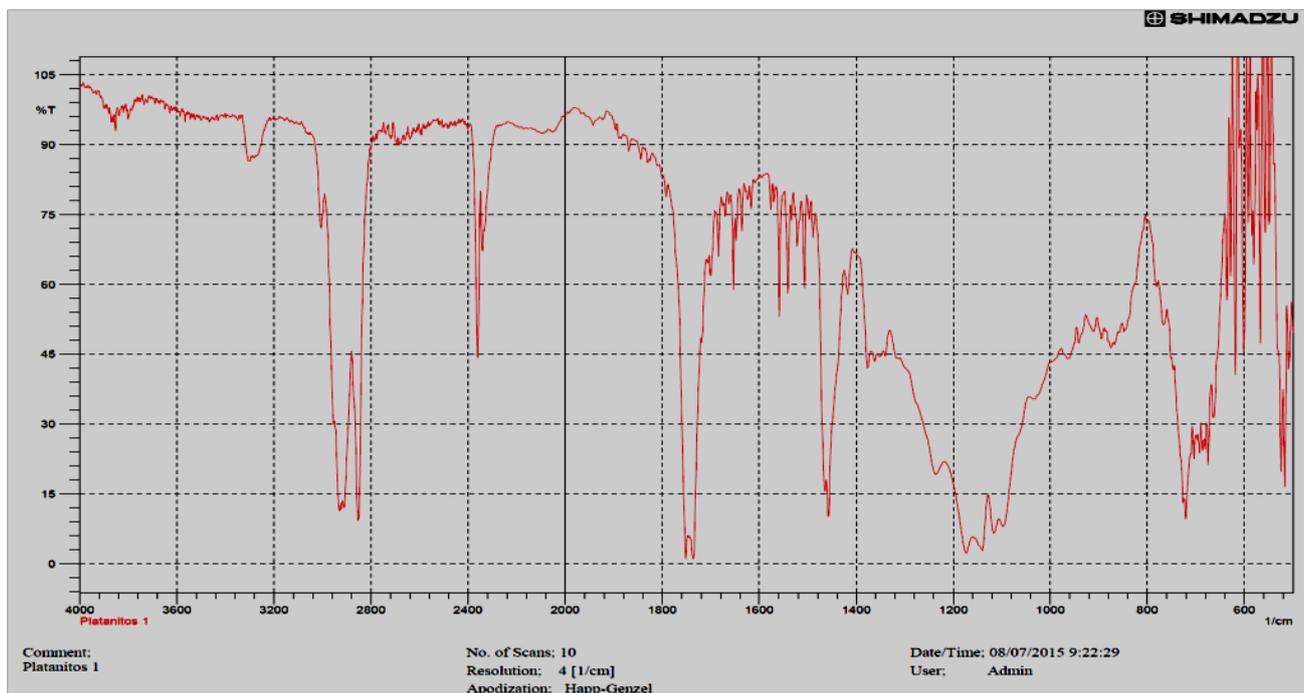


Fig. 43. (a) Espectro IR obtenido de la concentración 30 % en grasas trans. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de la concentración 30% en grasas trans.

MUESTRAS SELECCIONADAS DE PLATANITOS

(a)



(b)

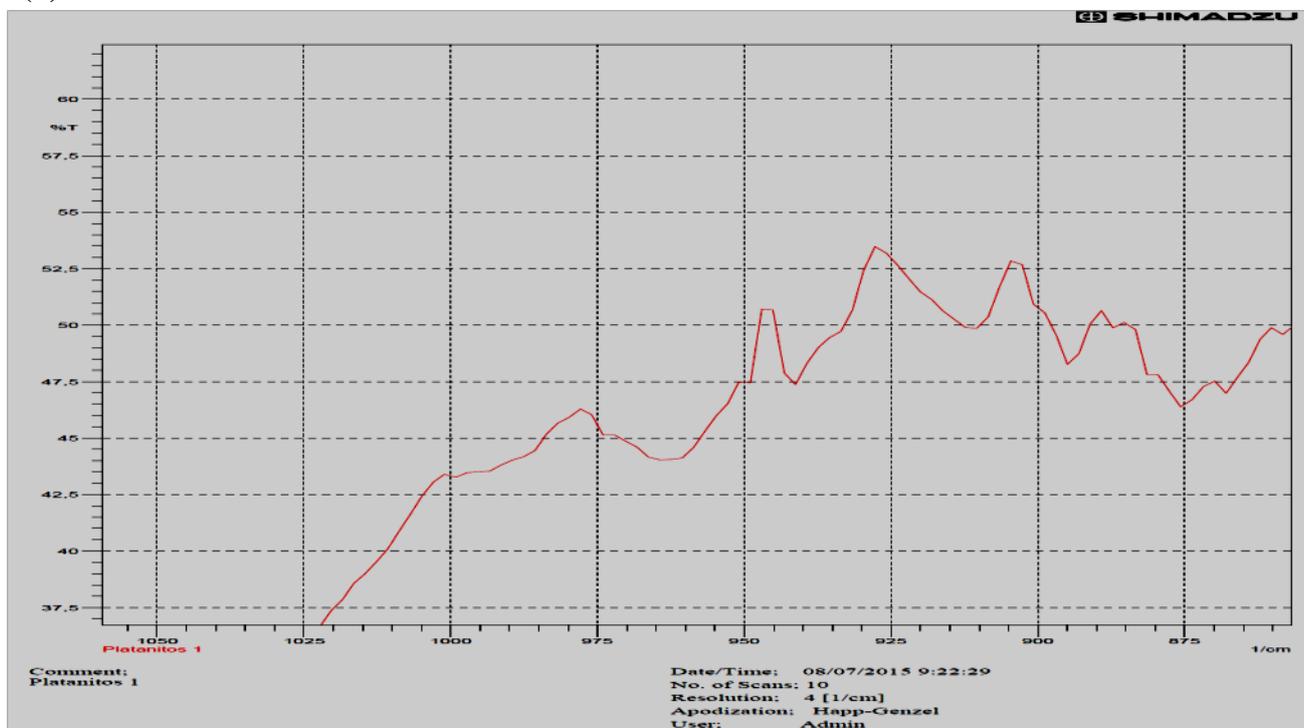
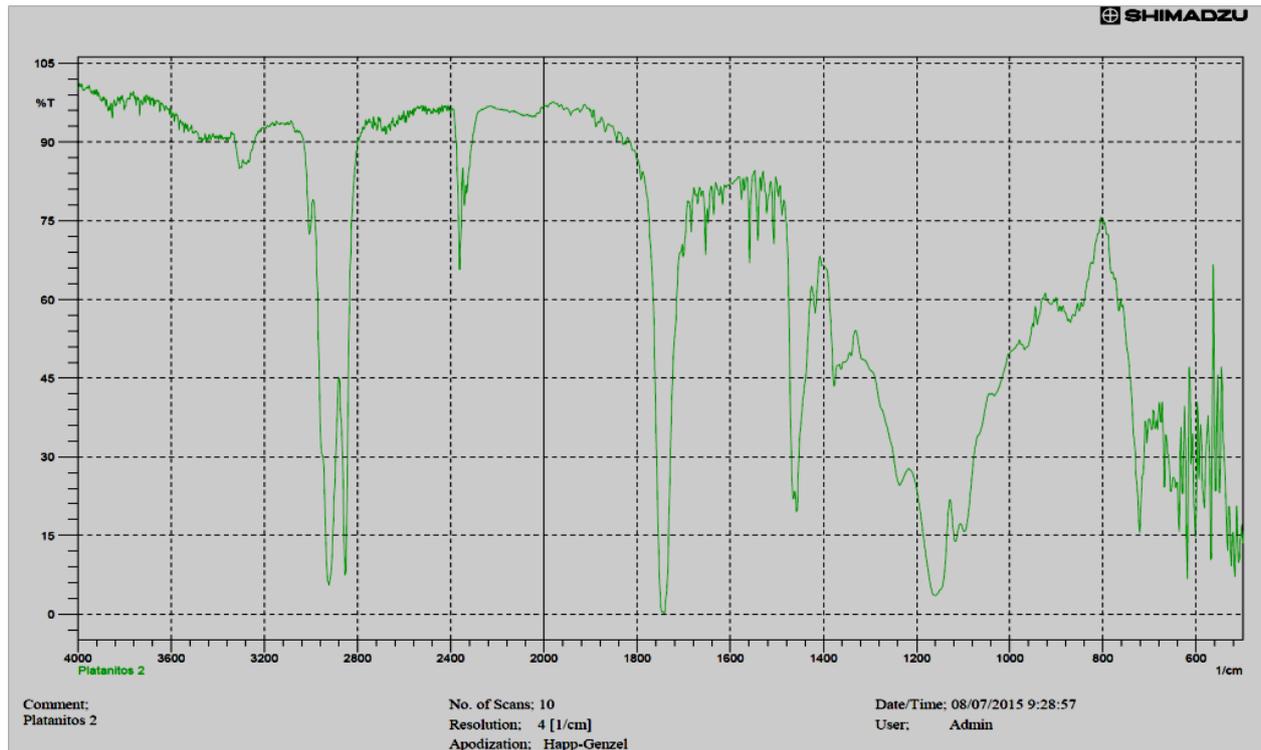


Fig. 44. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de San Jacinto Lote N° 1 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de San Jacinto Lote N°1(muestra 1).

(a)



(b)

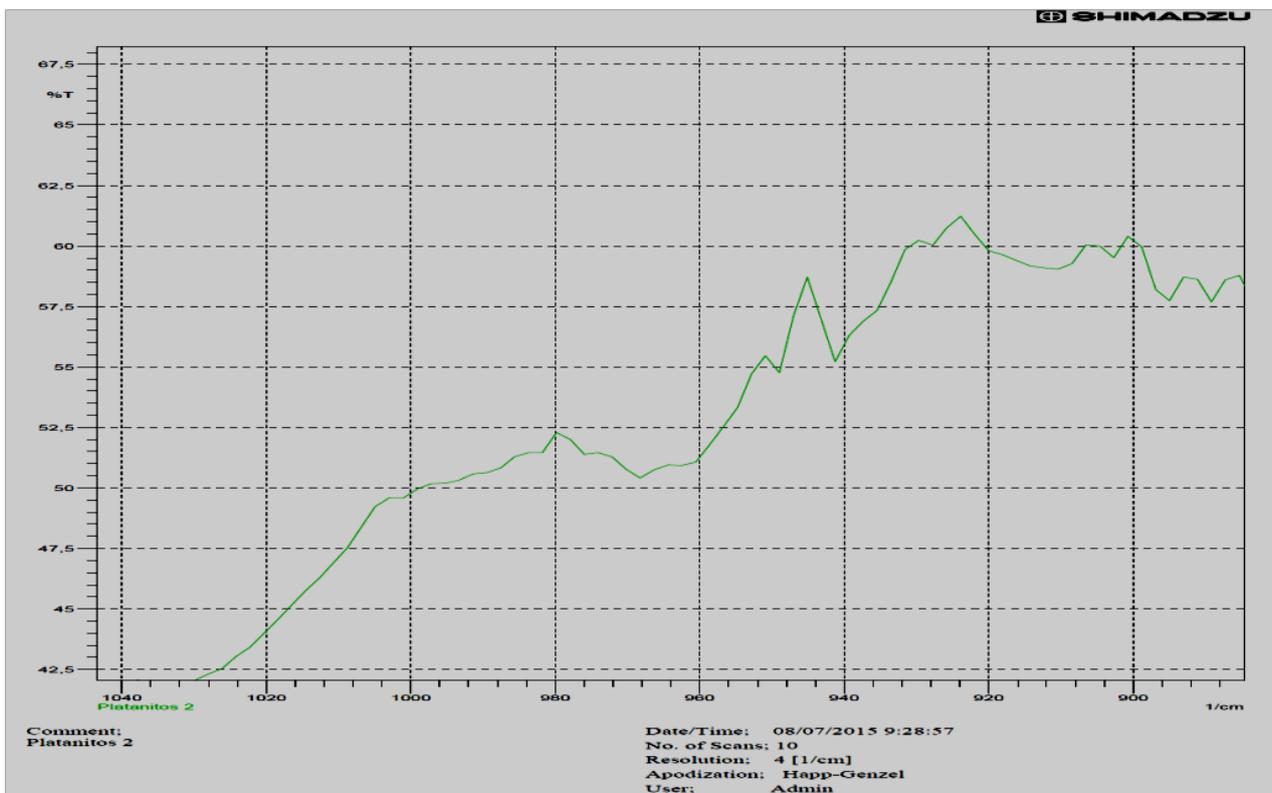
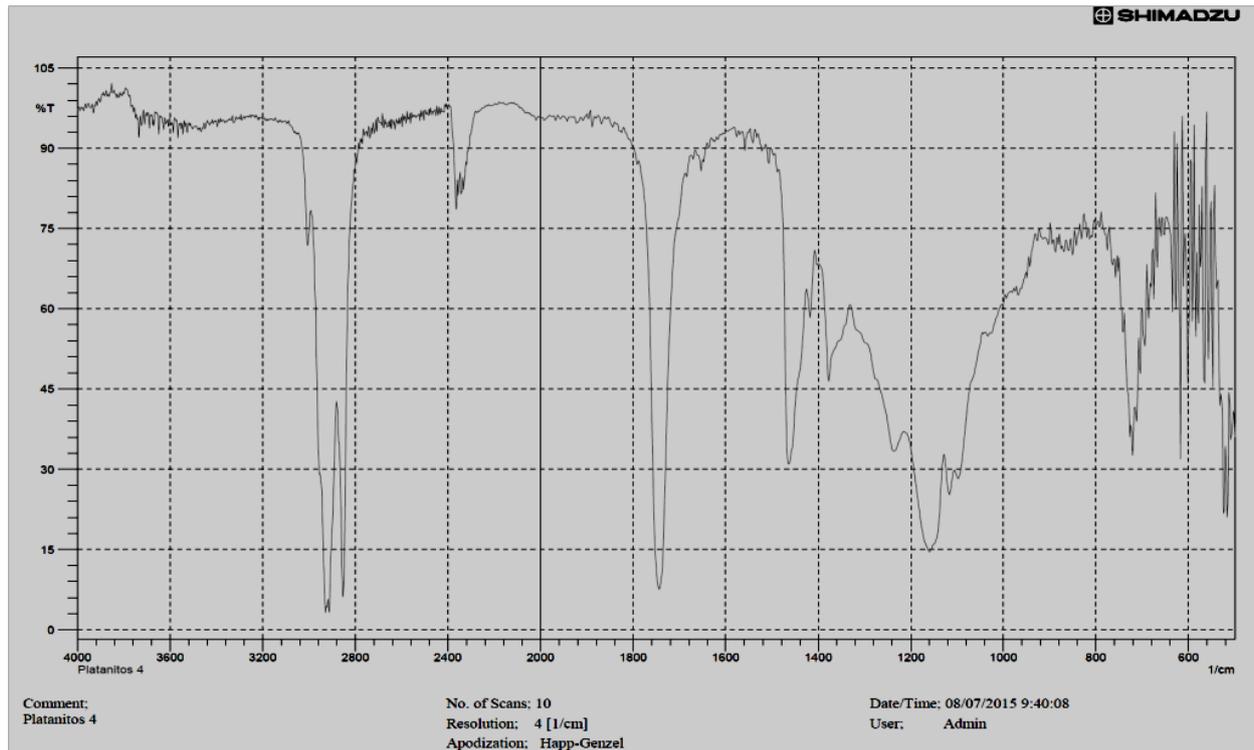


Fig. 45. (a) Espectro IR obtenido de Muestra de Platanito de la zona de Zacamil lote N°1 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de Zacamil lote N°1 (muestra 2).

(a)



(b)

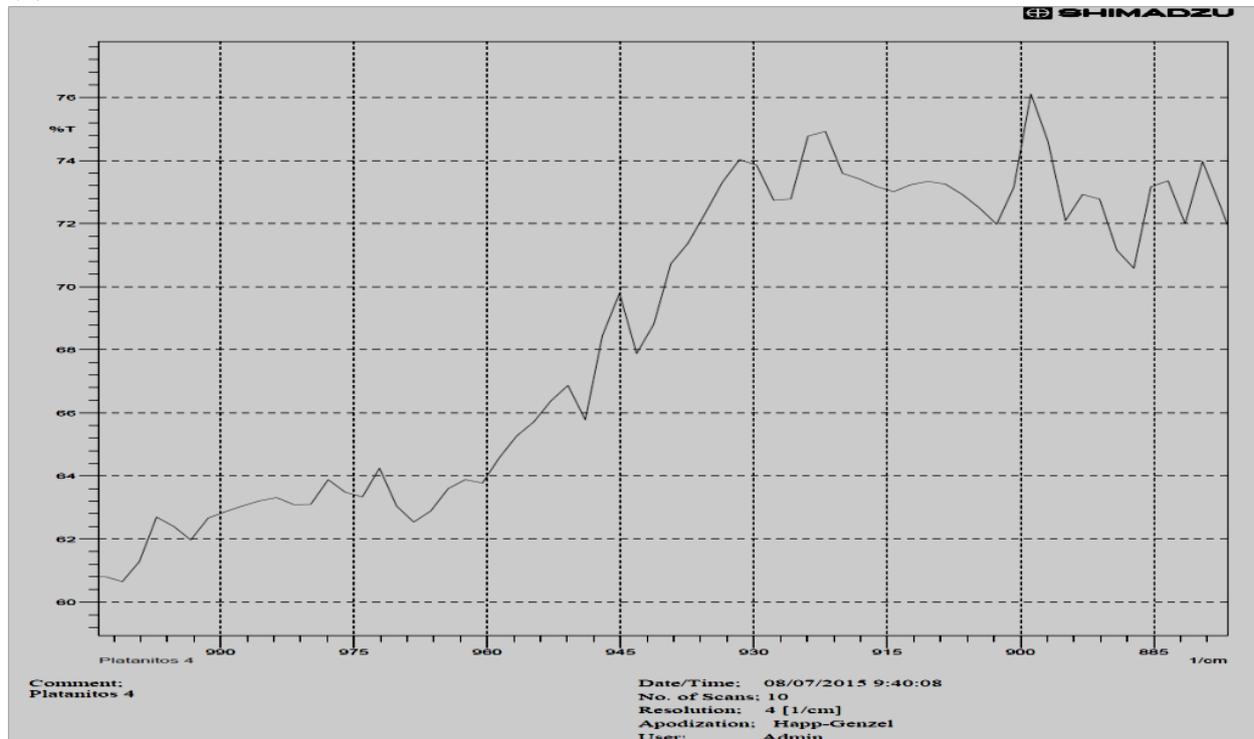
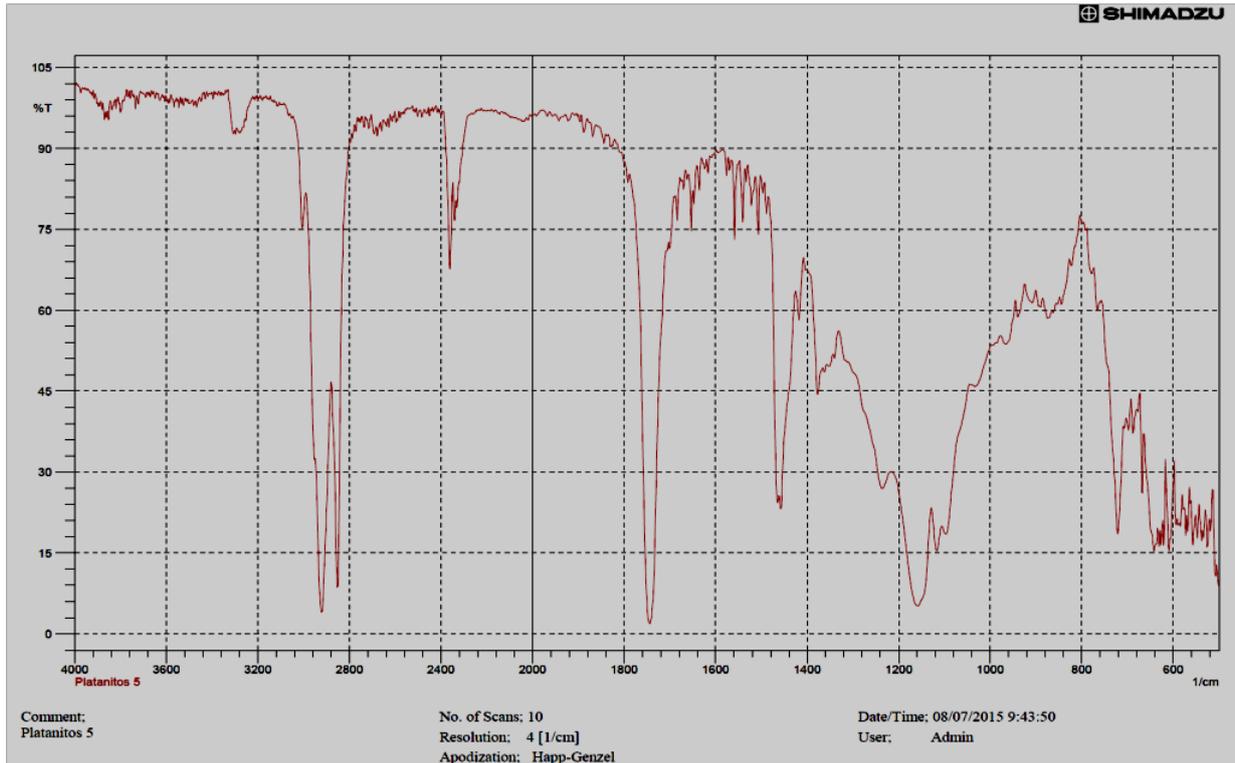


Fig. 46. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de San Jacinto Lote N° 1 (muestra 4). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de San Jacinto lote N° 1 (muestra 4).

(a)



(b)

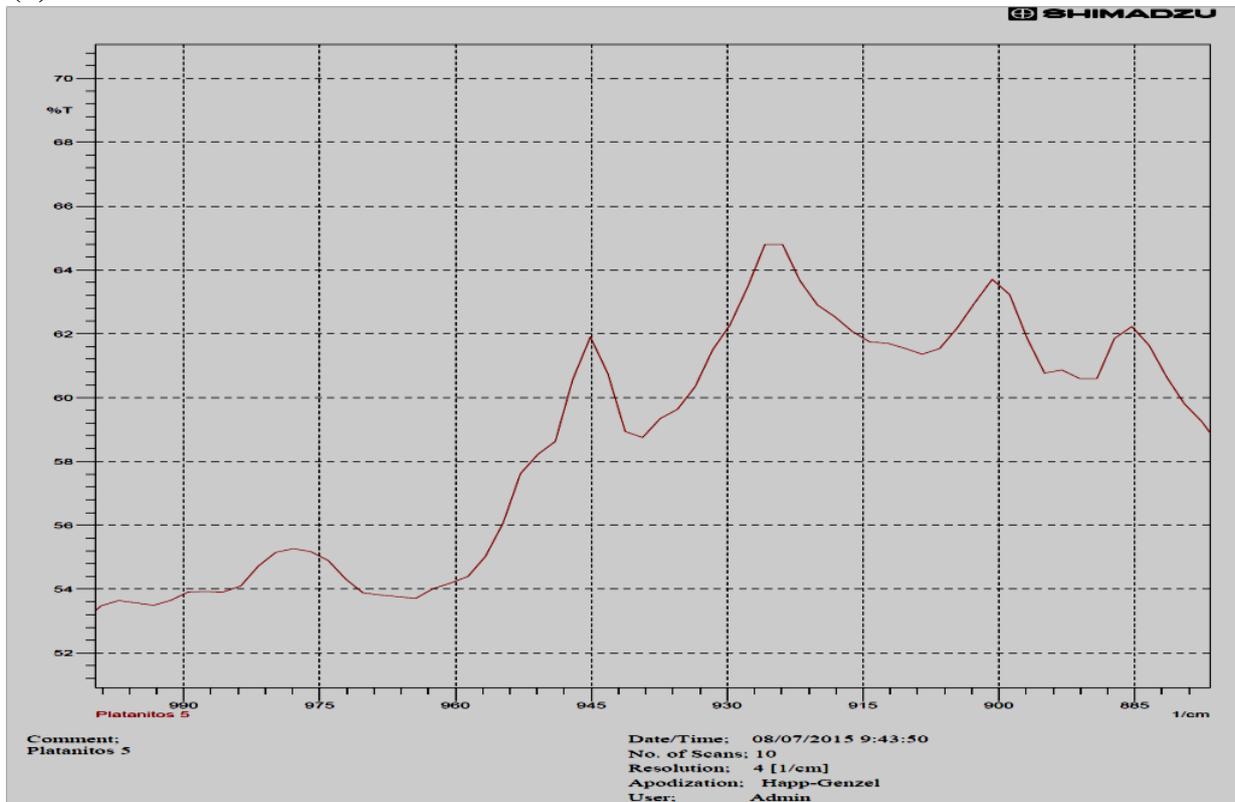
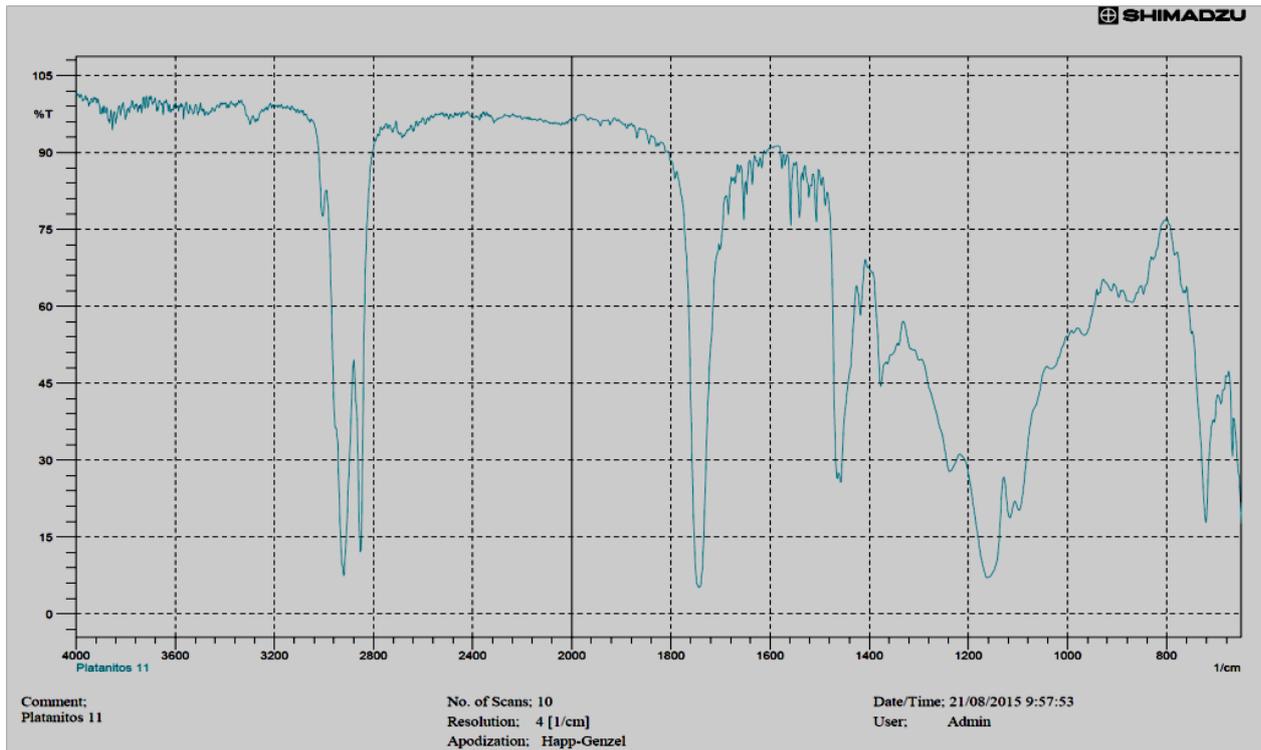


Fig. 47. (a) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de muestra de platanito de la zona de San Jacinto lote N° 1 (muestra 5). (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de San Jacinto lote N° 1 (muestra 5).

(a)



(b)

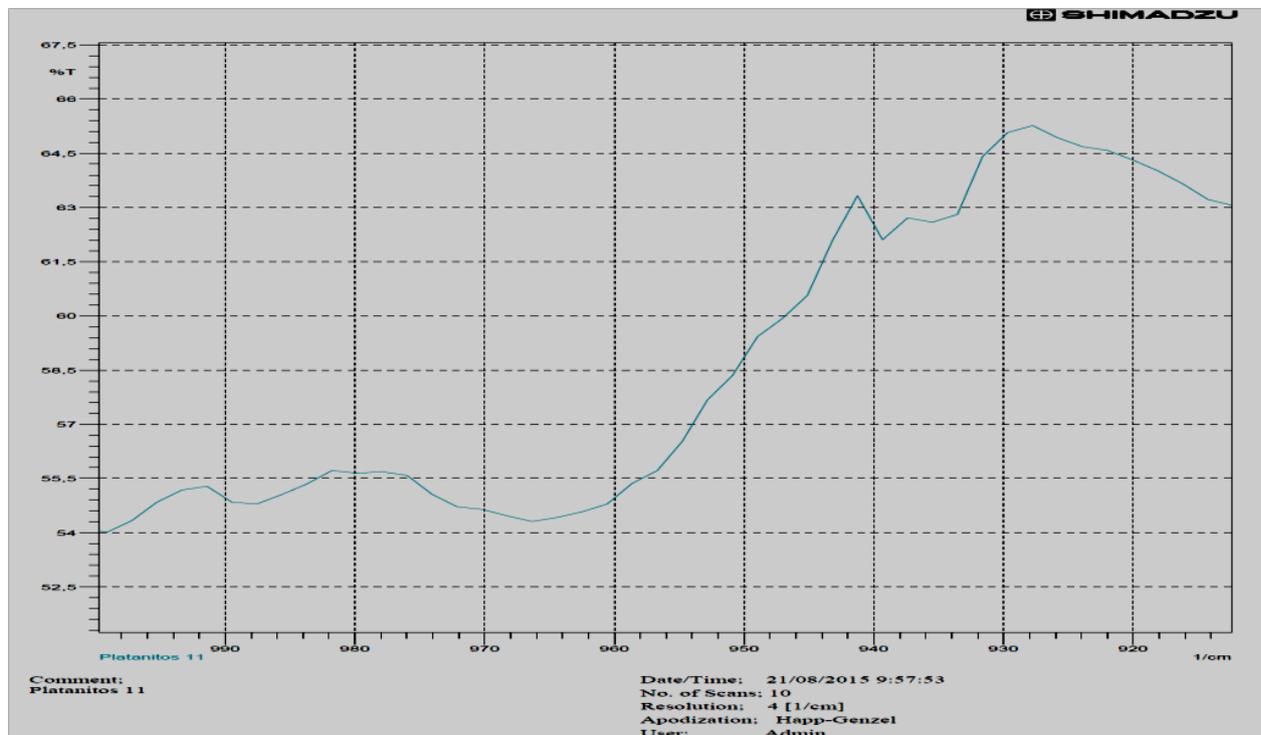
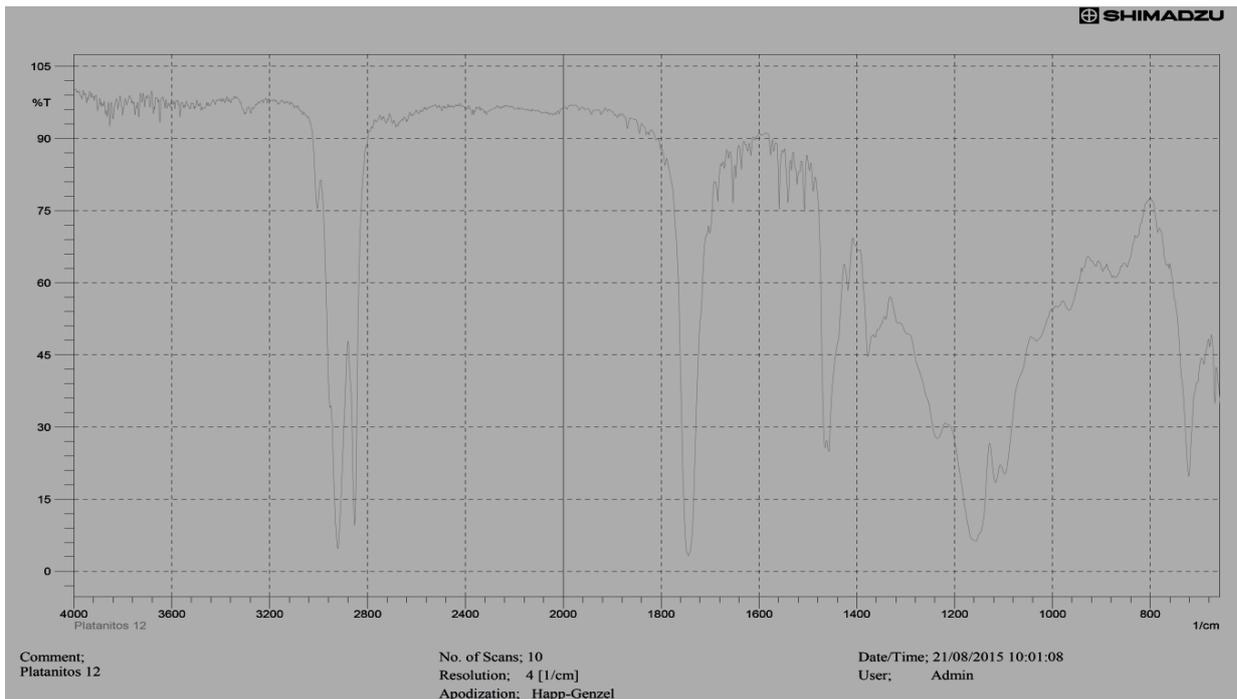


Fig. 48. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 11). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1(muestra 11).

(a)



(b)

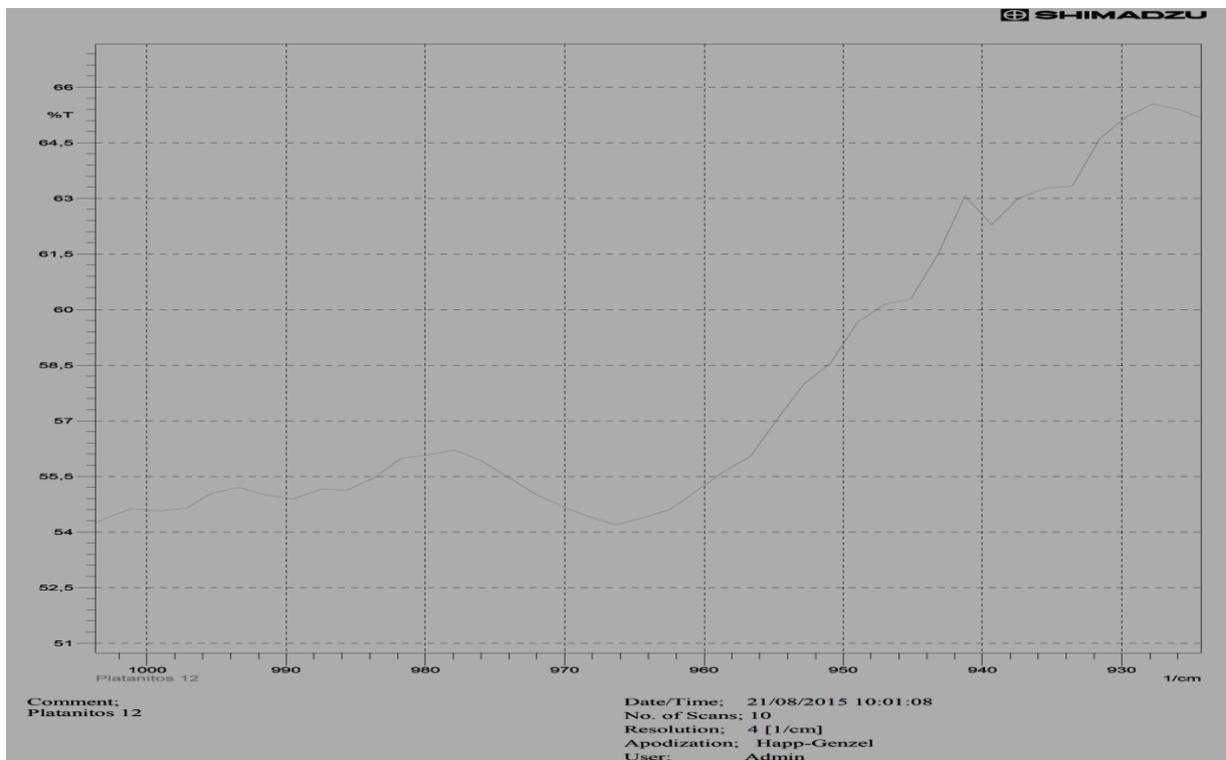
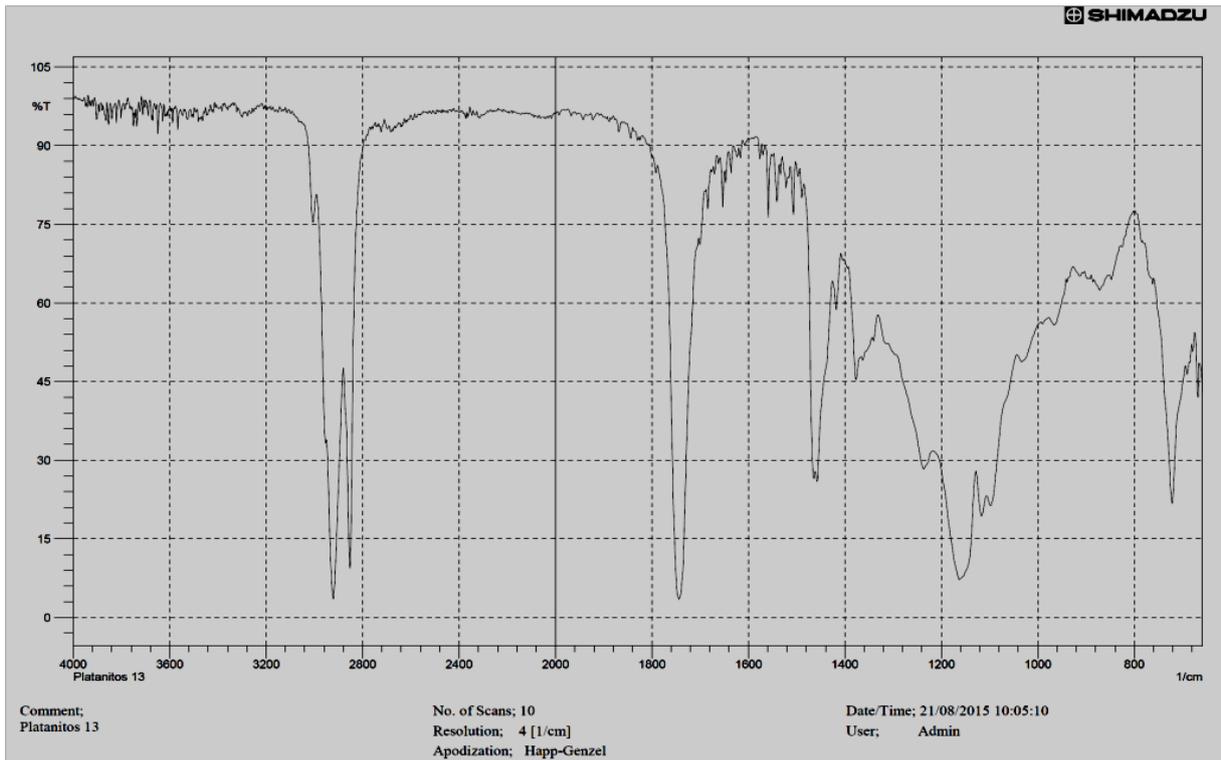


Fig. 49. (a) Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 12). (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1(muestra 12).

(a)



(b)

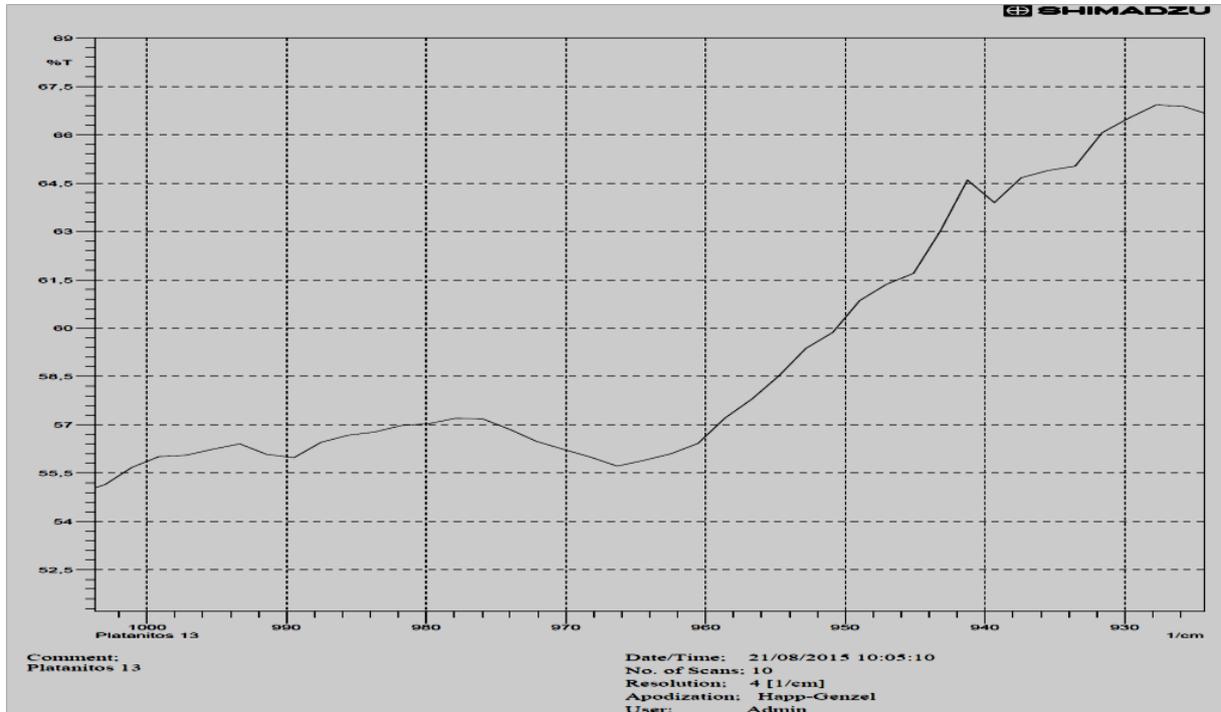
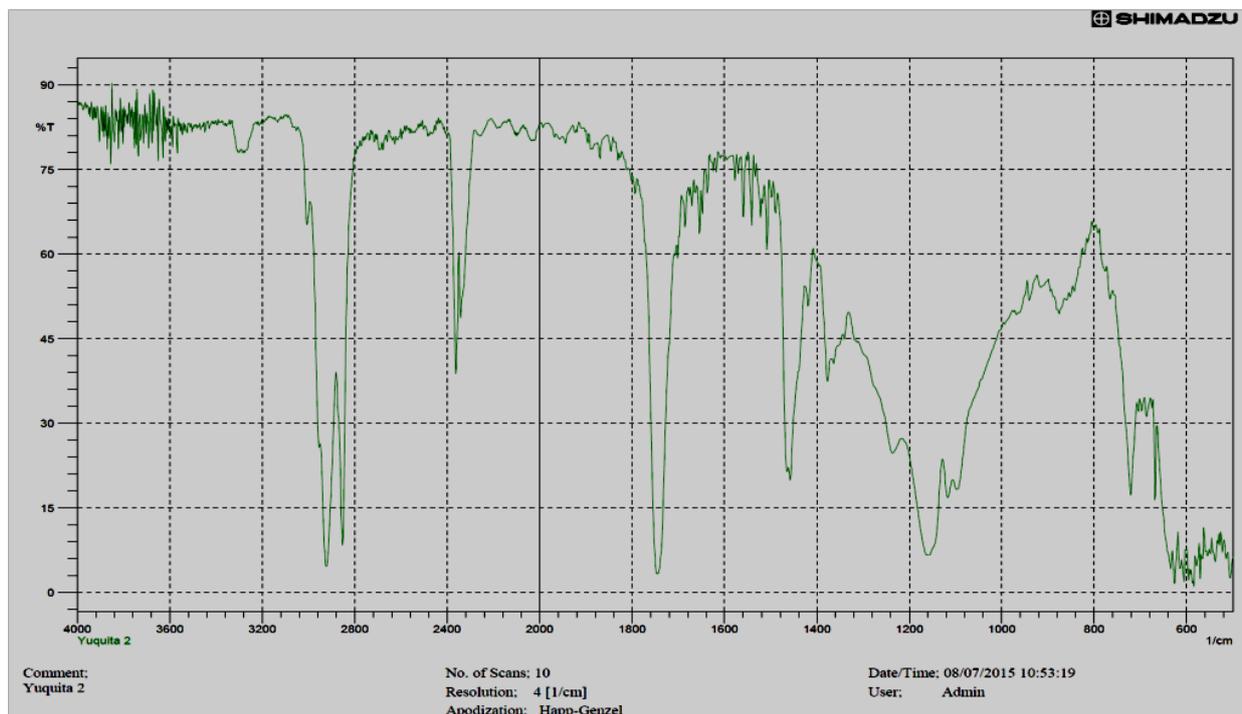


Fig. 50. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 13). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de platanito de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 1 (muestra 13).

MUESTRAS SELECCIONADAS DE YUQUITAS

(a)



(b)

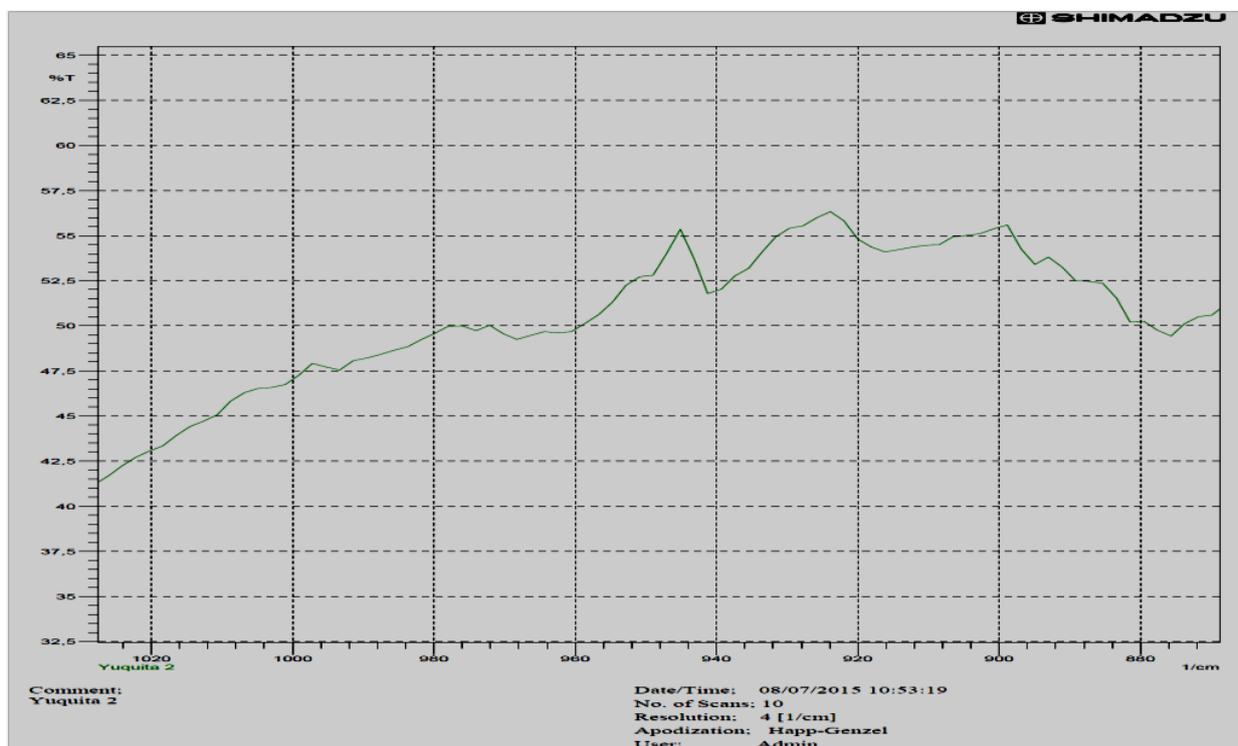
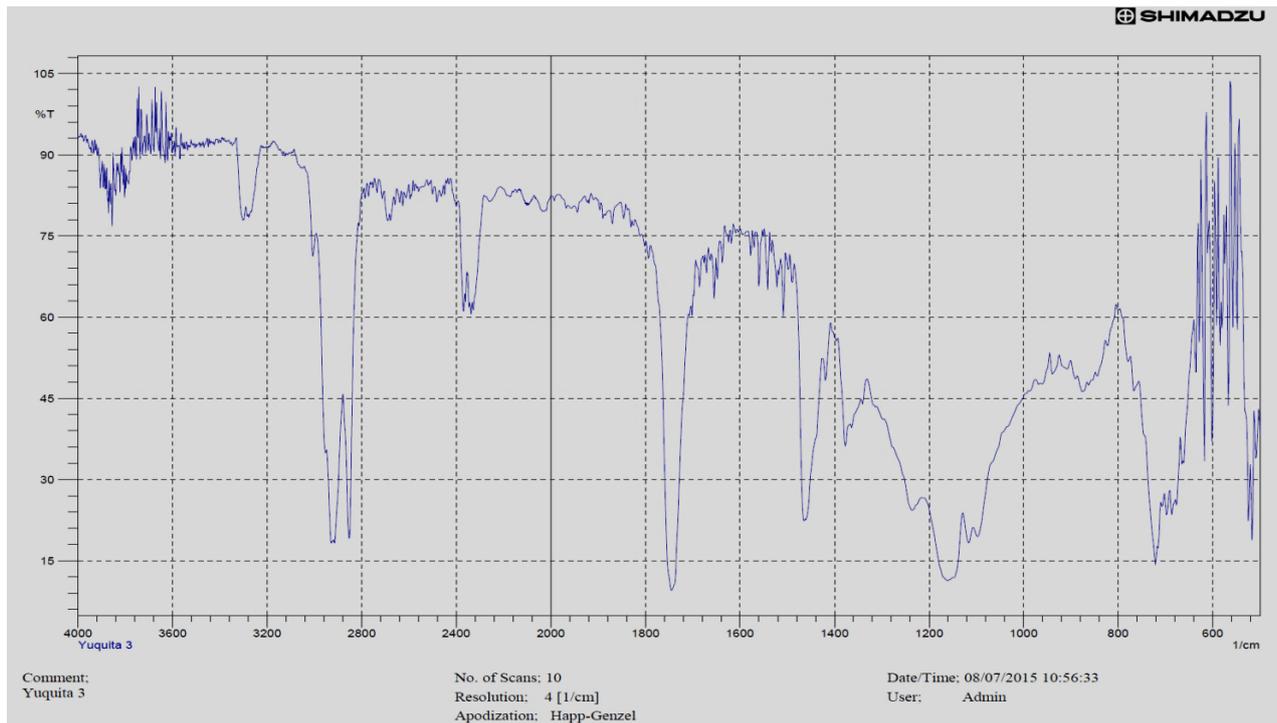


Fig. 51. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de Zacamil Lote N° 2 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de Zacamil lote N° 2 (muestra 2).

(a)



(b)

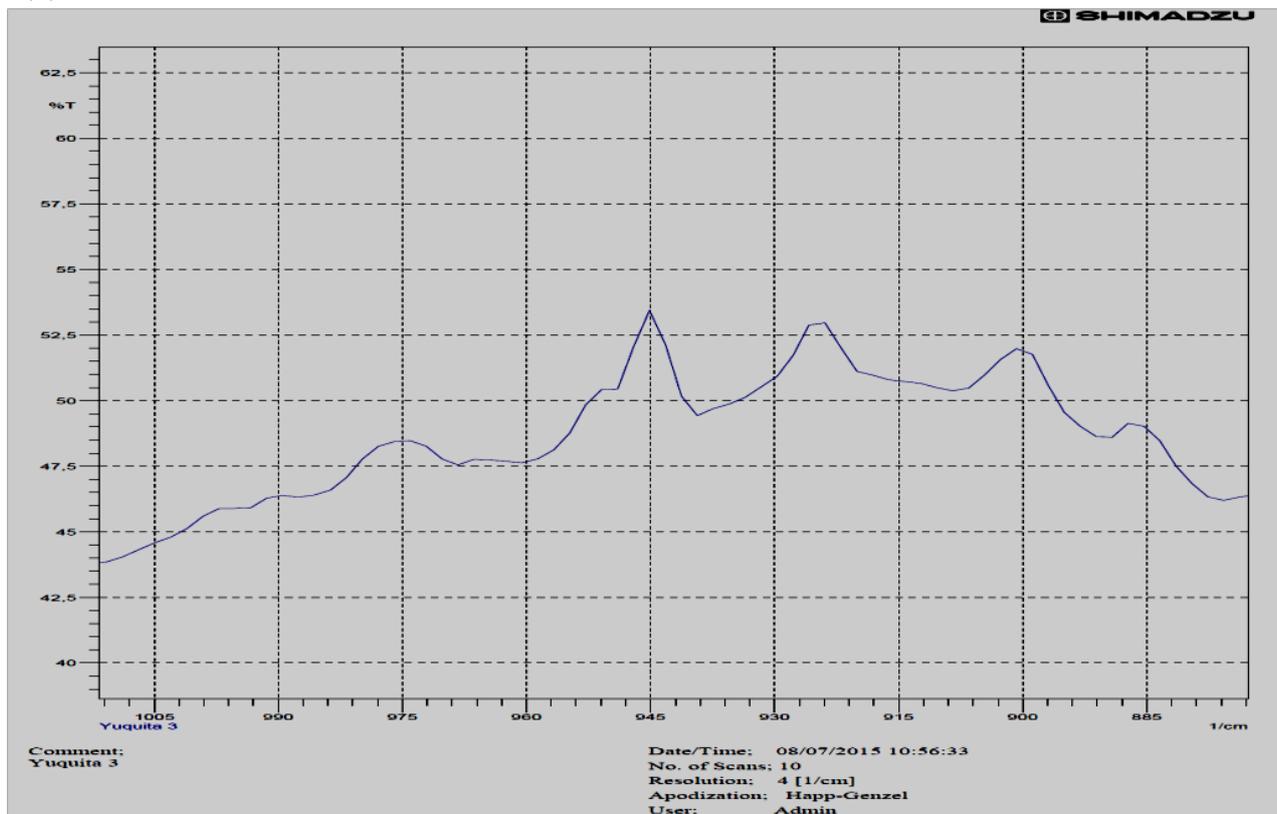
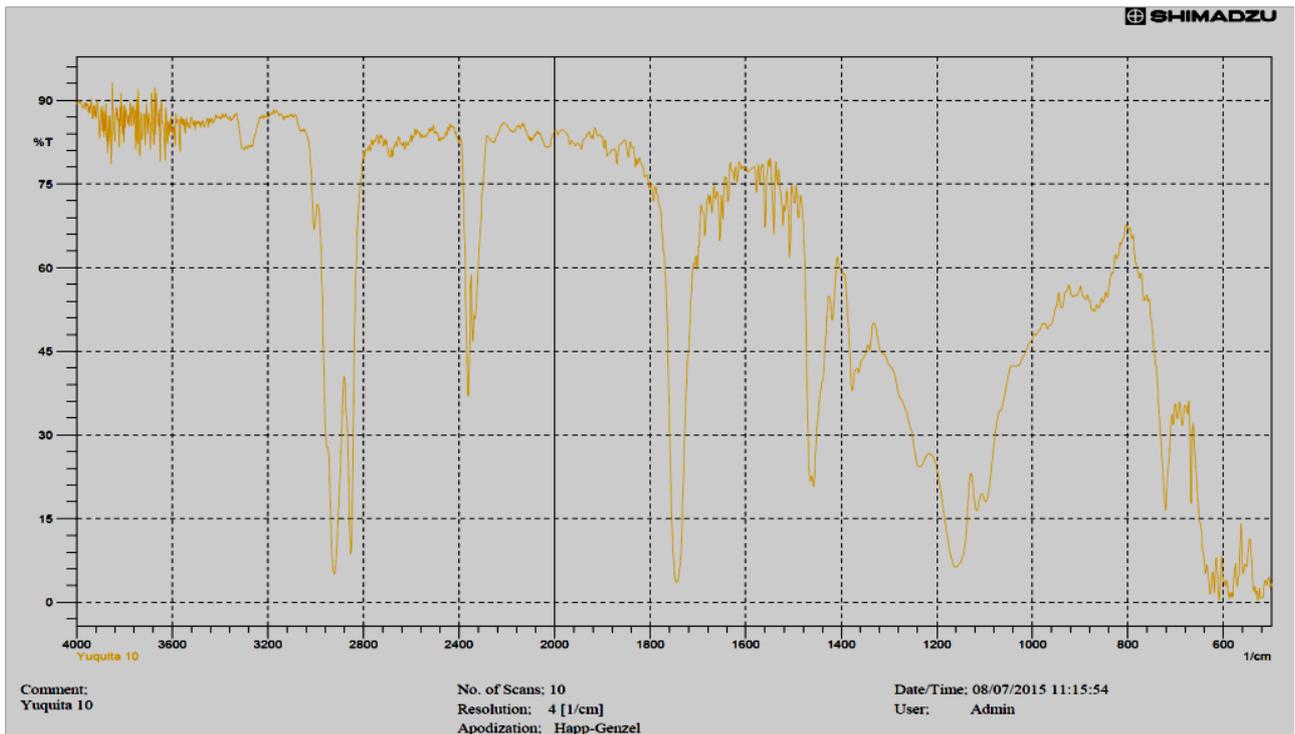


Fig. 52. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES Lote N° 2 (muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES lote N° 2 (muestra 3).

(a)



(b)

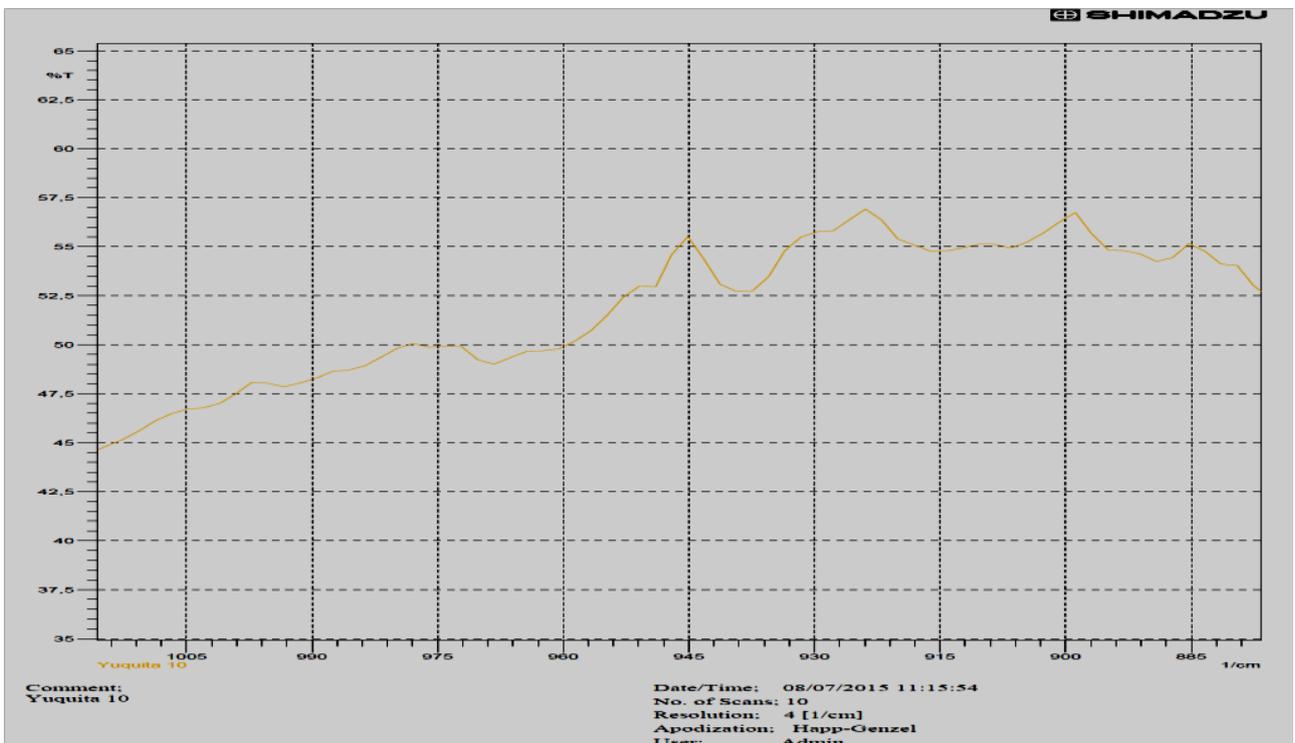
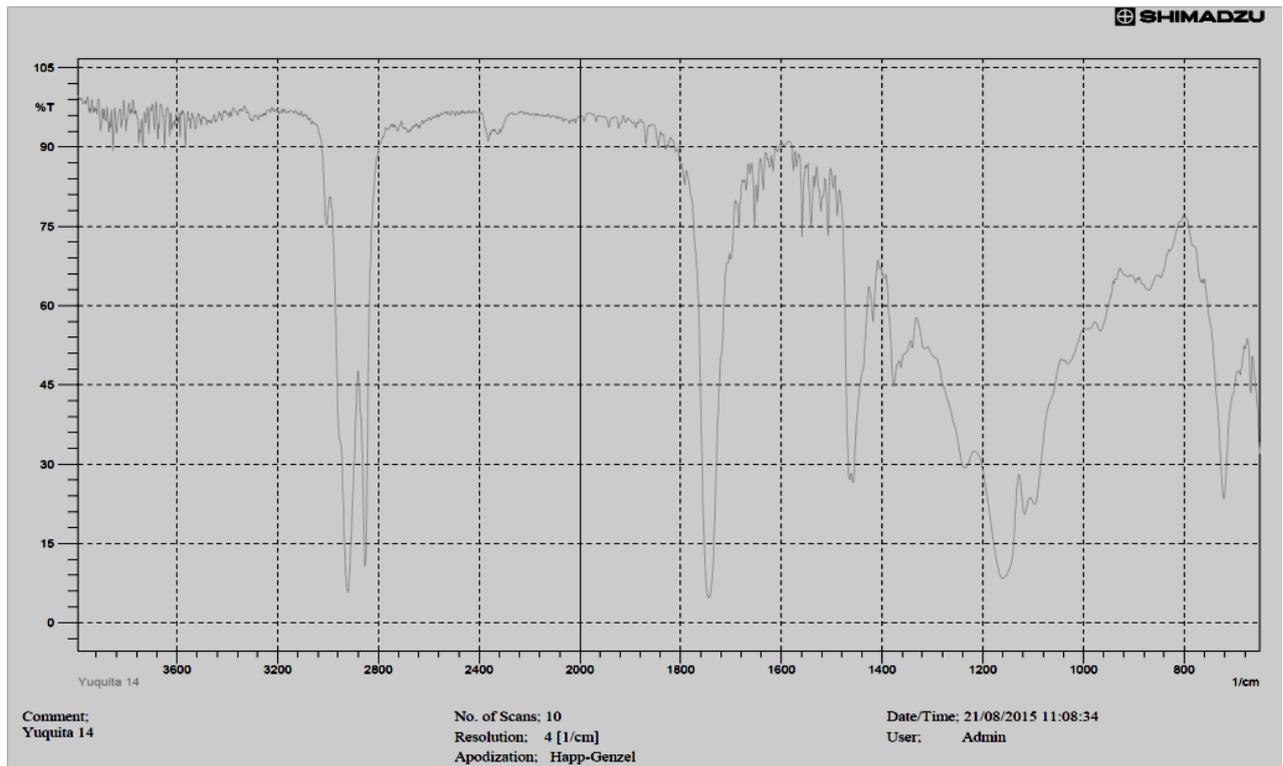


Fig. 53. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES Lote N° 2 (muestra 10). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de yuquita de la zona de los alrededores de la UES lote N° 2 (muestra 10).

(a)



(b)

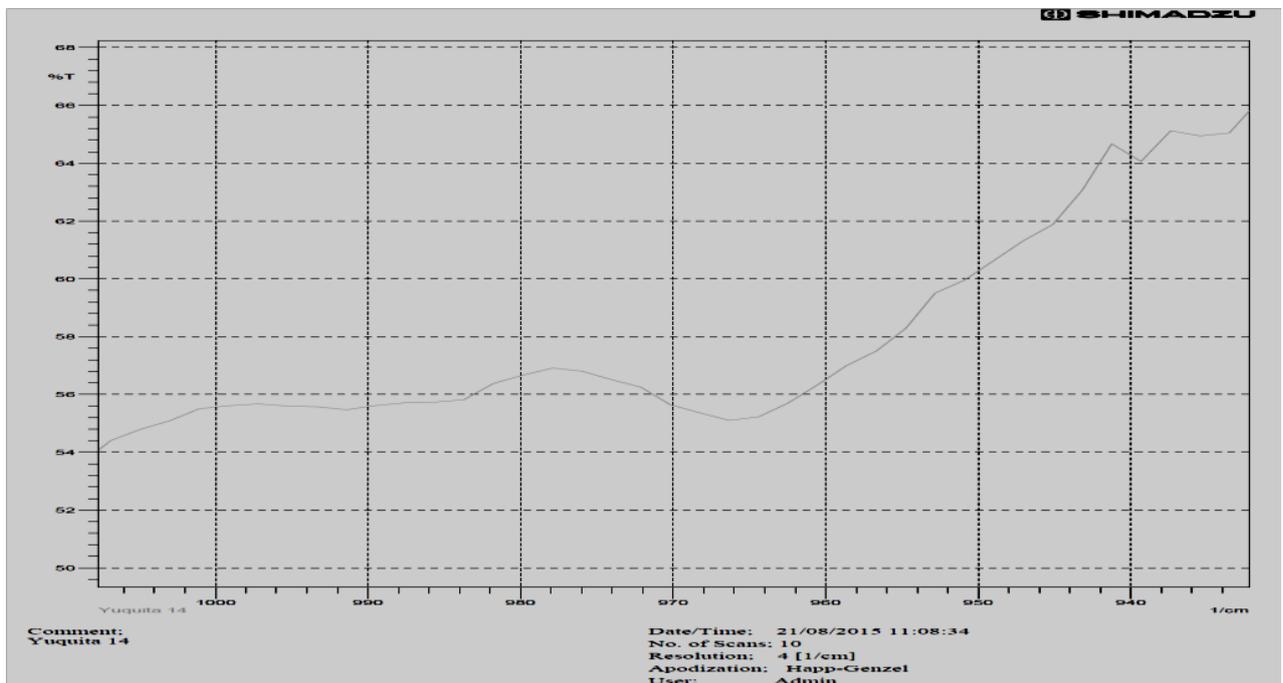


Fig. 54. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de yuquita de la zona de feria Consuma lote N° 2 (muestra 14). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} muestra de yuquita de la zona de feria Consuma lote N° 2 (muestra 14).

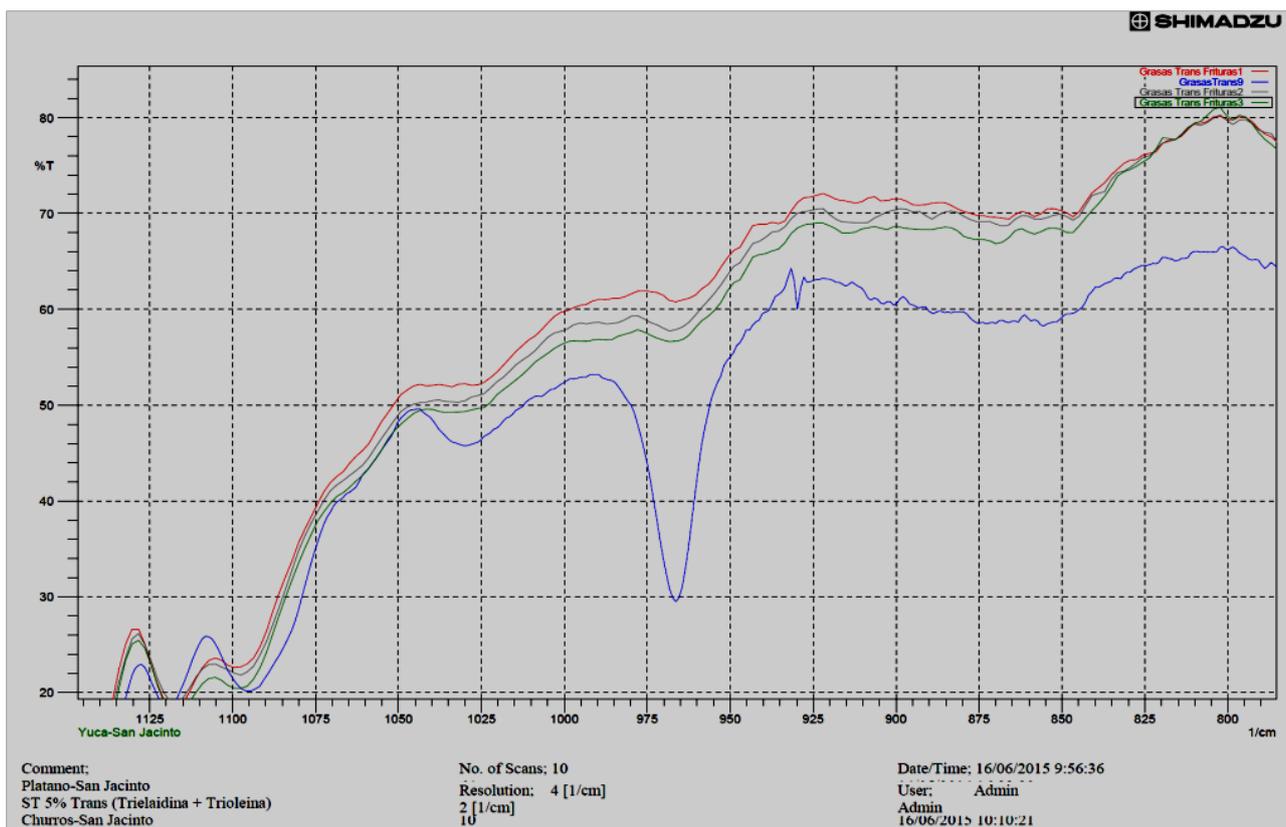
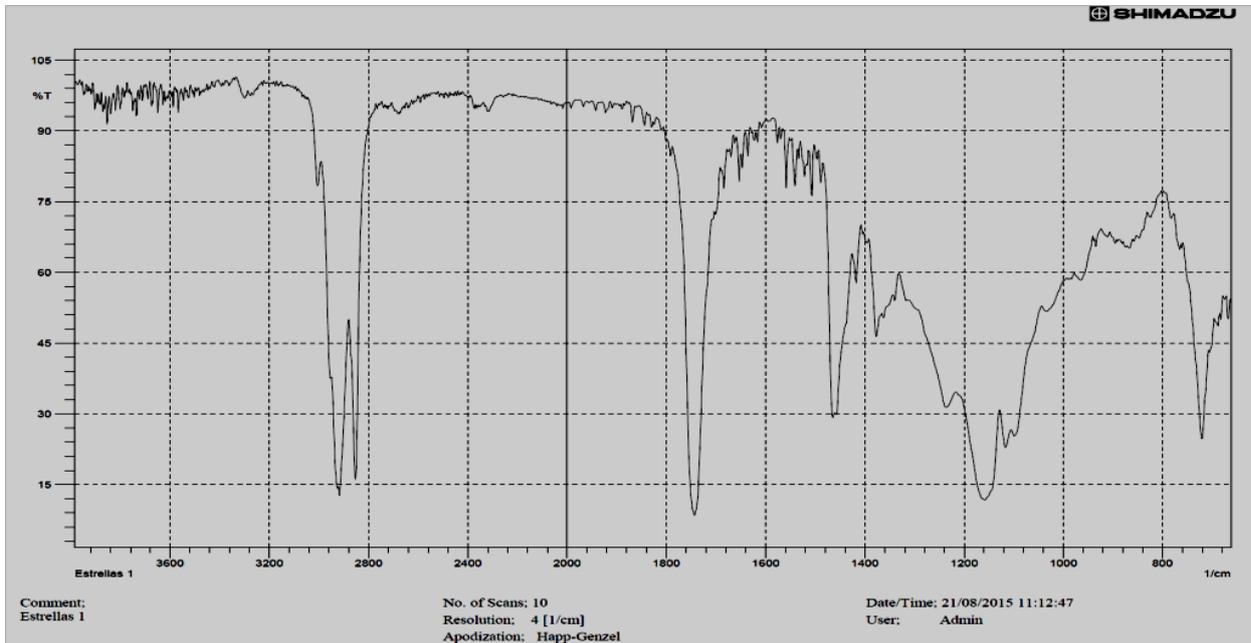


Fig. 55. Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} espectro IR obtenido de muestras de yuquita, platanito, churros españoles de la zona de San Jacinto acoplados con Estándar Trioleina-Trielaidina (pico azul).

MUESTRAS SELECCIONADAS DE ESTRELLAS

(a)



(b)

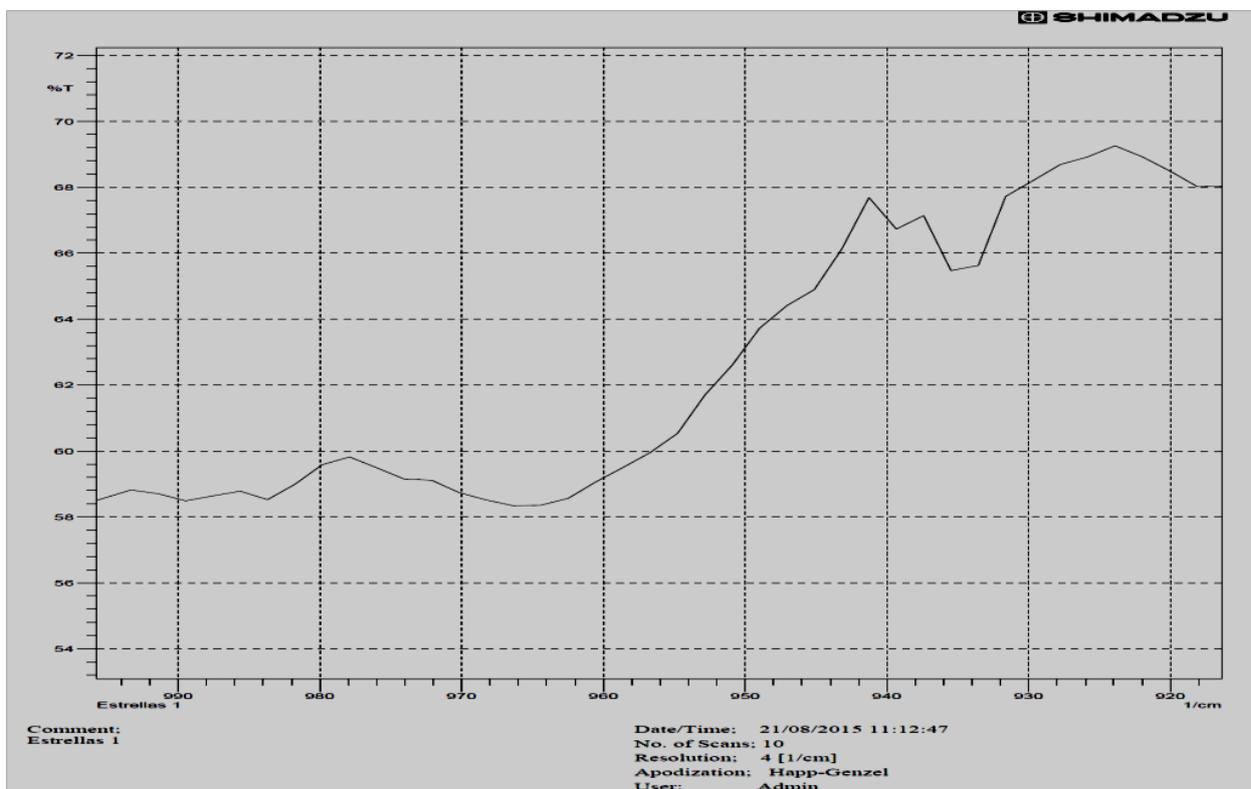
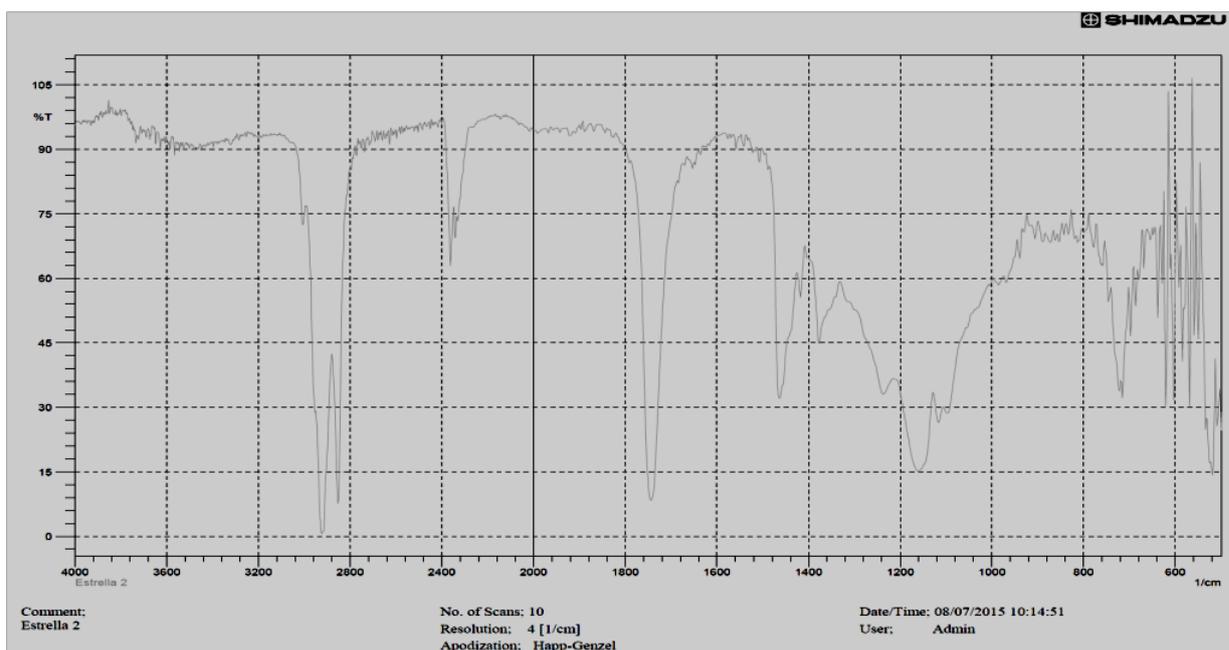


Fig. 56. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 3 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} muestra de estrellas de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N°3 (muestra 1).

(a)



(b)

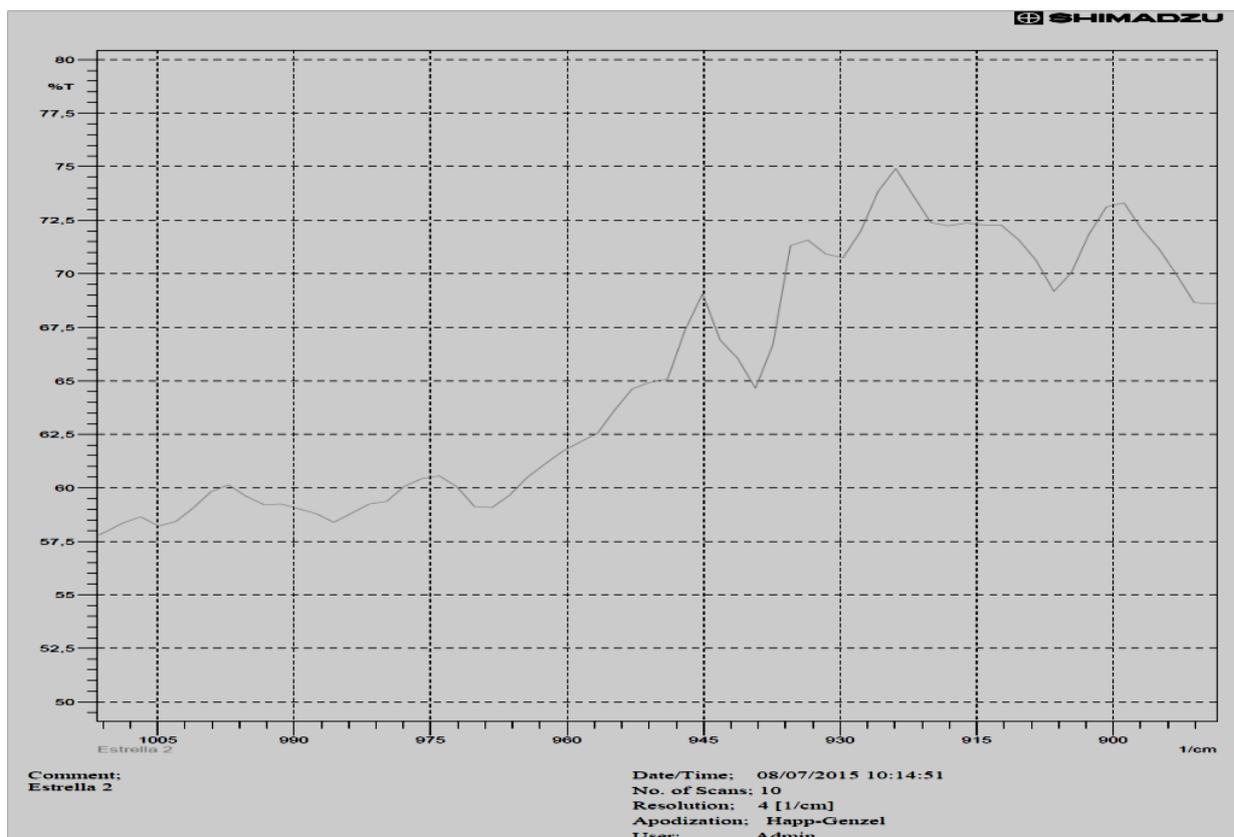
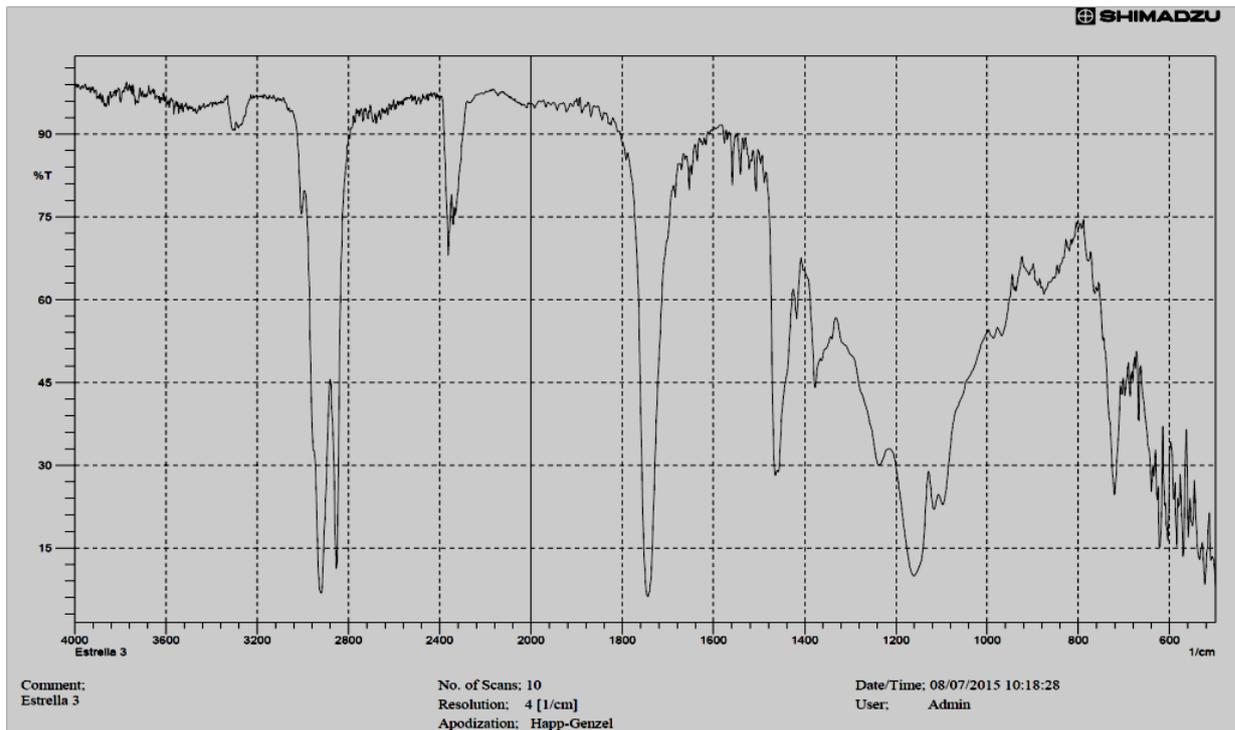


Fig. 57. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de La Zacamil lote N° 3 (Muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de Estrellas de la zona de Zacamil lote N°3 (muestra 2).

(a)



(b)

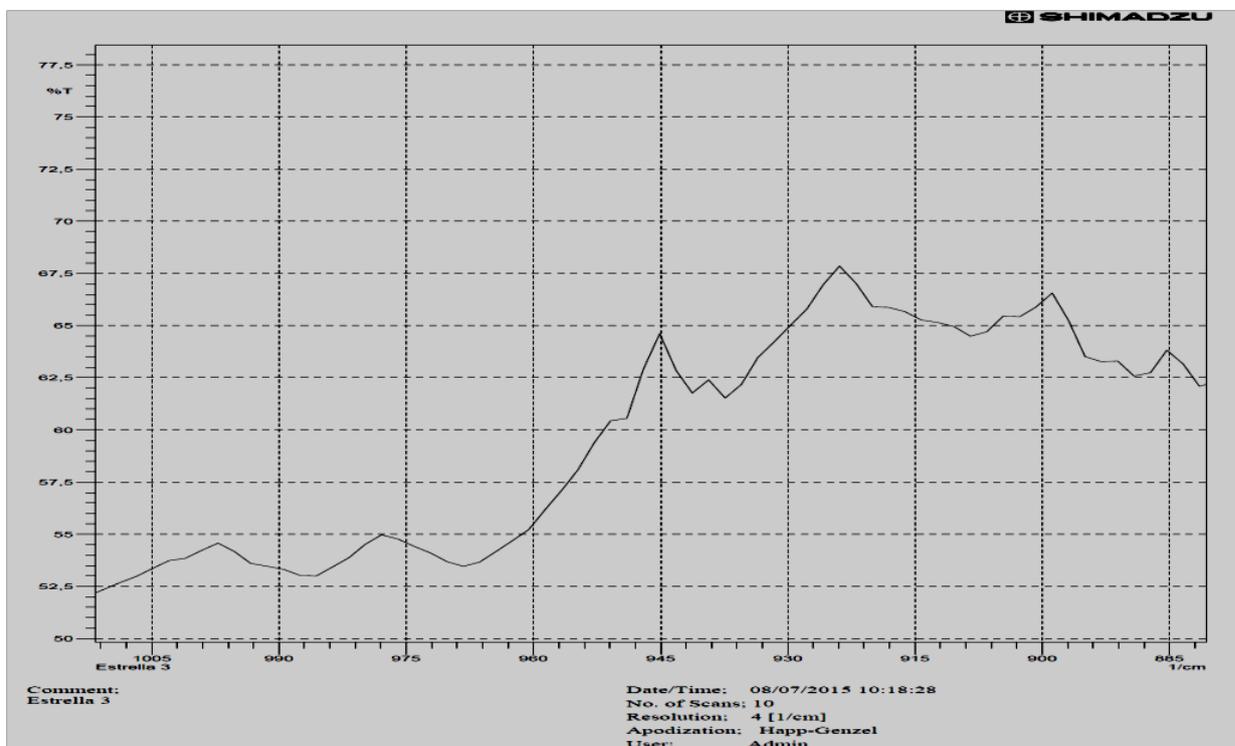
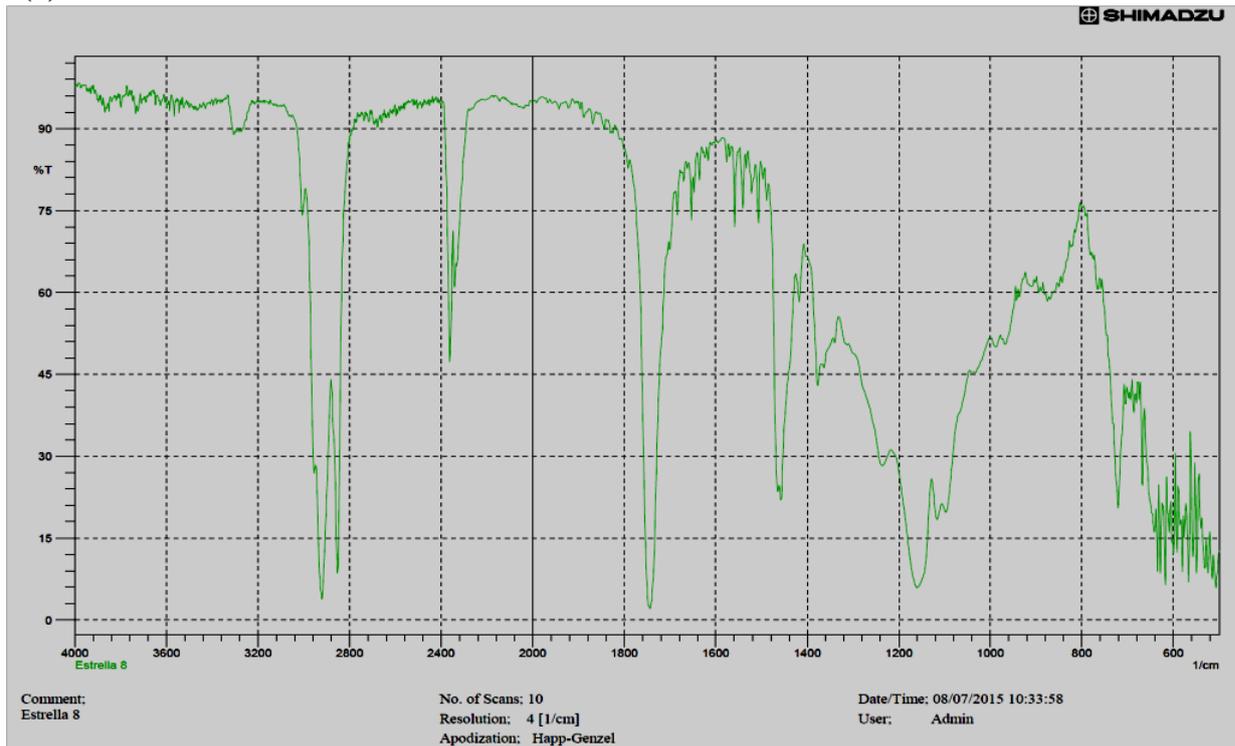


Fig. 58. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrella de la zona de los alrededores de la UES lote N° 3 (muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm⁻¹. (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm⁻¹. Muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N°3 (muestra 3).

(a)



(b)

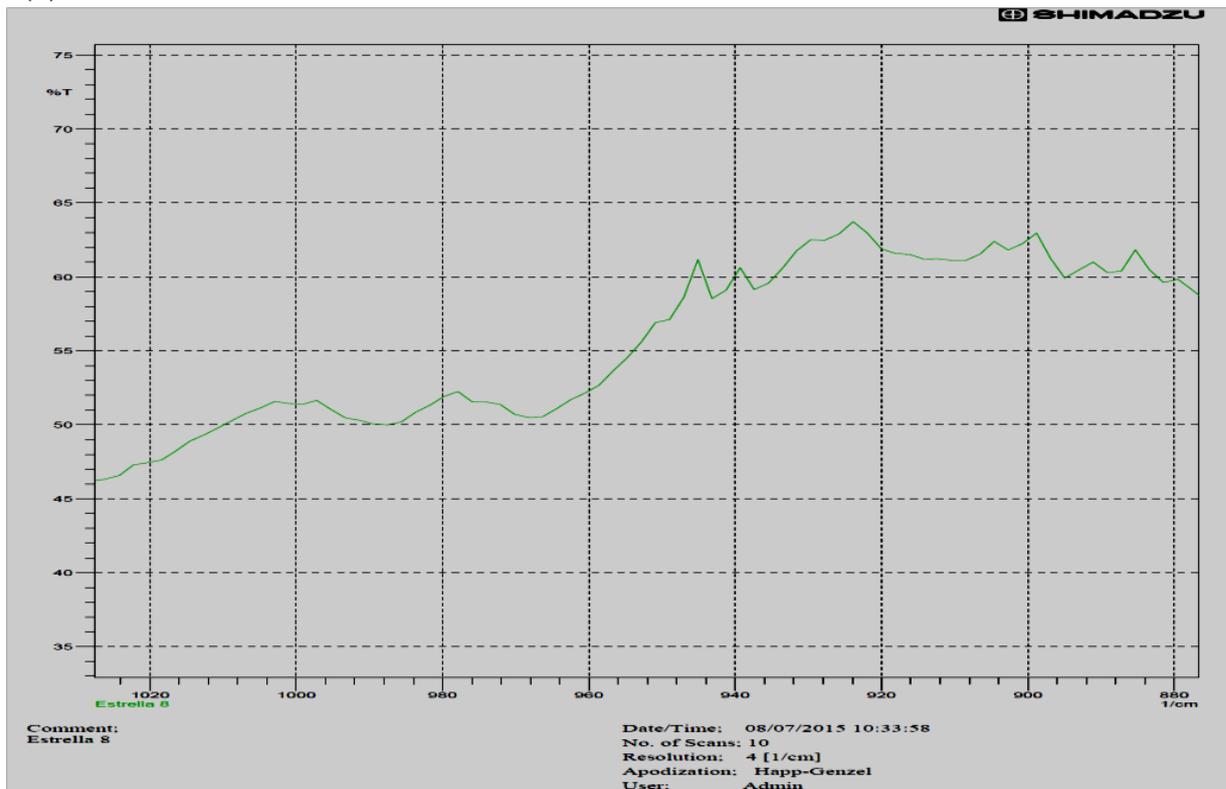
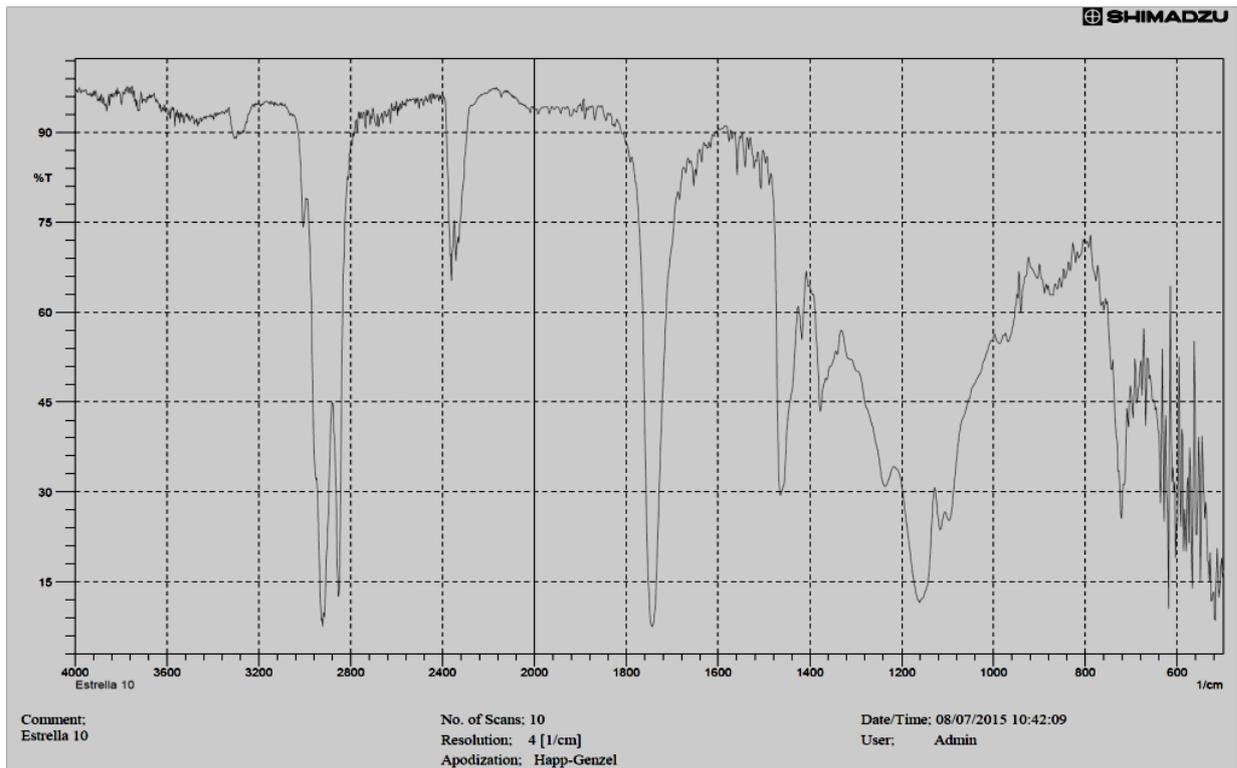


Fig. 59. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N° 3 (muestra 8). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES

(a)



(b)

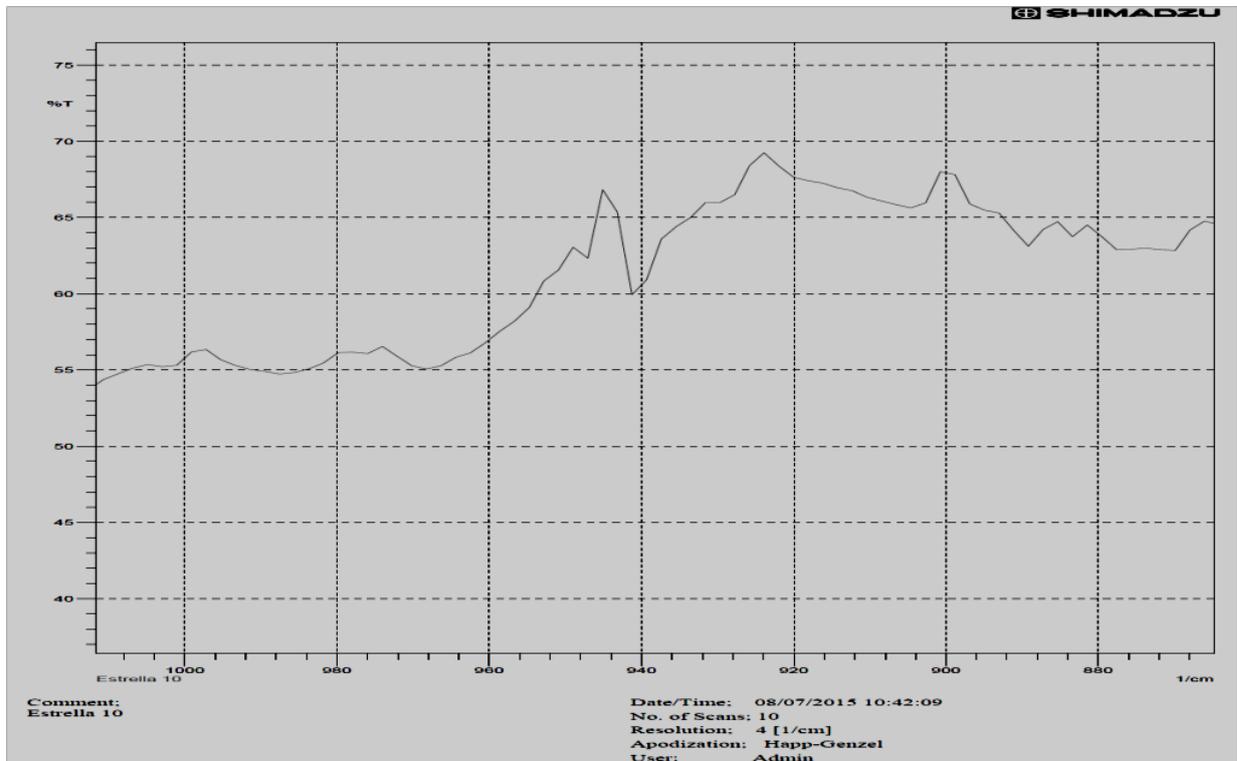
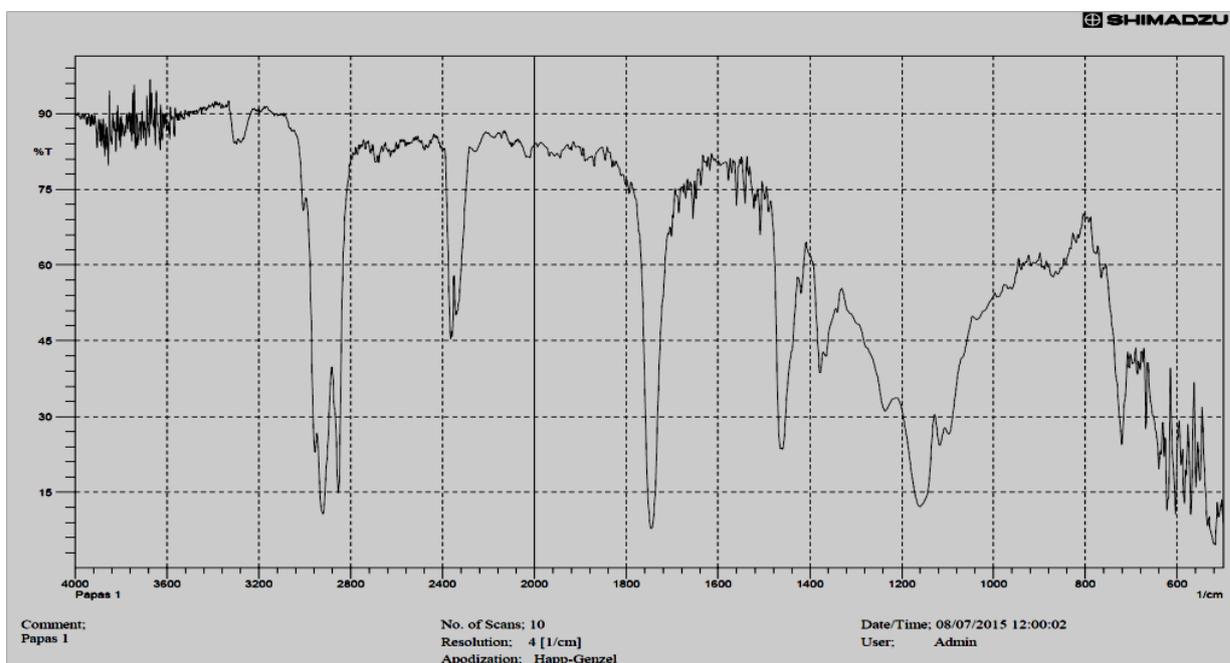


Fig. 60. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N° 3 (muestra 10). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de estrellas de la zona de los alrededores de la UES lote N°3 (muestra 10).

MUESTRAS SELECCIONADAS DE PAPAS

(a)



(b)

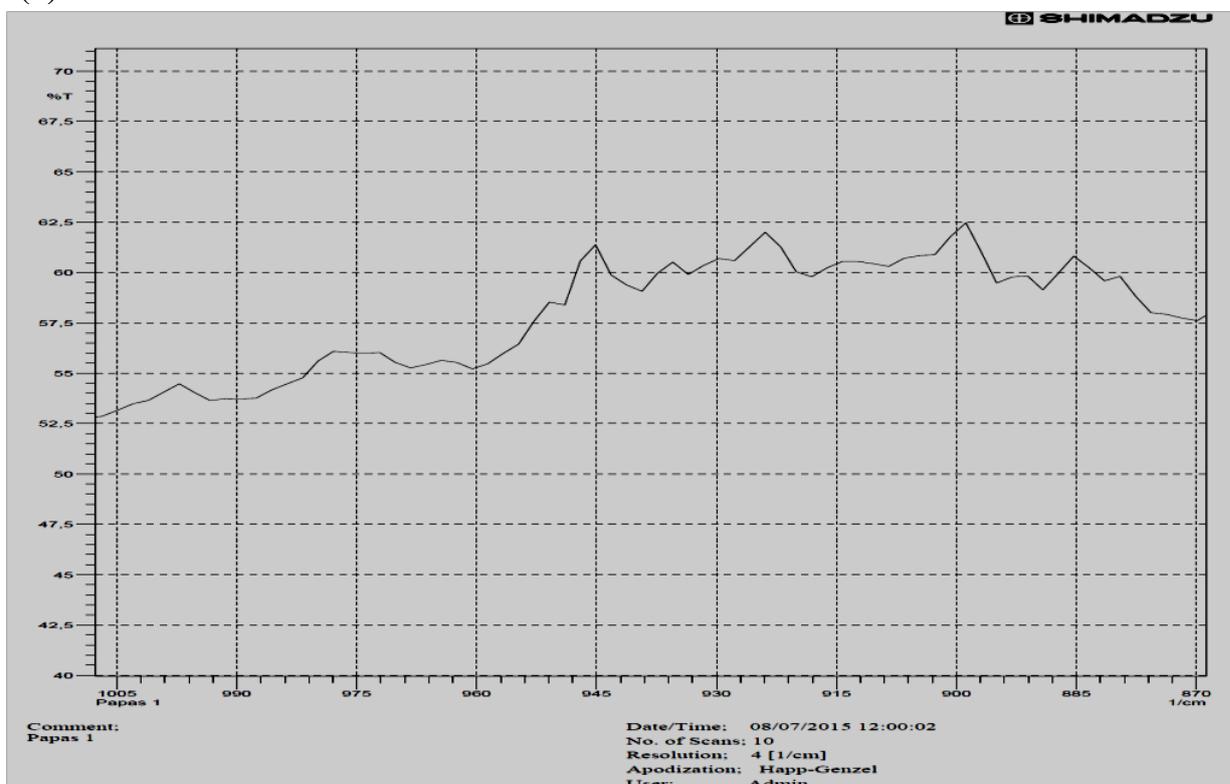
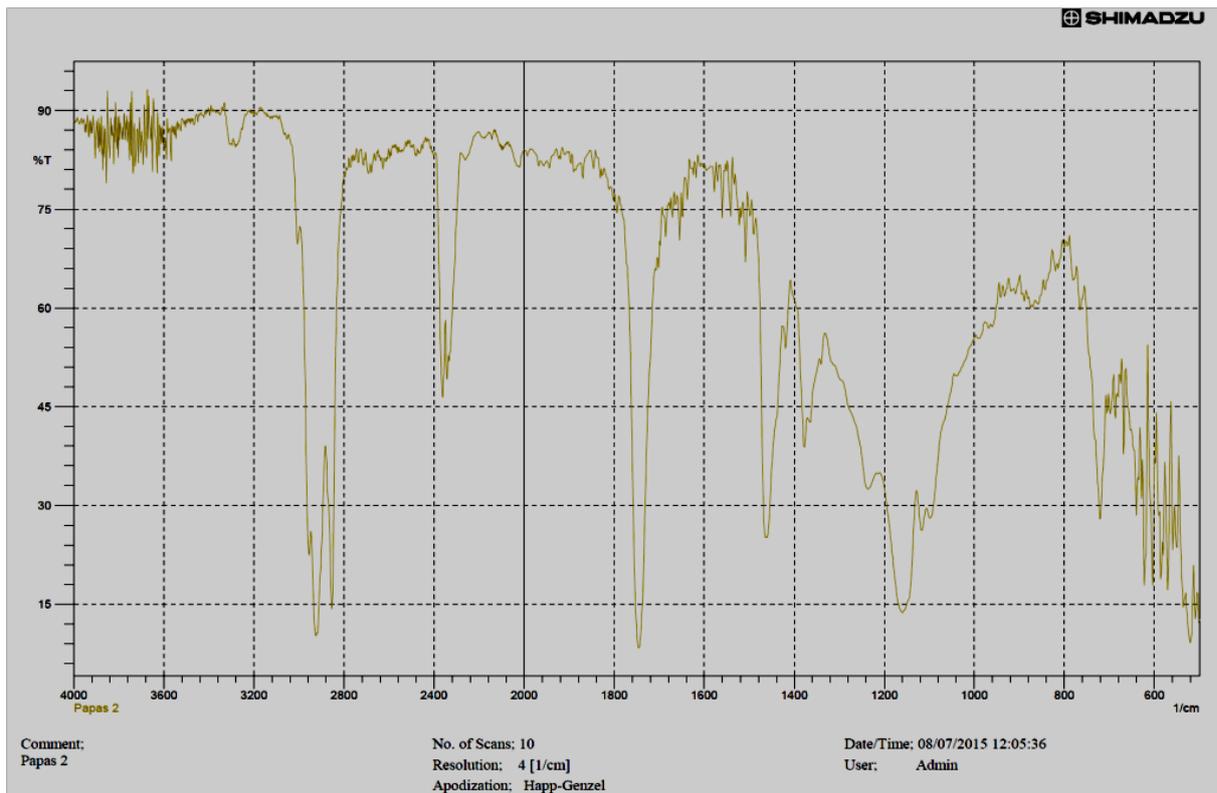


Fig. 61. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N° 4 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N°4 (muestra 1).

(a)



(b)

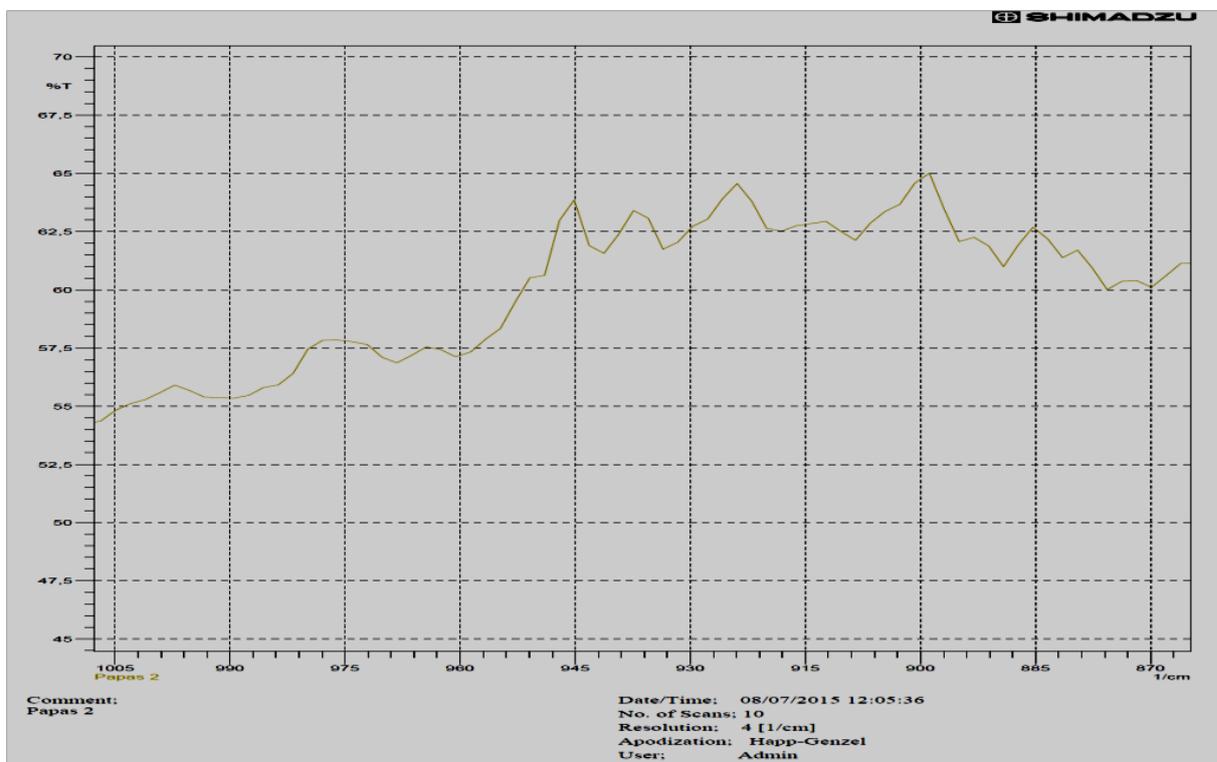
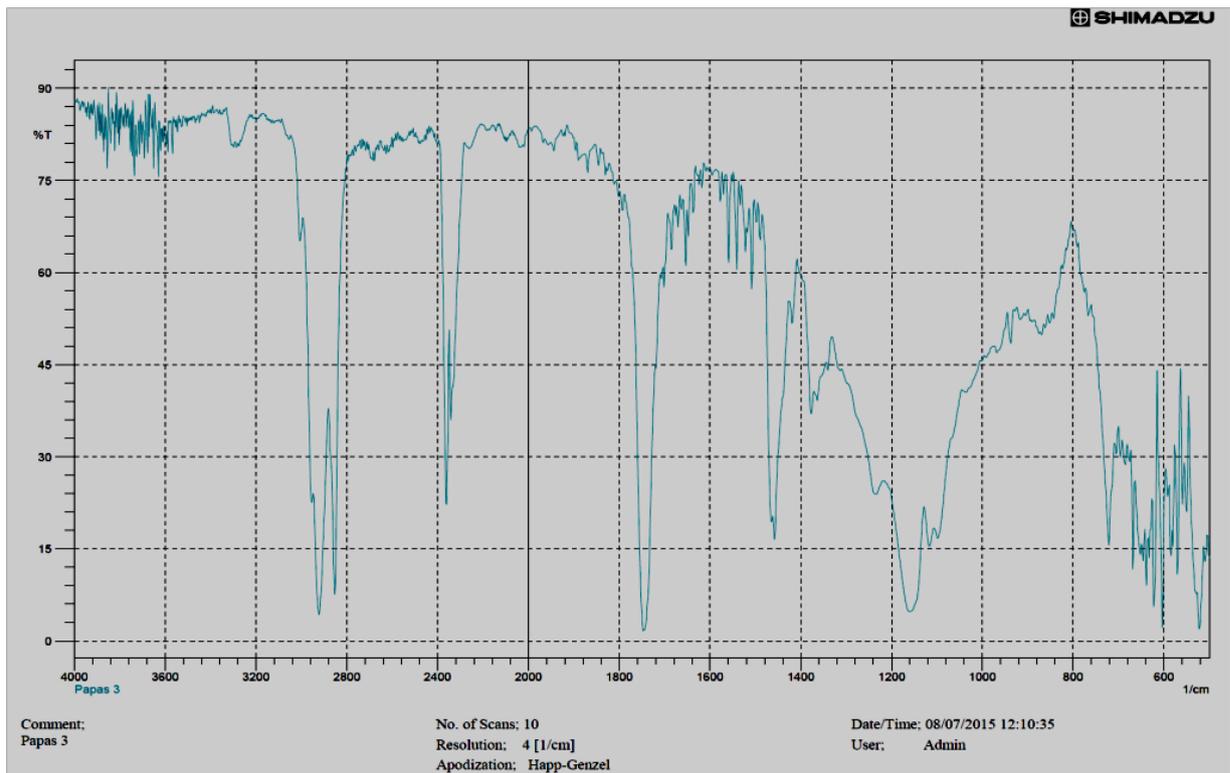


Fig. 62. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de Zacamil lote N° 4 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de papas de la zona de Zacamil lote N° 4 (muestra 2).

(a)



(b)

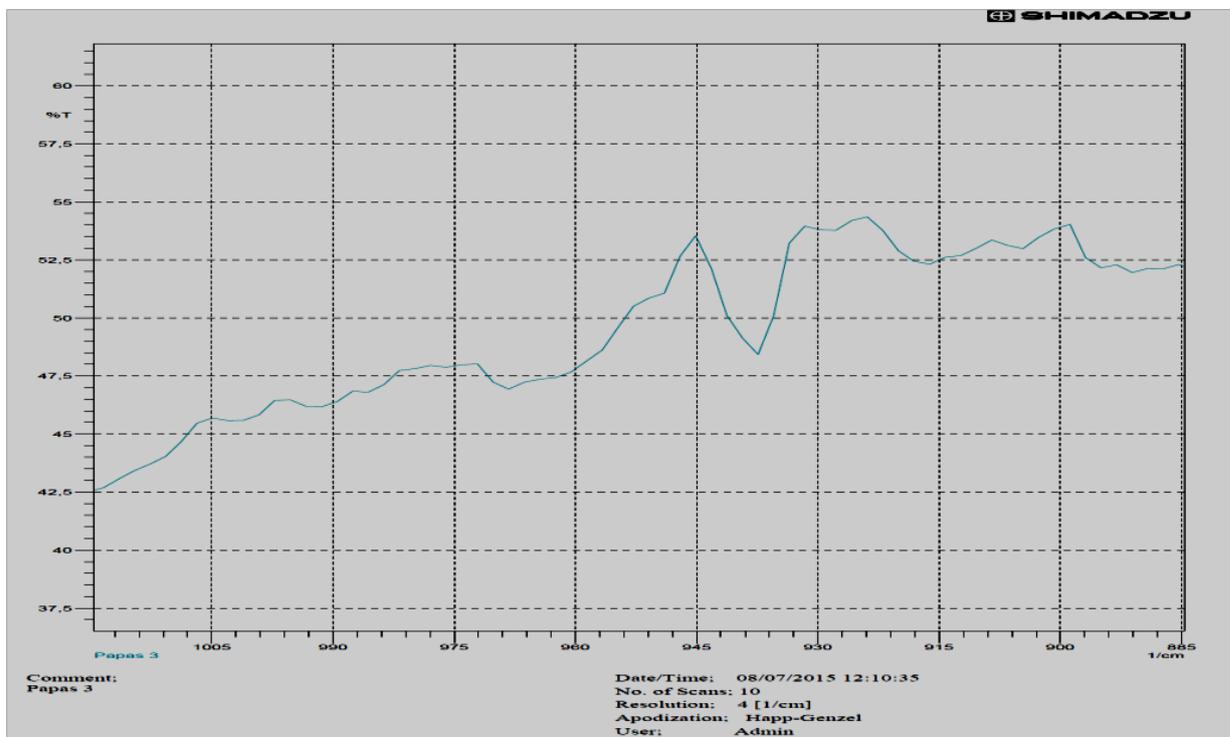
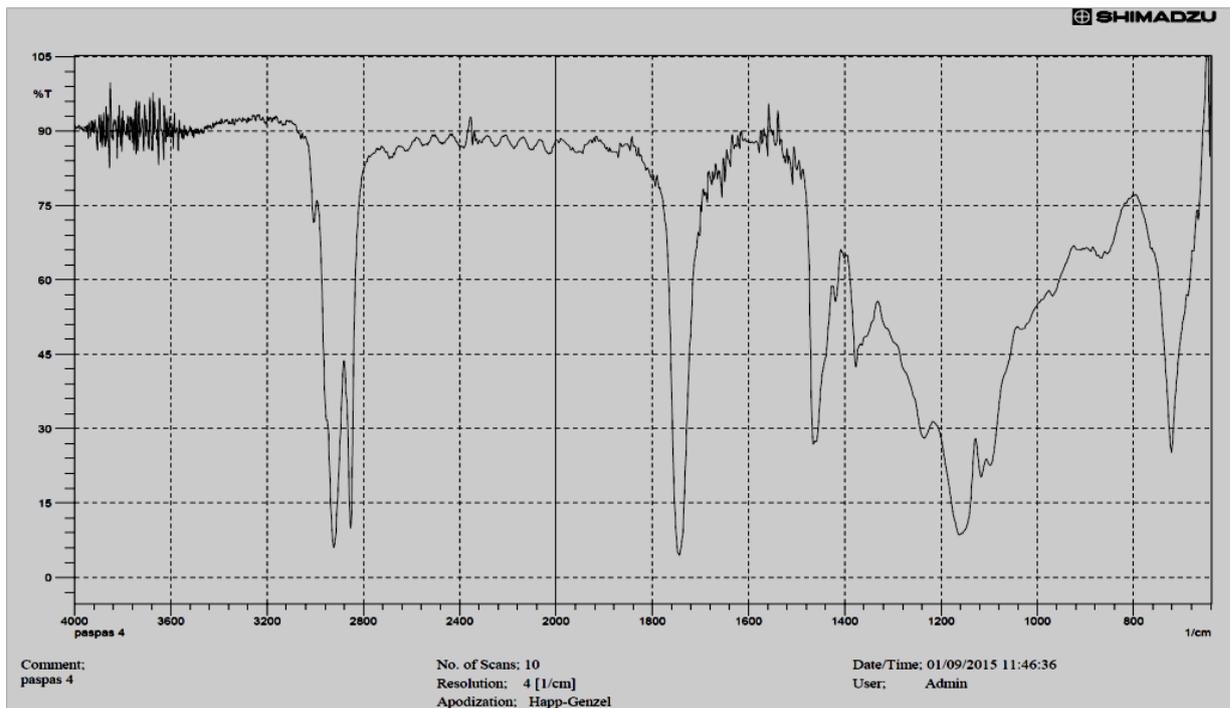


Fig. 63. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de Los alrededores de la UES lote N° 4 (Muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm⁻¹. (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm⁻¹. Muestra de papas de la zona de los alrededores de la UES lote N°4 (muestra 3).

(a)



(b)

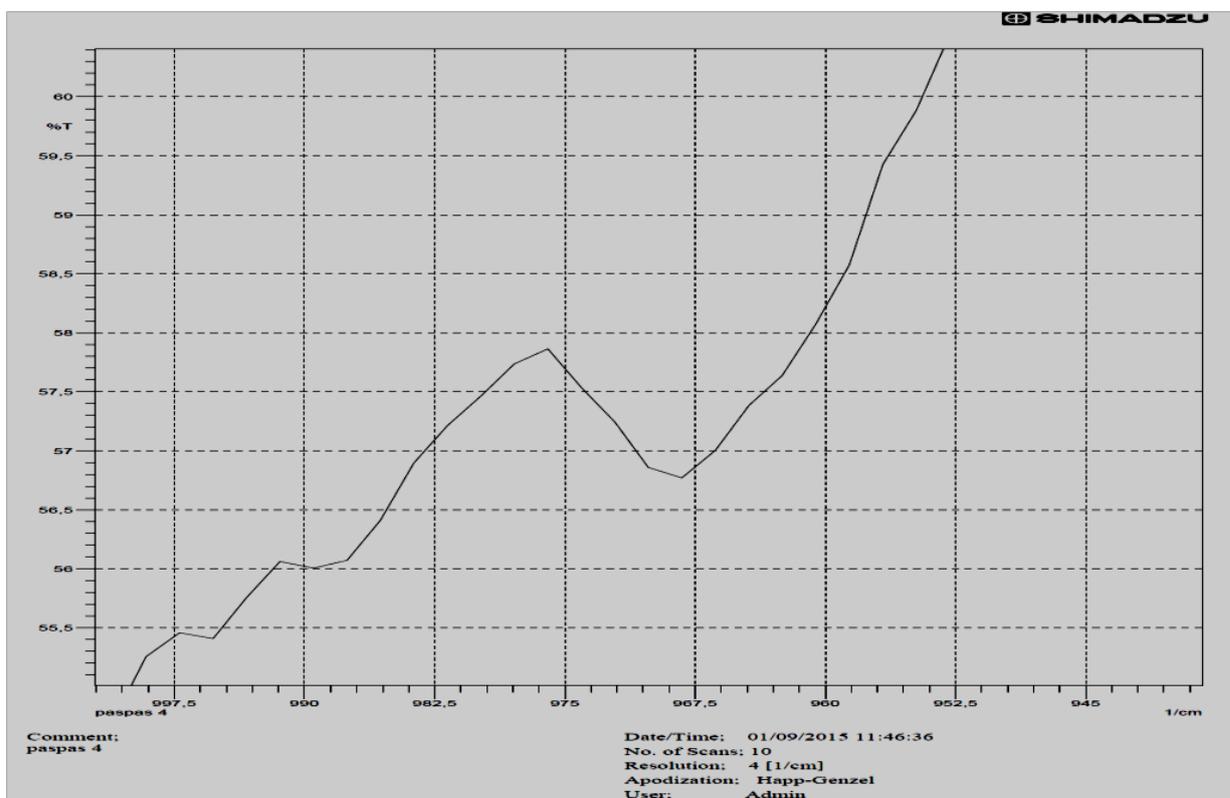
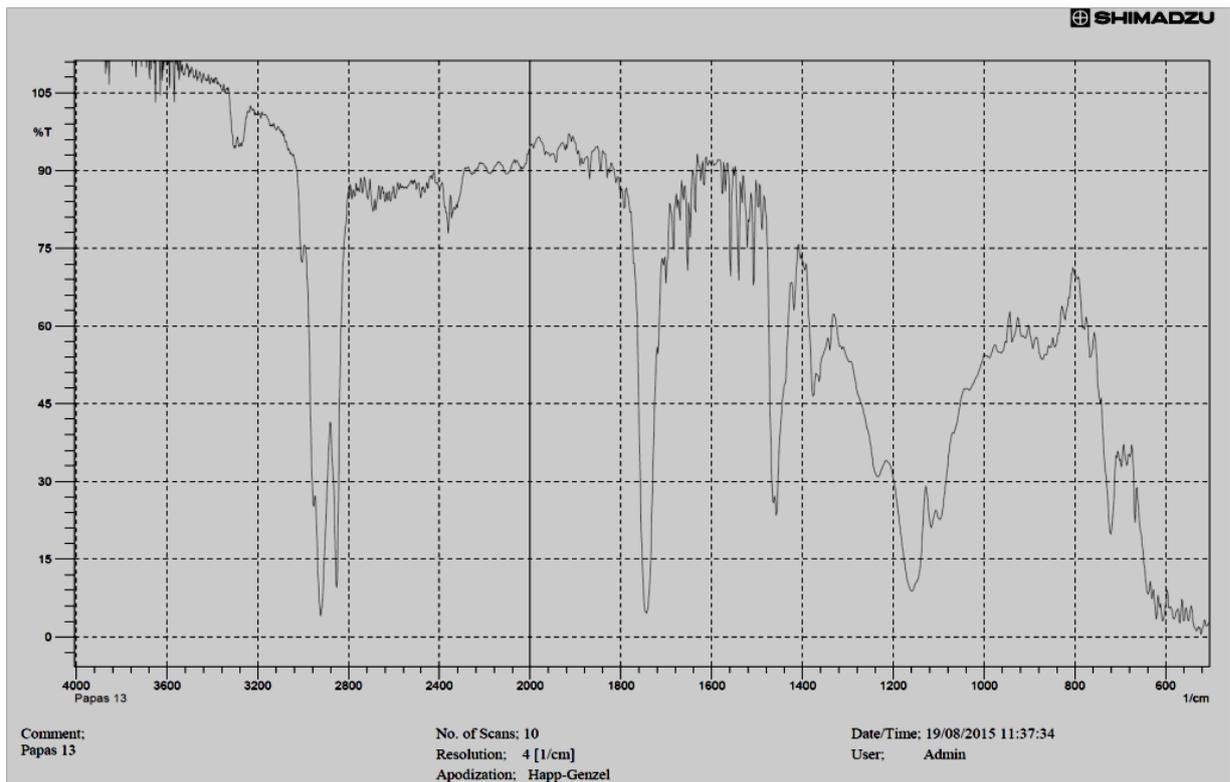


Fig. 64. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N° 4 (muestra 4). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de papas de la zona de San Jacinto lote N°4 (muestra 4).

(a)



(b)

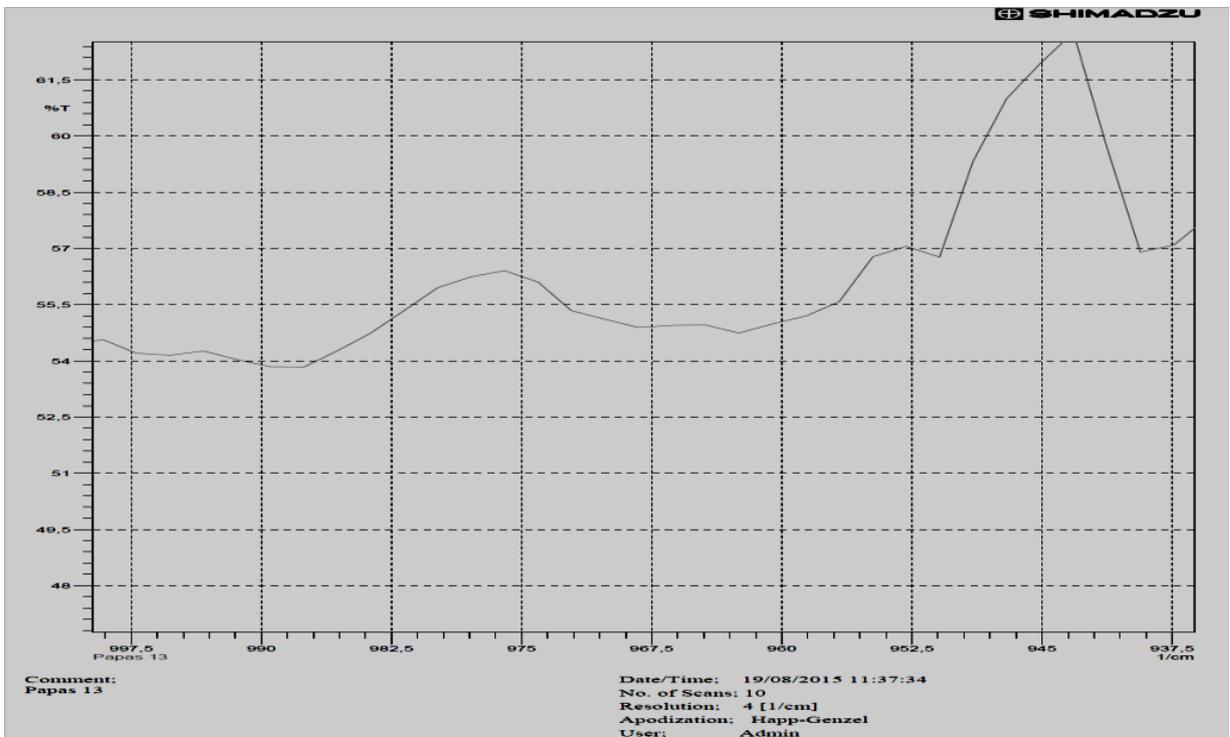
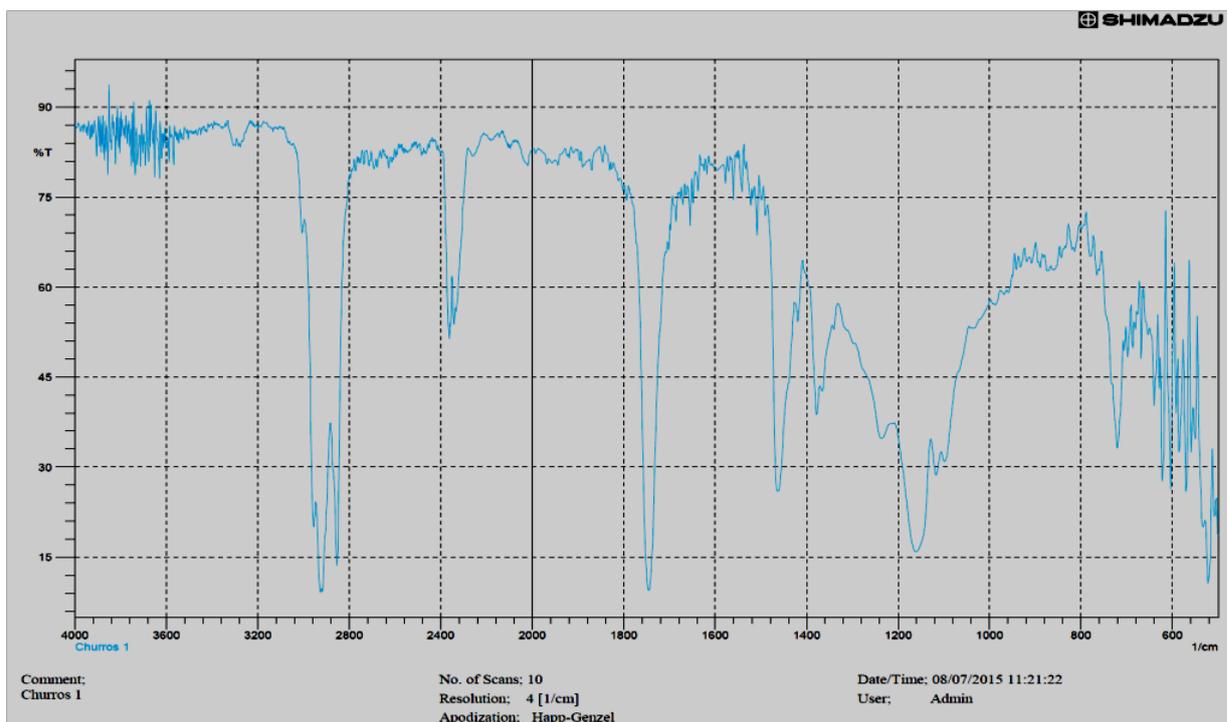


Fig. 65. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de papas de la zona de feria Consuma lote N° 4 (muestra 13). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de papas de la zona de feria Consuma lote N°4 (muestra 13).

MUESTRAS SELECCIONADAS DE CHURROS ESPAÑOLES

(a)



(b)

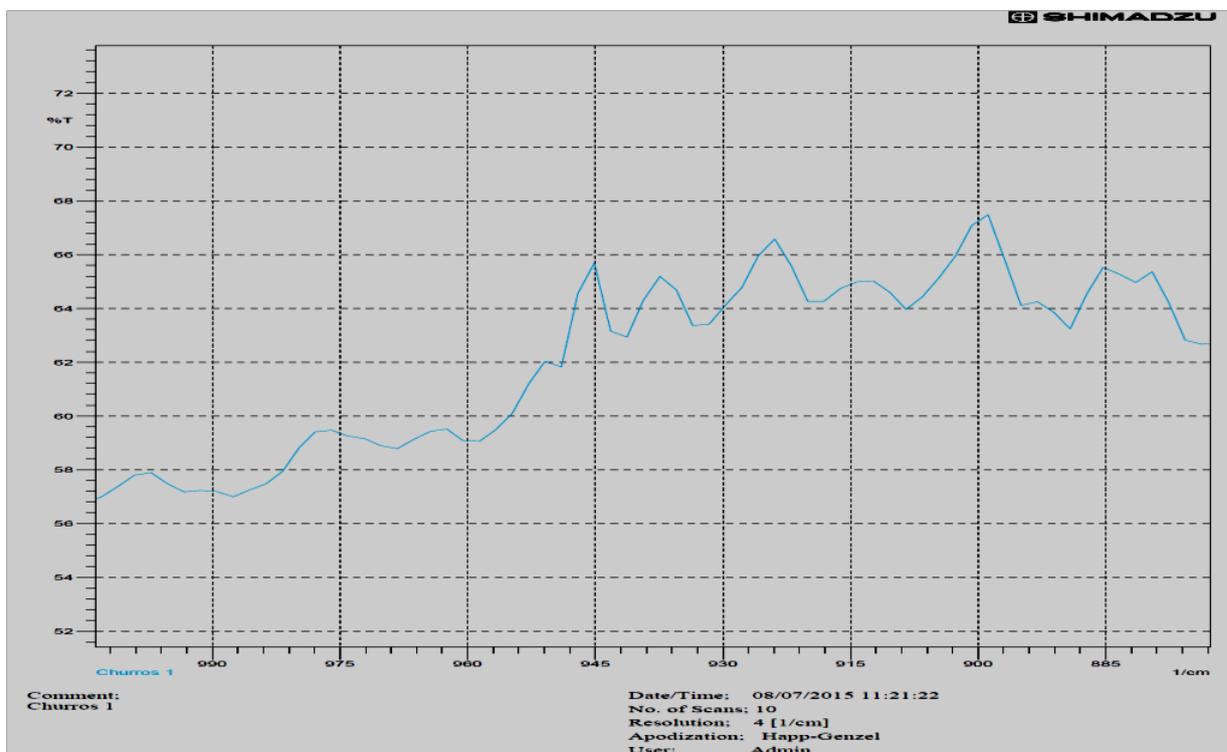
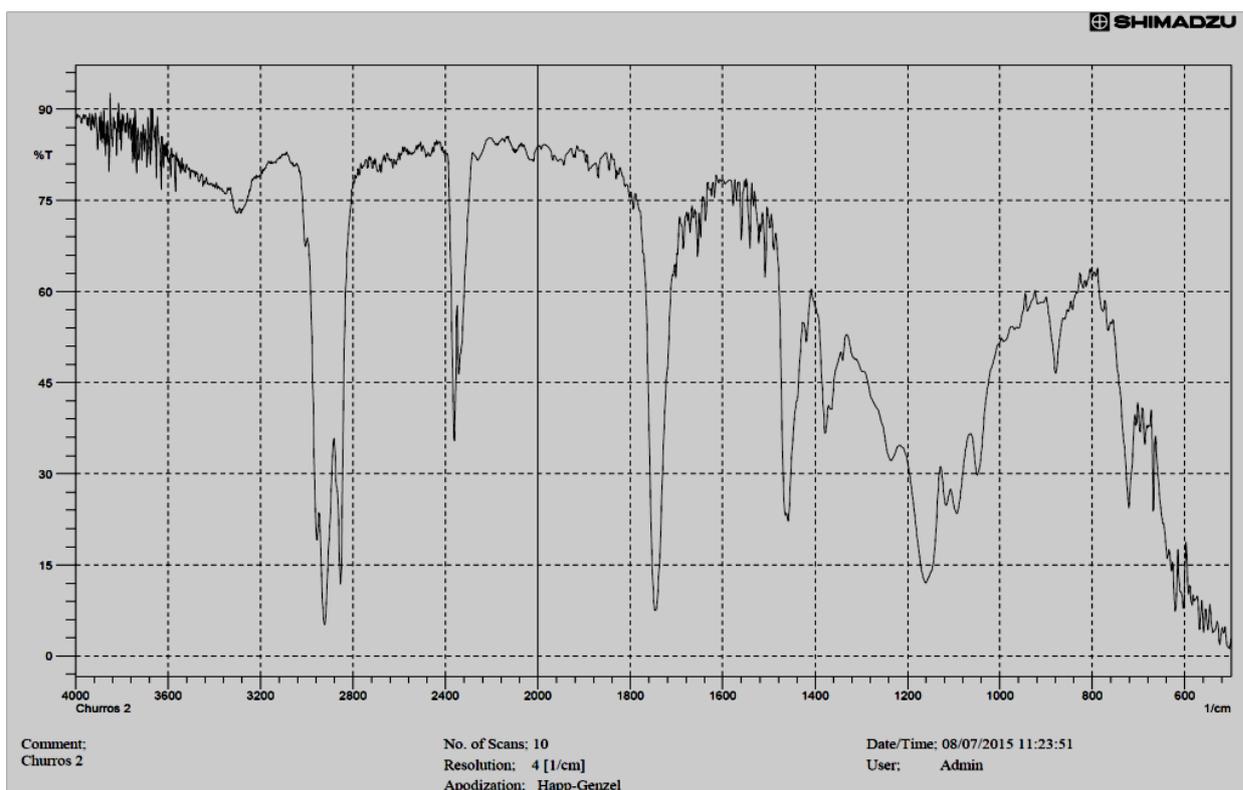


Fig. 66. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de Churros Españoles de la zona de San Jacinto lote N° 5 (muestra 1). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de churros españoles de la zona de San Jacinto lote N°5 (muestra 1).

(a)



(b)

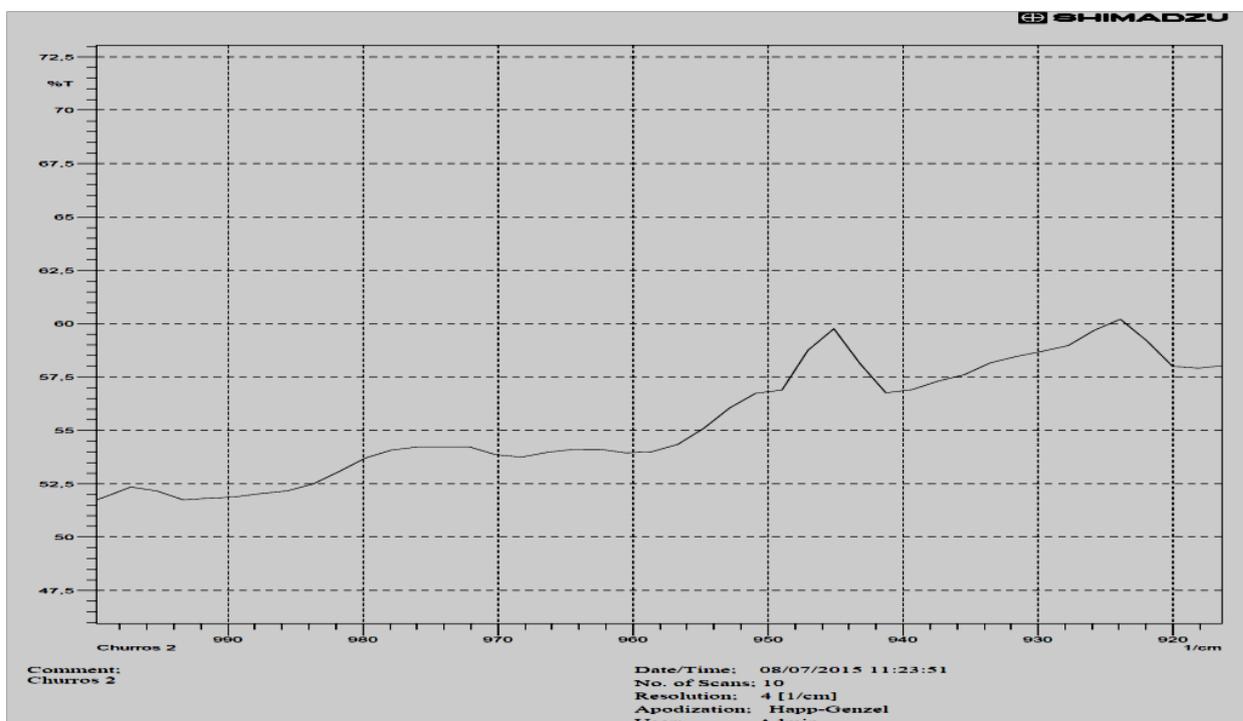
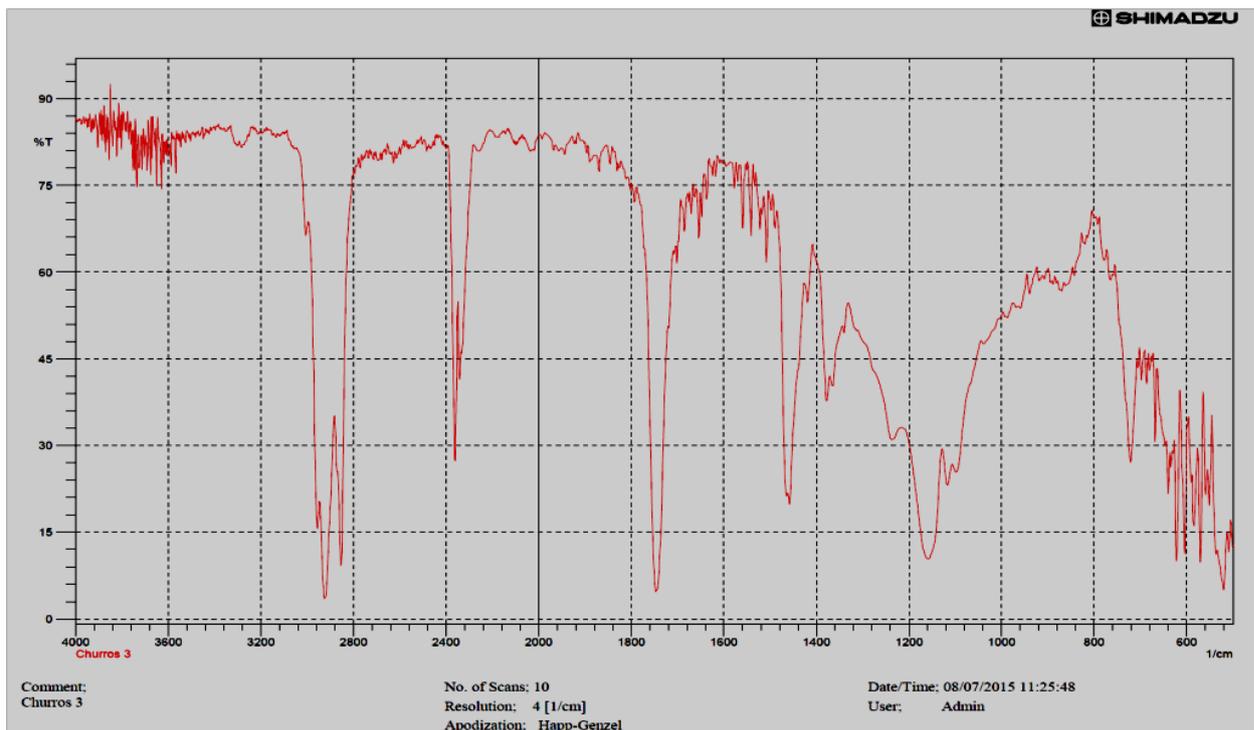


Fig. 67. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de Zacamil lote N° 5 (muestra 2). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de churros españoles de la zona de Zacamil lote N°5 (muestra 2).

(a)



(b)

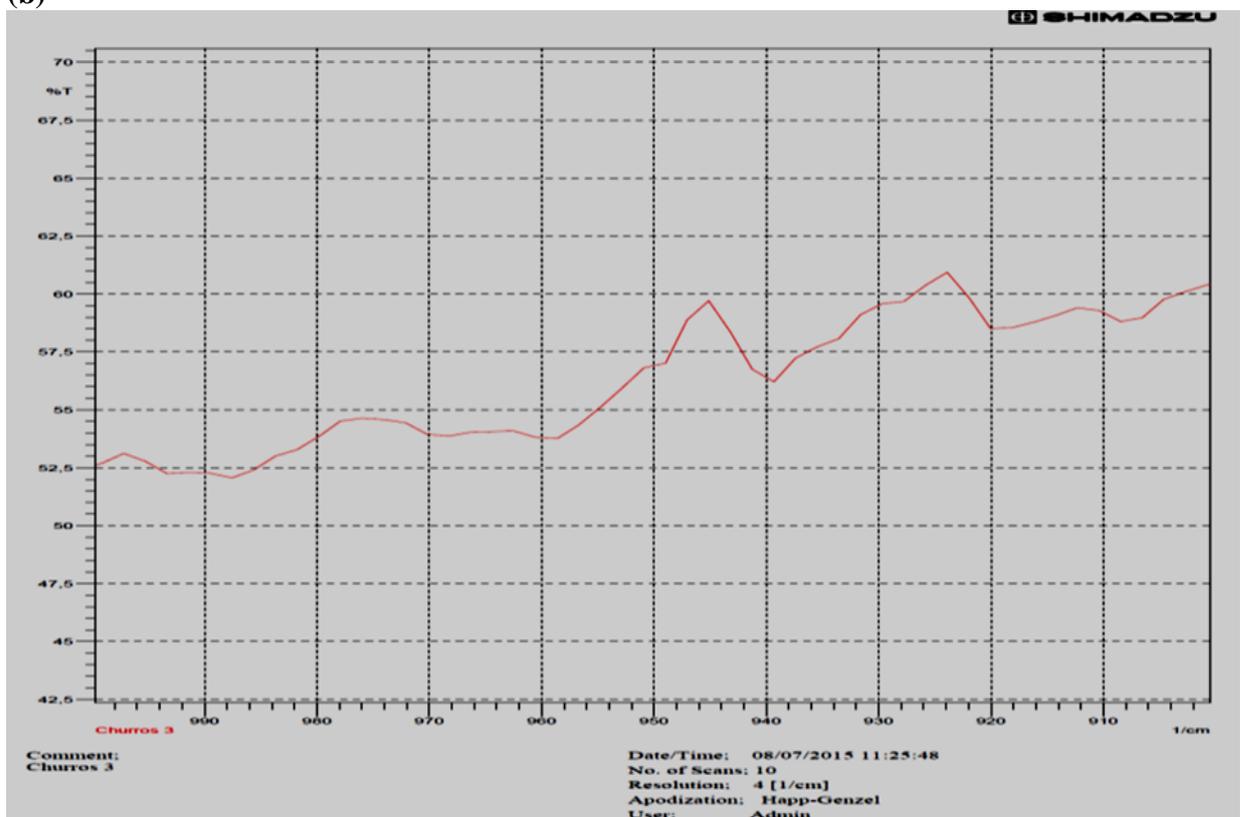
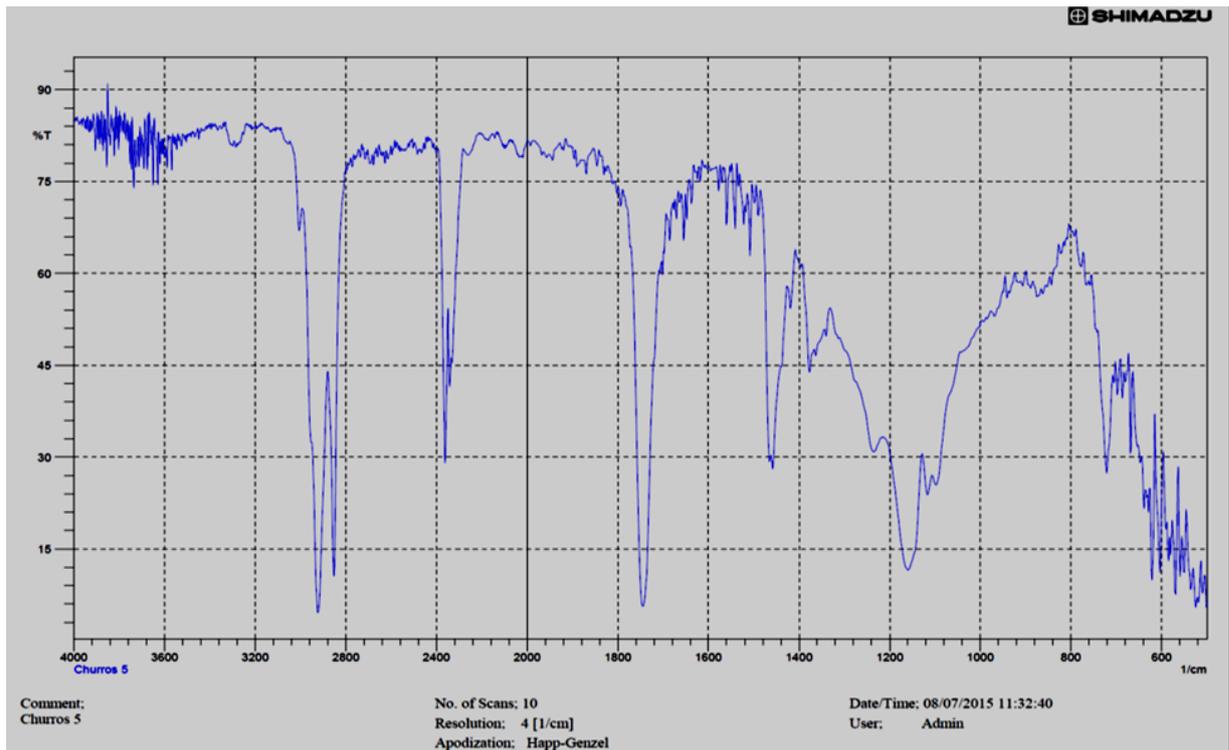


Fig. 68. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de los alrededores de la UES lote N° 5 (muestra 3). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de churros españoles de la zona de los alrededores de la UES lote N°5 (muestra 3).

(a)



(b)

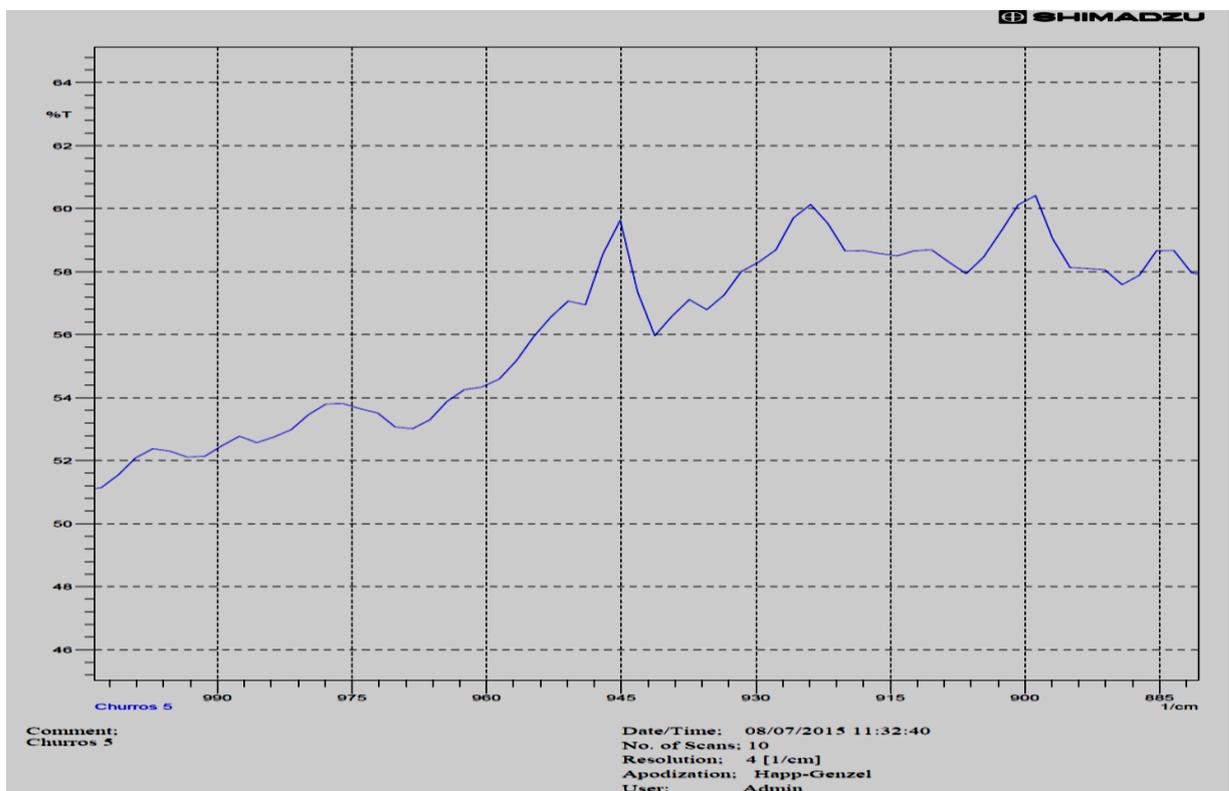
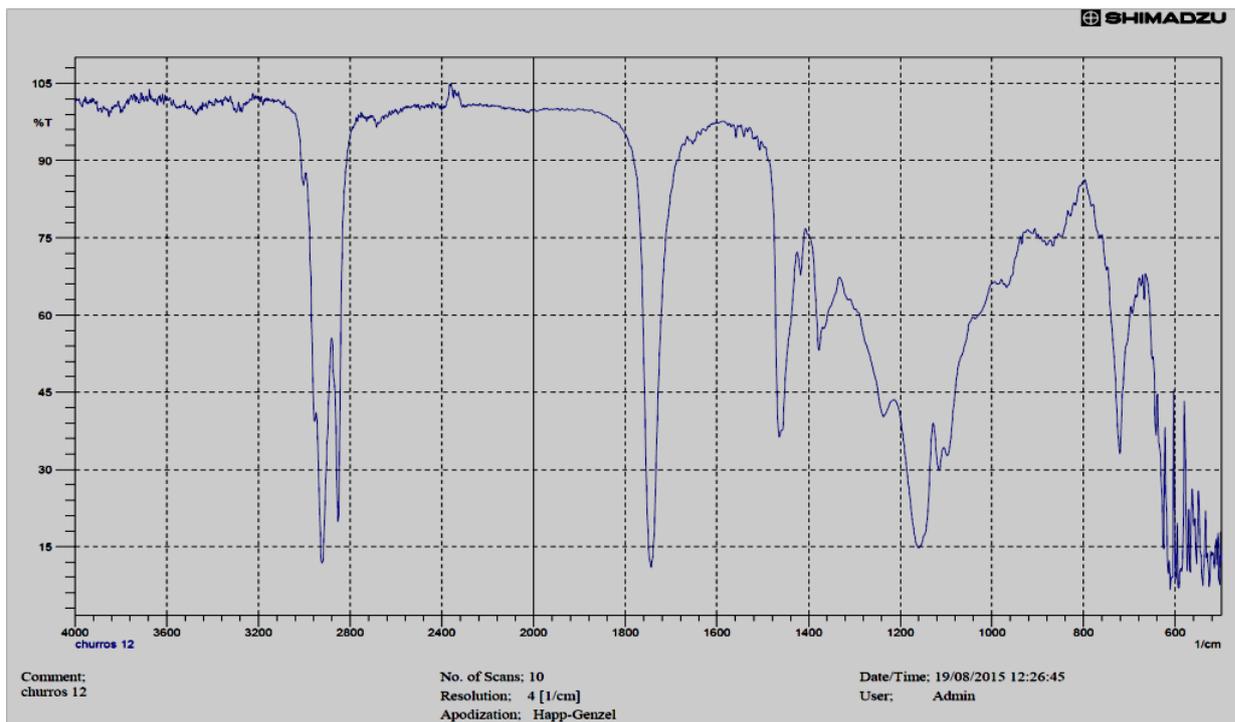


Fig. 69. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de San Jacinto lote N° 5 (muestra 5). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de churros españoles de la zona de San Jacinto lote N°5 (muestra 5).

(a)



(b)

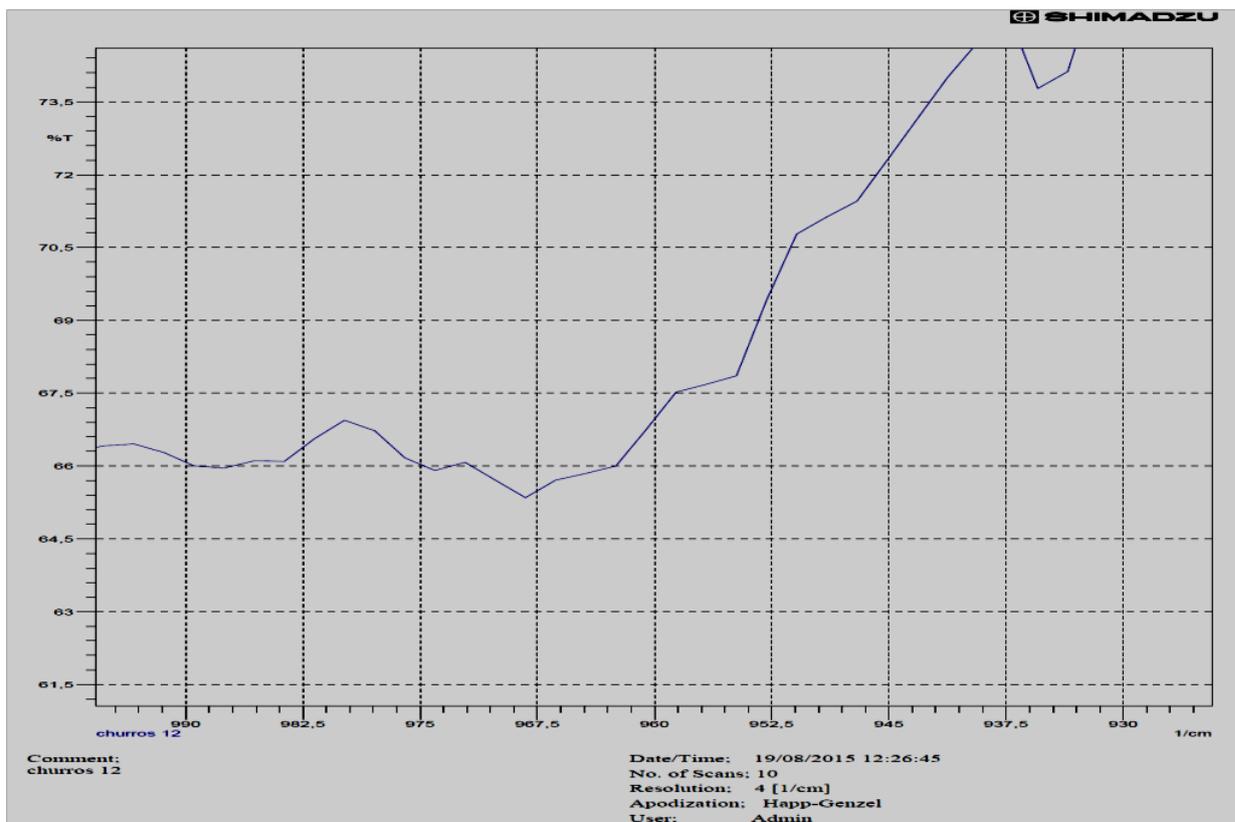
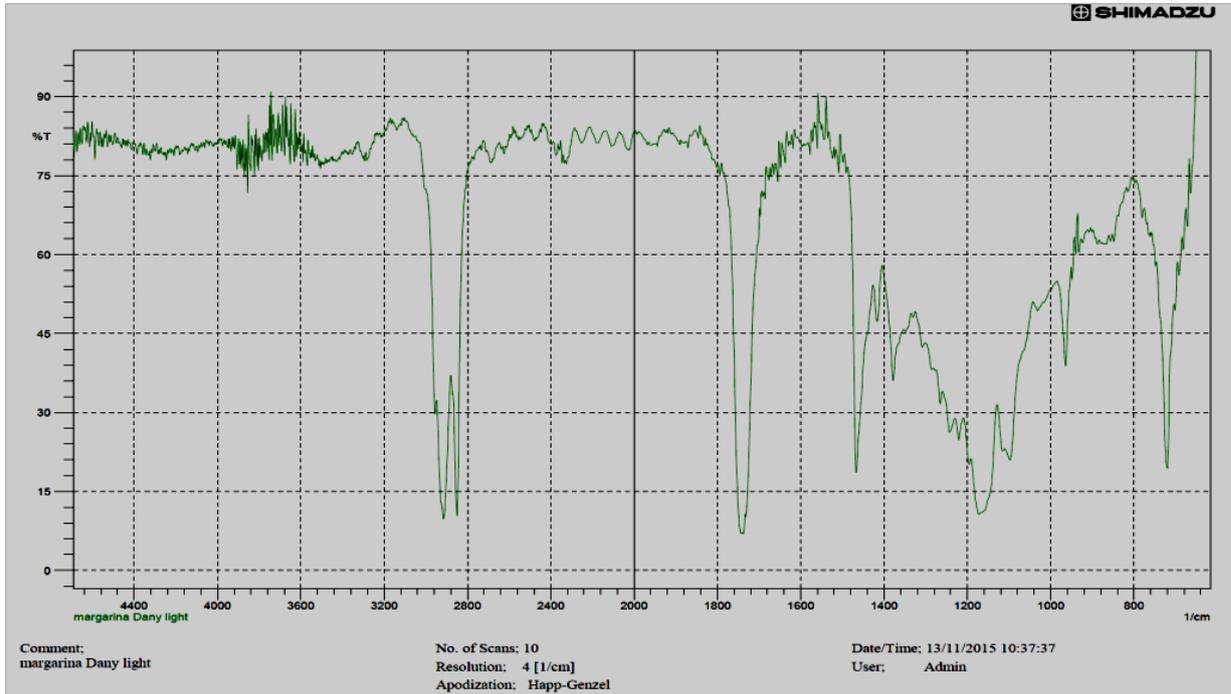


Fig. 70. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de churros españoles de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N° 5 (muestra 12). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de churros españoles de la zona de feria Estadio Cuscatlán lote N°5 (muestra 12).

MUESTRA DE MARGARINA DANY LIGHT

(a)



(b)

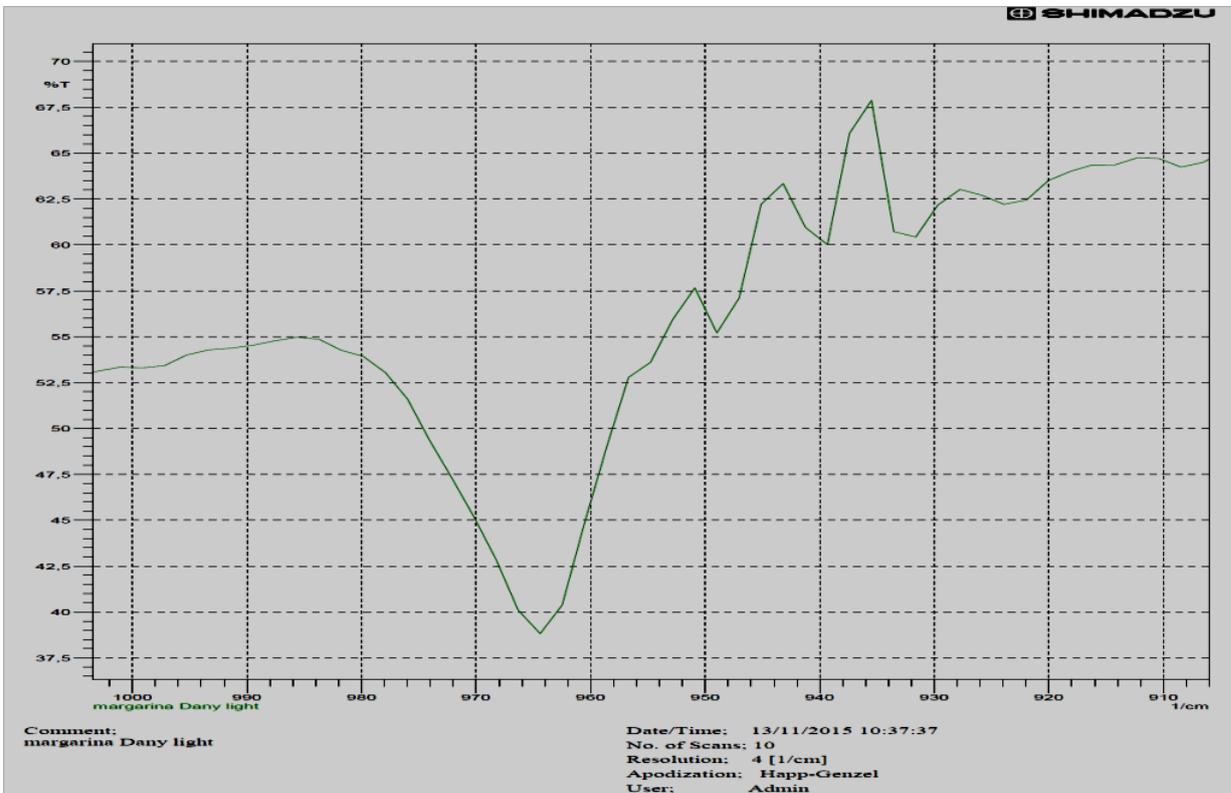
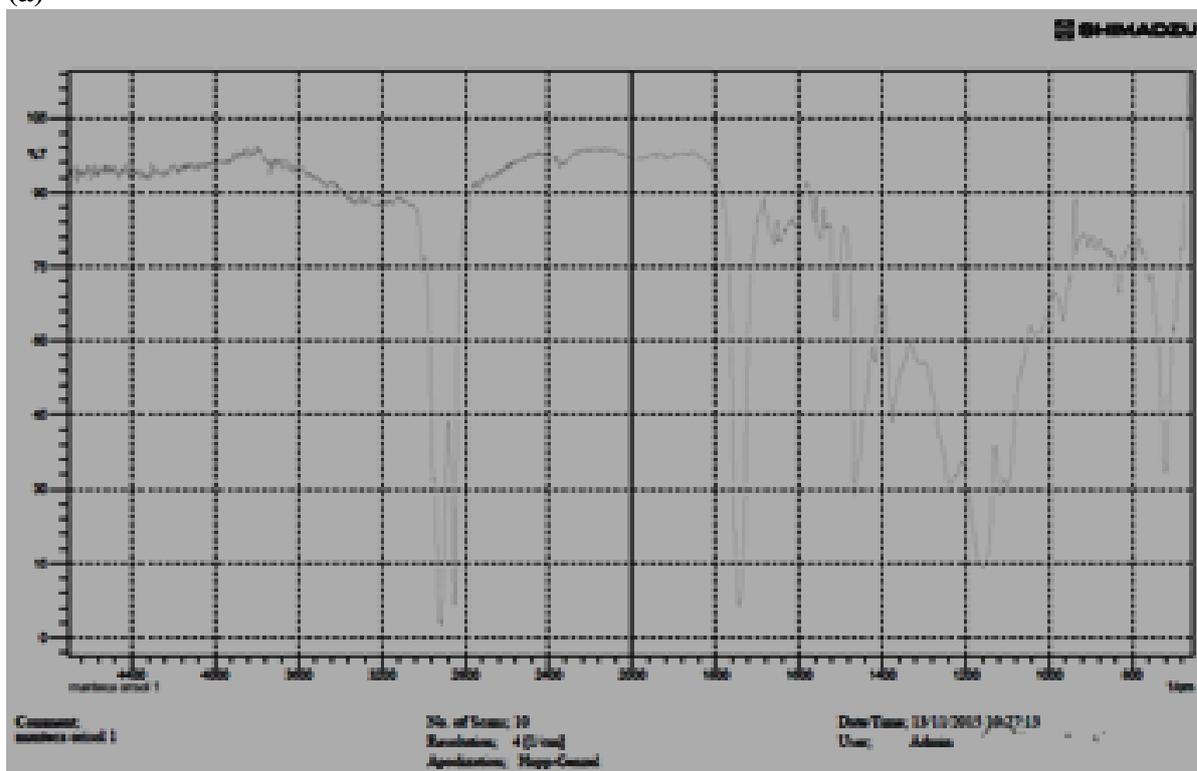


Fig. 71. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de margarina Dany light. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de margarina Dany light.

MUESTRA DE MANTECA ORISOL

(a)



(b)

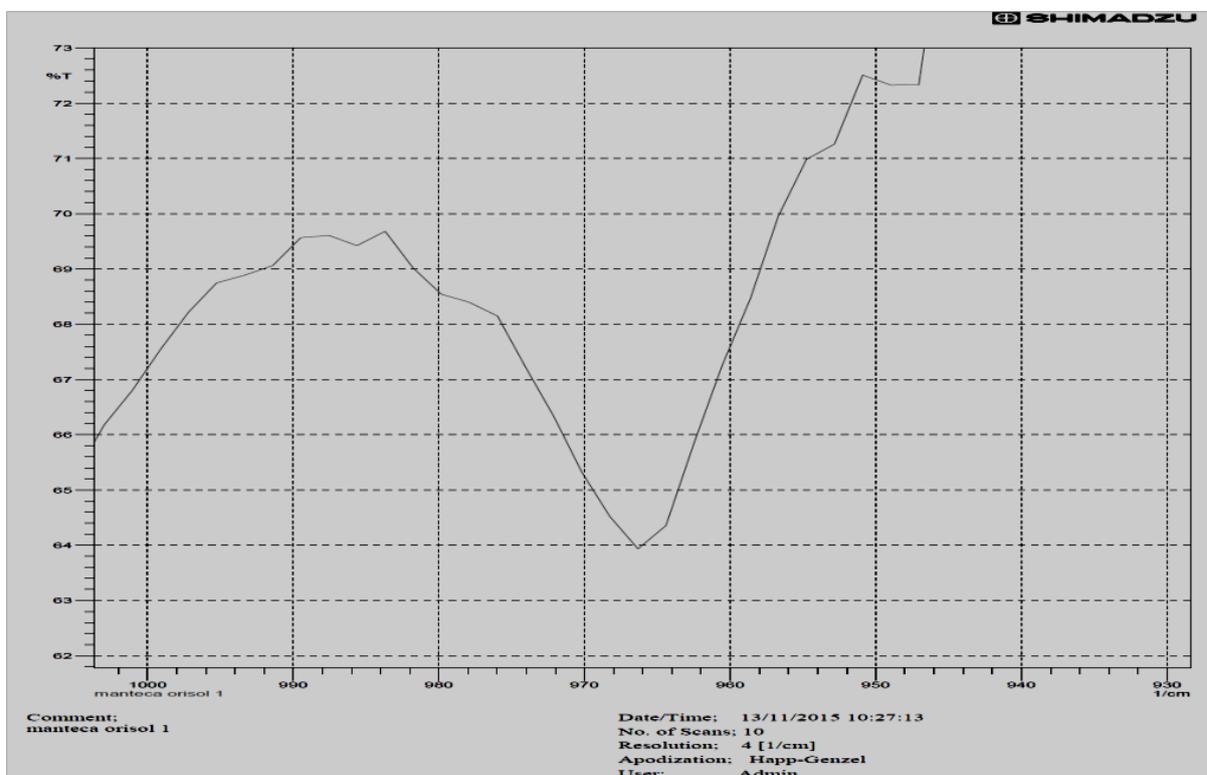
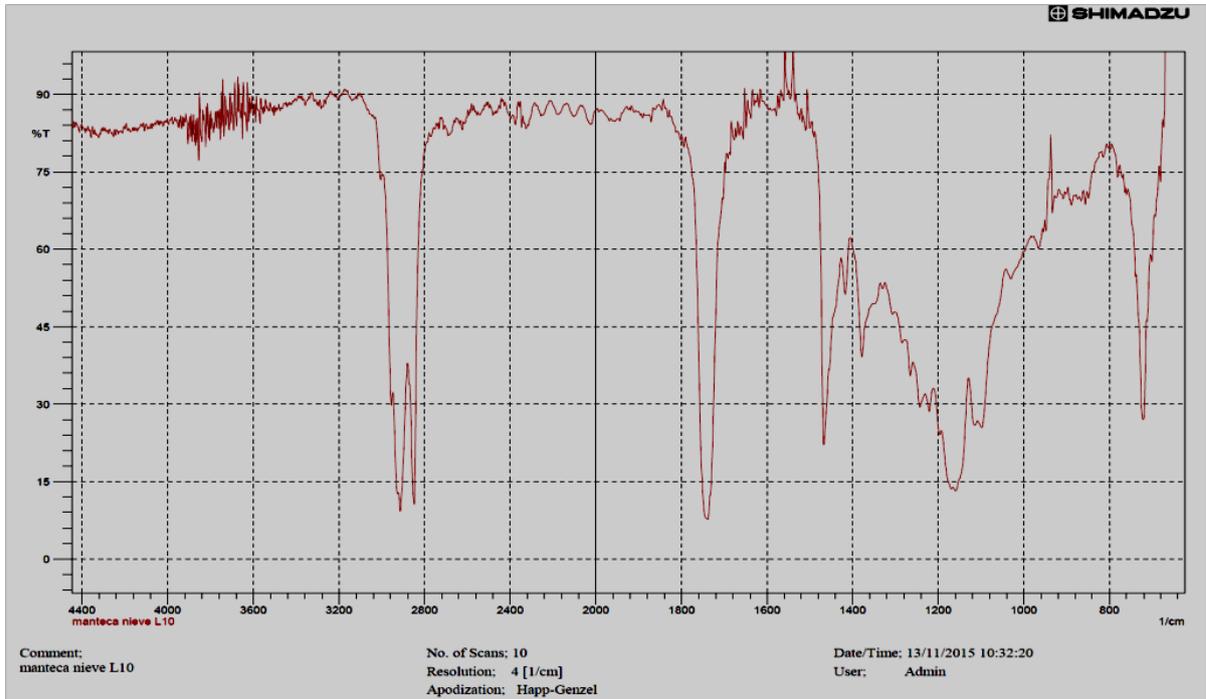


Fig. 72. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de manteca Orisol. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de manteca Orisol.

MUESTRA DE MANTECA NIEVE

(a)



(b)

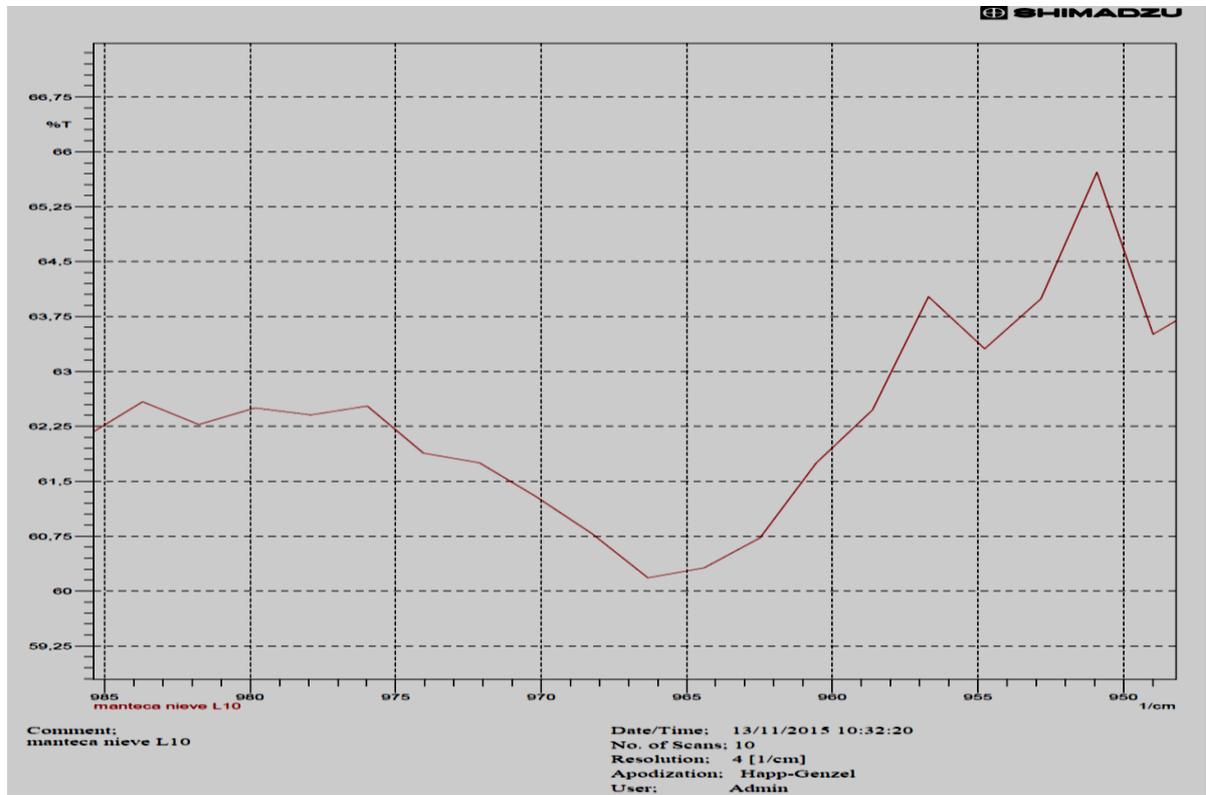
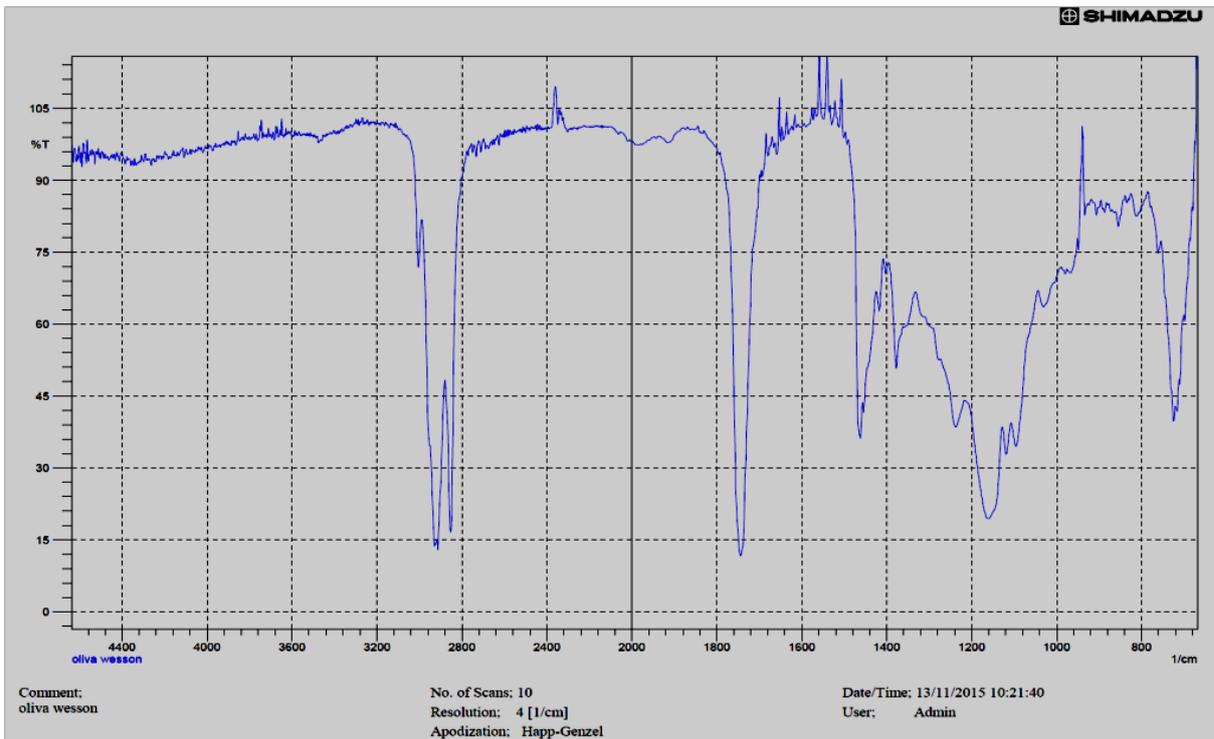


Fig. 73. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de mantequilla de Nieve. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de mantequilla de Nieve.

MUESTRA DE ACEITE DE OLIVA WESSON

(a)



(b)

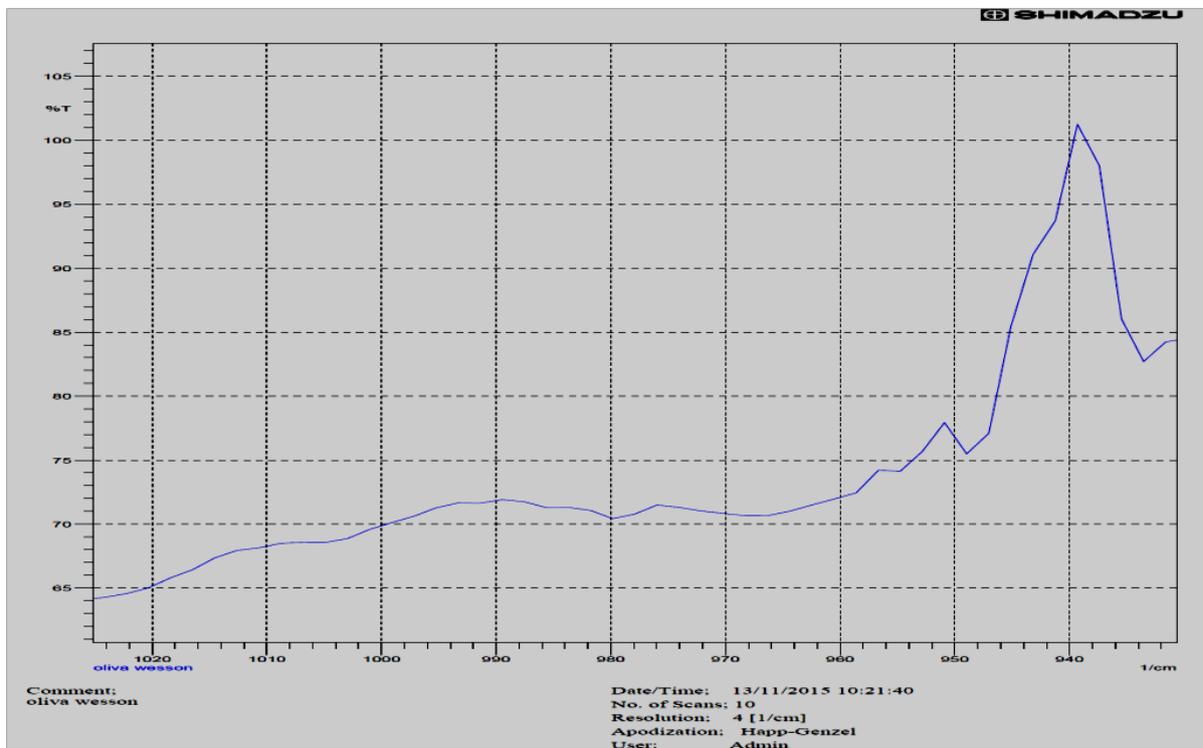
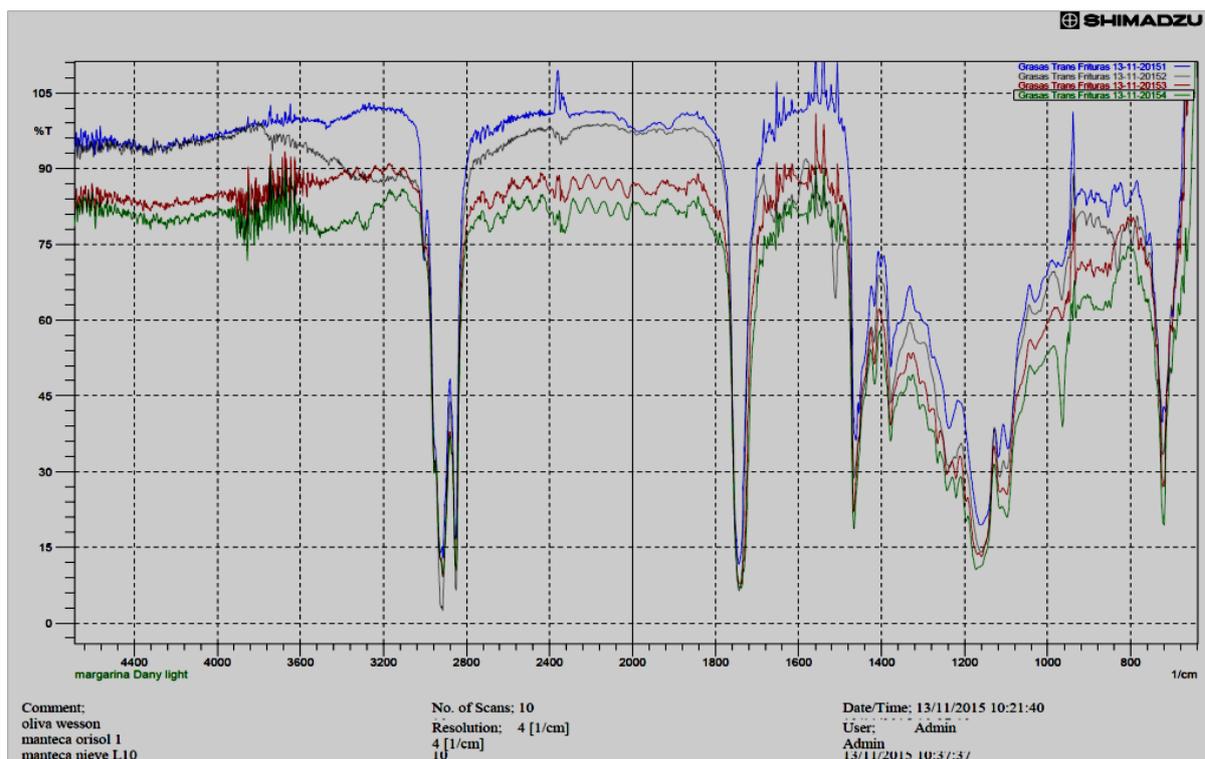


Fig. 74. (a) Espectro IR obtenido de la muestra de aceite de Oliva Wesson. Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . (b) Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} . Muestra de aceite de oliva Wesson.

(a)



(b)

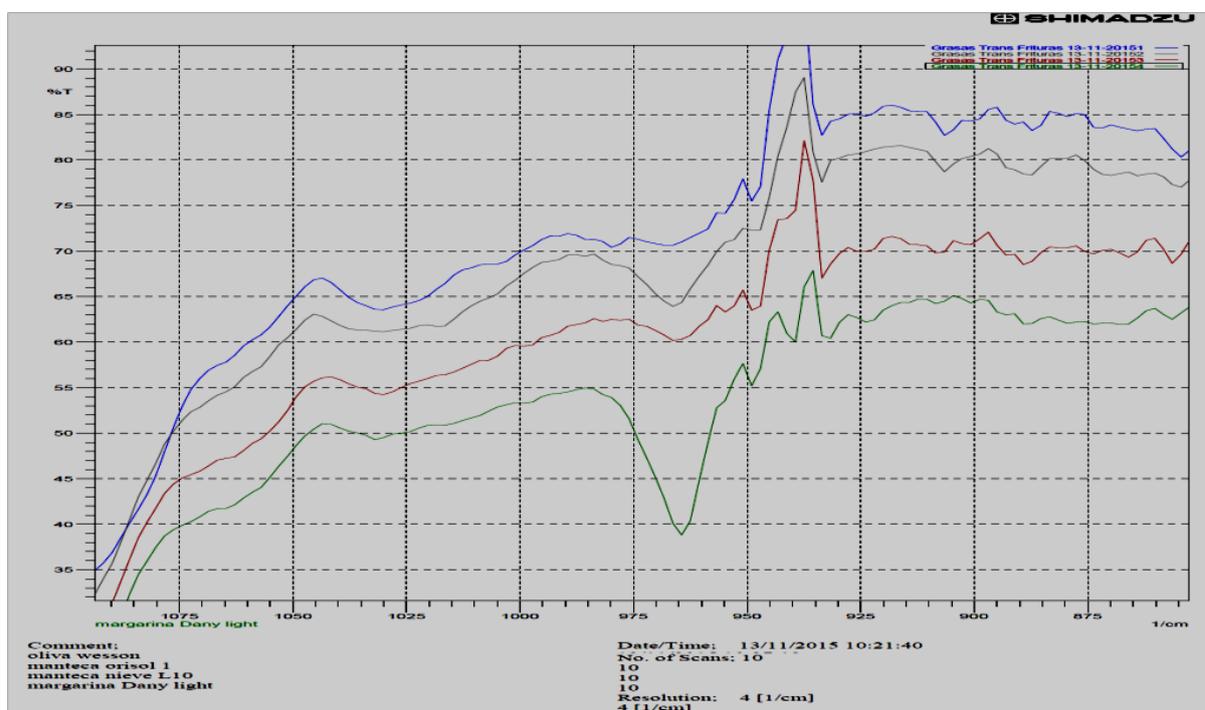


Fig. 75. (a) Espectros IR obtenidos del acoplamiento de las muestras margarina Dany light (pico verde), manteca Nieve (pico rojo), manteca Orisol (pico gris) y aceite de Oliva Wesson (pico azul). Espectro Infrarrojo región IR 4000 a 500 cm^{-1} . **(b)** Acercamiento al rango cercano a 966 cm^{-1} de acoplamiento de espectros IR obtenidos de las diferentes muestras margarina Dany light (pico verde), manteca Nieve (pico rojo), manteca Orisol (pico gris) y aceite de Oliva Wesson (pico azul).