



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Xochimilco

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**Perfil de ácidos grasos de la leche de cabra de diferentes razas y
alimentación del Altiplano Mexicano**

(Idónea Comunicación de Resultados)

Para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:

QFB. Norma Noguera Hernández

COMITÉ TUTORAL

Directora:

Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez

Codirector

Dr. Rutilio Ortiz Salinas

Ciudad de México, México 29 de septiembre 2022

COMITÉ TUTORAL



Director

Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Departamento de Producción Agrícola y Animal



Co-Director

Dr. Rutilio Ortiz Salinas

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Maestría en Ciencias Agropecuarias

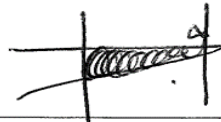
Ciudad de México, 29 de septiembre de 2022

Los que suscriben, miembros del jurado examinador de la alumna Norma Noguera Hernández con número de matrícula 2173805566 hace constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada “Perfil de ácidos grasos de la leche de cabra de diferentes razas y alimentación del Altiplano Mexicano”.

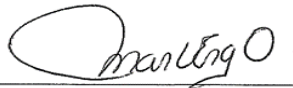
Tesis presentada para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias



Presidente
Dr. Alejandro Avalos Rodríguez
Universidad Autónoma Metropolitana
Departamento de Producción Agrícola y Animal



Secretaria
M en C. María de Lourdes Ramírez Vega
Universidad Autónoma Metropolitana
Departamento de Producción Agrícola y Animal



Vocal
Dra. Marcera Vergara Onofre
Universidad Autónoma Metropolitana
Departamento Atención de la Salud

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar al término de estos estudios.

A la Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Metropolitana en particular a la Dra. Marcela Vergara Onofre por su dedicación.

A mí Directora de Tesis, Dra. Beatriz Sofía Schettino Bermúdez, por su dedicación en esta tesis, como en la parte experimental dentro del Laboratorio de Análisis Instrumental, así como también en el Laboratorio de Bromatología, por su apoyo brindado con sus conocimientos, consejos en todo momento, su paciencia, su amistad y su valioso tiempo en la redacción para el término de este documento.

A mí CoDirector de la Tesis, Dr. Rutilio Ortiz por su apoyo con sus conocimientos, su paciencia, dedicación y su valioso tiempo en la redacción del documento.

A todos los que contribuyeron en el proceso de formación para realizar este documento.

GRACIAS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- A.C. Asociación Civil
- ACP Análisis de Componentes Principales
- AG Ácidos Grasos
- AGCS Ácidos Grasos de Cadena Saturada
- AGCM Ácidos Grasos de Cadena Monoinsaturada
- AGPI Ácidos Grasos de Cadena Polinsaturada
- AGI Ácidos Grasos Insaturados
- AGCL Ácidos Grasos Cadena Larga
- ALC Ácido Linoleico Conjugado
- ASTM Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
- CAL Calibración
- CG Cromatografía de Gases
- DRL Direct Readout Lab. Lectura de Salida Directa
- HPLC High Performance Liquid Chromatography
- MLR Regresión Lineal Multiple
- MPLS Mínimos Cuadrados Parciales Modificados
- NIRS Near Infrared Reflectance Spectrum

NIR	Near Infrared Reflectance
PLS	Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales
PCA	Principal Component Analysis
R	Reflectancia
R^2_c	Coefficientes de determinación de la calibración
R^2_p	Coefficientes de determinación de la predicción
RPD	Desviación Residual Predictiva
SEC	Error Estándar de Calibración
SECV	Error Estándar de Validación Cruzada
SEP	Error Estándar de Predicción
SEP [C]	Error Estándar de Predicción de la Calibración
SEP [ve]	Error Estándar de Predicción de la validación externa
T	Transflectancia
VL	Variables Latentes

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Porcentaje de la composición de Ácidos Grasos de Referencia en Grasa de Leche de Cabra
- Tabla 2. Granjas Productoras de Leche de Cabra (Apaseo el Grande, Gto)
- Tabla 3. Precisión y Exactitud del perfil de Ácidos Grasos, expresada en (g/100g) en la Grasa Butírica Certificada (CRM 164 de la Comunidad Europea, Bruselas, Bélgica) por Cromatografía de Gases
- Tabla 4. Composición Química de las Dietas (Porcentaje en base seca) de las cuatro UP de Apaseo el Grande, Guanajuato
- Tabla 5. Perfil de Ácidos Grasos de la leche de Cabra de cuatro Razas de las Unidades Productoras de Apaseo el Grande, Guanajuato
- Tabla 6. Composición de Ácidos Grasos de la Leche de Cabra de cuatro Unidades Productoras de Apaseo el Grande, Guanajuato
- Tabla 7. Valores preliminares del desarrollo de base de datos del perfil de ácidos grasos de la leche de cabra en el NIRS

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Métodos de Cuantificación de Ácidos Grasos en Leche de Cabra
- Figura 2.** Región del Espectrofotómetro Infrarrojo Cercano NIRS
- Figura 3.** Tipos de Medición NIRS
- Figura 4.** Representación de la Radiación Electromagnética en la Muestra en el NIRS
- Figura 5.** Imagen del Sitio de Trabajo Apaseo el Grande, Guanajuato
- Figura 6.** Cromatografía de Gases Shimadzu
- Figura 7.** Procedimiento NIRS en Leche de Cabra Líquida
- Figura 8.** Procedimiento de Deshidratación en Leche de Cabra
- Figura 9.** Diagrama de Flujo del Método de Calibración NIRS
- Figura 10.** Distribución de las Unidades Productoras acordes a la Alimentación en el Análisis de Componentes Principales
- Figura 11.** Distribución de las Unidades Productoras y su Relación con el Perfil de AGS, AGMI, AGPI en su Análisis de Componentes Principales
- Figura 12.** Imagen conjunto de espectros de leche de cabra deshidratada en el software Winisi
- Figura 13.** Imagen gráfica Tridimensional del análisis de las muestras de leche de cabra en el NIRS

INDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	i
Índice de abreviaturas	ii
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Resumen	ix
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
General	3
Específicos	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
HIPÓTESIS	3
1. MARCO TEORICO	4
1.1 Ganado caprino.....	4
1.2 Ganado caprino a nivel mundial.....	4
1.3 Ganado caprino nacional.....	5
1.4 Lípidos de la leche de cabra.....	8
1.5 Ácidos grasos de la leche de cabra.....	8

1.5.1.	Métodos de cuantificación de ácidos grasos.....	10
1.6	Espectroscopia de infrarrojo Cercano.....	11
1.6.1.	Tipos de medición NIRS	12
1.7	Aplicaciones NIRS en la cuantificación de la composición de leche de cabra.....	13
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1	Localización del área de estudio	14
2.1.1.	Unidades de producción	15
2.2	Cabras	16
2.3	Alimentación.....	16
2.4	Método de Muestreo	29
2.4.1.	Toma de muestra	30
2.5	Método de cromatografía de gases	17
2.5.1.	Extracción de la grasa láctea de cabra.....	17
2.5.3.	Análisis de los ácidos grasos por el método de cromatografía de gases	18
2.5.4.	Análisis estadístico	20
2.6	Método NIRS. Espectroscopia de Infrarrojo Cercano.....	21
2.7	Método NIRS extracto seco de leche de cabra	22

3.	RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	25
3.1	Evaluación de la precisión y exactitud en el análisis de ácidos grasos por cromatografía de Gases.....	38
3.2	Composición nutrimental de las cabras.....	27
3.3.	Evaluación del perfil de los ácidos grasos de la grasa láctea de la leche de cabra por cromatografía de gases.....	28
3.4	Perfil de los ácidos grasos de la grasa láctea de la leche de cabra de cuatro unidades de producción de Apaseo el Grande, Guanajuato.....	31
3.5	Análisis de componentes principales en las unidades productoras de leche de cabra en Apaseo el Grande, Guanajuato.....	33
3.6	Análisis de componentes principales en el perfil de los ácidos grasos de la grasa láctea de la leche de cabra CG de referencia en las unidades productoras.....	35
3.7	Base de datos para usarlos en el desarrollo de curva de calibración del contenido de ácidos grasos de la grasa láctea de cabra con el método NIRS.....	38
4.	CONCLUSIONES	42
5.	BIBLIOGRAFÍA	43
6.	ANEXOS	56

RESUMEN

La demanda de la leche en el mundo continúa en crecimiento por su importancia económica, social y nutricional. La leche de cabra es considerada de interés, por la composición de ácidos grasos que se relacionan con la alimentación, adición de suplementos, raza entre otros (Nudda et al., 2003) (Bernard et al., 2009). El objetivo de este estudio fue evaluar el perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra de diferentes razas y alimentación del Altiplano Mexicano con el fin de elaborar una base de datos para posteriormente utilizarla con el método alternativo de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) y generar modelos de predicción para determinar el contenido de ácidos grasos en la grasa láctea de cabra.

Se determinó por cromatografía de gases el perfil de ácidos grasos de la leche de cabra de las razas Saanen, Alpina, Nubia, Toggenburg, así como la composición química de las dietas suministradas a las cabras. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el perfil de ácidos grasos entre las razas Nubia, Toggenburg con Saanen. En algunos componentes de las dietas se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las distintas unidades productoras.

En el análisis de componentes principales entre la alimentación de las cabras en las distintas unidades productoras sobre el perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra se observó que la alimentación de las unidades productoras influyó en el perfil de los ácidos grasos de la leche, en especial en los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados.

Finalmente se desarrolló una base de datos preliminar con los espectros de la leche de cabra y el perfil de ácidos grasos utilizando como un método alternativo la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS).

Con los resultados hasta el momento obtenidos sugieren que el análisis NIRS es una buena opción para análisis de ácidos grasos en la leche de cabra.

INTRODUCCIÓN

La leche de cabra contiene componentes nutricionales benéficos para el ser humano (Bidot, 2017). Por lo que es de interés cuantificar los ácidos grasos de la grasa láctea por la importancia que tienen en la nutrición y la salud. Se ha encontrado en particular a los ácidos grasos linoleico conjugado y alfa- linoléico asociados con efectos favorables en las terapias de enfermedades cardiovasculares y actividad antitumoral (Parodi, 2006).

Se destacan en producción de leche de cabra principalmente los estados de Guanajuato, Coahuila y Durango, en conjunto aportaron el 70.7% del total nacional (SIAP, 2019). En el 2021 la producción nacional fue de 166 millones 546 mil litros de leche de caprinos. Gran parte de la producción de leche de cabra se ocupa en la elaboración de dulces y quesos, debido a la demanda nacional e internacional (SIAP, 2019); y llegan a alcanzar un alto valor agregado que representa para los productores una oportunidad para aumentar su producción y mejorar su economía familiar.

La grasa láctea de cabra es de importancia nutricional y comercial, debido a sus propiedades químicas que le proporcionan características específicas a los derivados lácteos de cabra. La proporción de grasa en la leche de cabra constituye un 3.25 – 4.2 hasta 7.1% (Shingfield et al., 2005). El contenido de grasa en la leche de cabra depende de factores tales como: raza, nutrición, (Morand-Fehr, 2005) rasgos individuales, época del año, periodo de lactancia entre otros.

El método de cromatografía de gases acoplado a un detector de ionización de Flama (FID), es el más utilizado por su resolución y eficiencia para analizar ácidos grasos de la leche (Amores et al., 2019), que incluye diversos pasos: extracción, esterificación, separación,

identificación y cuantificación, los cuales deben ser optimizados para alcanzar resultados exactos y precisos (Schettino et al., 2011).

En la actualidad han surgido nuevos avances tecnológicos en el estudio de la grasa láctea de la leche, como es el caso, del método de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) como una alternativa para analizar ácidos grasos en leche de cabra (Amores et al., 2019).

OBJETIVOS

General

Evaluar el perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra de diferentes razas y alimentación del Altiplano Mexicano.

Específicos

- Determinar el perfil de ácidos grasos en leche de cabra de diferentes razas.
- Determinar la composición química de la alimentación de las cabras en lactancia.
- Determinar el efecto de la alimentación sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de cabra.
- Desarrollar una base de datos con los espectros de la leche de cabra y el perfil de ácidos grasos por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- El perfil de ácidos grasos de la grasa láctea de cabra es diferente de acuerdo a la raza y la alimentación. Lo que repercute en los procesos de transformación de la leche al influir en la calidad, valor nutricional y propiedades funcionales a favor de la salud del ser humano.

HIPÓTESIS

El perfil de ácidos grasos en la leche de cabra será diferente por efecto de la raza y la alimentación de las diferentes unidades de producción del Altiplano Mexicano.

1. MARCO TEORICO

1.1 Ganado caprino

Los caprinos, son una especie en crecimiento en el mundo, estadísticamente hay 1 000 millones de ejemplares, que se encuentran distribuidos en entornos rústicos, regiones áridas y semiáridas rodeadas de vegetación autóctona (FAOSTAT, 2019).

Además, presentan ventajas inherentes como especie, por su capacidad de adaptabilidad a distintos climas, tasa metabólica alta, producción de leche de un 62% mayor por unidad de peso vivo en comparación con otros rumiantes, digestibilidad eficiente, hábitos alimenticios no selectivos, rápida reproducción, lactancias prolongadas. Esto hace de los caprinos una importante especie comercial (FAO, 2019). En cuanto a la presencia de la población caprina mundial FAOSTAT, reporta hasta el 2018 que el 99.6% se encuentra repartido en los continentes, de la siguiente manera el 52.5% en Asia, un 41.9% África, 3.6% en América y 1.6% en Europa (FAOSTAT, 2020).

El ganado caprino es de importancia a nivel económico, social y nutricional dentro de los países en desarrollo al utilizar su carne y leche para su autoconsumo y sustento (FAOSTAT, 2020).

1.2 Ganado caprino a nivel mundial

La producción de leche de cabra a nivel mundial en 2020 registró 20 629 610 millones de toneladas (FAOSTAT, 2022). Según datos de la FAO, la leche de cabra contribuye al suministro mundial con un 2.2% (FAOSTAT, 2020), siendo el 20% de la fracción de los países desarrollados, con solo un 5% de la población mundial, debido quizá a una marcada superioridad genética de los rebaños y sus sistemas de explotación intensiva.

1.3 Ganado caprino nacional

De acuerdo con las estadísticas de FAOSTAT (2018), México, aporta aproximadamente el 0.84% de la población mundial de caprinos, en cuanto a la producción de leche caprina fue de 0.87% anual (FAOSTAT, 2018).

La importancia e interés en la explotación de la leche de cabra en el mundo, se relaciona con el incremento en la demanda de los productos lácteos caprinos, probablemente por cambios en los hábitos alimenticios del consumidor para favorecer su salud, asociados a las propiedades de la composición de la leche de cabra (Haenlein, 2001).

1.3.1 Razas de Cabras.

Las principales razas de cabras manejadas en México para producción de leche: Alpina, Anglo Nubia, Saanen y Toggenburg (SAGARPA, 2017).

Vega y León et al. (2012), mencionan que cada raza tiene diferentes características, por su origen, capacidad lechera entre algunas.

Cabras de la raza Toggenburg: Son originarias de Suiza, del valle de Toggenburg. Sus tonos van de chocolate al castaño claro. El volumen de producción de leche por lactancia son 700 litros, con una producción entre 3 y 4 litros diarios. Los días de lactancia son de 240 a 270.

Cabras de la raza Nubia: Es una mezcla de cabras de orejas caídas y cabras provenientes del oriente. Se adaptan bien a todos los climas. Son conocidas por ser buenas productoras de leche, con excelente contenido de grasa (4-5%). Los días de lactancia son de 250.

Cabras de raza Alpina francesa: Tienen su origen en los Alpes Suizos Franceses. Es la raza más predominante en Francia. Color negro con manchas y franjas blancas. La producción de leche por lactancia es de 600 a 800 litros. Los días de lactancia son de 240 a 270.

Cabras raza Saanen: Proviene del Valle Saanen, Suiza, su tonalidad es blanca o crema claro, tienen una producción anual de 600 y 1000 litros de leche. Adaptable a climas templados fríos, fríos. La raza Saanen es de mayor distribución geográfica. El periodo de lactancia es de 270.

En la Tabla 1 se observa el perfil de AG de diferentes razas de cabra, por diversos autores.

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE DE CABRA DE DIFERENTES RAZAS Y ALIMENTACIÓN DEL ALTIPLANO MEXICANO

Tabla 1. Composición de ácidos grasos en por ciento de la leche de cabra en las distintas razas Nubia, Alpina, Toggenburg y Saanen

Ácidos Grasos	Nubia	Nubia	Nubia	Alpina	Alpina	Alpina	*Alpina	*Toggenburg	*Saanen	Saanen
C4:0 Butírico	1.90	4.20	2.43	1.76	1.9	2.64	3.0	1.6	6.1	2.09
C6:0 Caproico	2.42	1.53	2.36	2.34	1.9	2.11	3.0	1.9	8.7	3.64
C8:0 Caprílico	3.07	2.61	2.52	2.95	2.6	2.41	2.9	2.2	8.2	4.04
C10:0 Cáprico	9.47	6.34	5.51	11.2	9.3	9.35	8.4	7.8	24.4	11.20
C11:0 Undecanoico		0.83		0.40	0.10	0.24				
C12:0 Láurico	4.82	3.24	3.53	5.4	5.2	5.35	3.60	4.5	10.8	5.31
C14:0 Mirístico	10.24	8.68	9.81	11.4	10.8	11.99	10.1	11.0	25.0	10.50
C14:1 n9c Miristoleico		0.74	0.49	0.189	0.22	0.24	0.4	0	2.1	0.23
C15:0Pentadecanoico		1.40	0.51	1.11		1.29	1.3	1.2	4.2	0.87
C15:1Pentadecenoico							0.3	0	1.1	0.20
C16:0 Palmítico	24.54	28.3	27.9	28.5	23.2	27.47	20.0	13.4	44.6	24.30
C16:1 Palmitoleico	0.85	1.17	1.33	1.06	0.64	0.76	1.8	1.1	3.9	0.53
C17:0 Margárico		1.18	0.89	0.97	0.75	0.90	2.5	1.7	5.2	0.67
C17:1Heptadecenoico				0.29			0	1.5	1.0	
C18:0 esteárico	12.26	12.1	13.3	8.7	10.6	6.92	13.7	6.1	20.9	11.10
C18:1n-9trans Elaídico	0.35	2.13	2.75		0.41	0.61	9.4	2.4	10.5	0.35
C18:1n-9cis oleico	19.80	23.5	24.9	18.9	21.1	16.41	31.2	29.5	14.2	21.0
C18:2n-6trans Linoleico	1.74			2.9	0.26					
C18:2n-6ciLinoleico					0.17		7.3	0	14.6	2.68
C20:0 Araquidónico		0.89	0.87		0.98	0.22				0.33
C18: 3 n- 3Linolénico	0.28	0.36	0.34	0.53	0.81					0.55
ALC(C18:2 cis 9 trans 11)	0.498	0.56	0.47	0.68	2.6					
Autor	Chavari et al., (2020)	Kholif et al., (2019)	Kholif et al., (2018)	Rojo et al., (2015)	López et al., (2019)	Bernard et al., (2005)	Zannierah et al., (2019)			Yurchenko et al., (2018)

1.4 Lípidos de la leche de cabra

Según estudios elaborados por Nudda et al. (2003) y Bernard et al. (2009), la nutrición de las cabras tiene un papel importante en la síntesis de las grasas y la composición de los ácidos grasos, sus estudios afirman que se modifica la composición de los ácidos grasos de la leche de cabra de acuerdo con el tipo de forraje utilizado y la adición de aceites vegetales en la dieta. Mir et al. (1999) demostró que es posible incrementar el contenido del ácido linoleico conjugado de la leche de cabra al manipular la dieta de las cabras al suplementar con aceite de canola. Chilliard et al. (2007). Explican una interacción entre estos factores nutricionales y la calidad de la leche; por ejemplo, los forrajes tienen mejor efecto en la disminución de los ácidos grasos saturados en la leche de cabra e incrementa los ácidos grasos insaturados considerados favorables para la salud humana como el ácido oleico (C18:1), el ácido linolénico (C18:3n-3) y el ácido linoleico conjugado (C18:2 cis-9, trans-11).

1.5 Ácidos grasos de la leche de cabra

Los AG de cadena corta (AGCC), caproíco (C6:0), caprílico (C8:0) y cáprico (C10:0), son característicos en la leche de cabra y se asocian con las características de los sabores de los quesos. Éstos constituyen del 15 al 18 % en la composición y son mayores en la leche de cabra que de vaca (Boza y Sampelayo, 1997; Chilliard et al., 2006a). Además, estos AG son empleados como fuente de energía en nutrición clínica, en las fórmulas infantiles que ayudan a la digestión, metabolismo y absorción para otros ácidos grasos de cadena larga AGCL (Bach et al., 1989; Delplanque et al., 2015).

Otro AGCC como el ácido butírico (C4:0) parece ejercer un efecto protector frente al cáncer de colon (Parodi, 1999; Martínez et al., 2013).

Los AG de C12 a C16 forman triglicéridos de cadena media (TCM), que son de especial interés desde el punto de vista terapéutico, debido a su bajo peso molecular e hidrosolubilidad. La hidrólisis de éstos AG por medio de la enzima lipasa gástrica, libera los ácidos grasos que son absorbidos sin una nueva esterificación, entran directamente al torrente sanguíneo y llegan hasta el hígado y los tejidos, son empleados por el organismo como fuente rápida de energía, por lo que no suelen acumularse en el tejido adiposo (Sampelayo et al., 2007). Los triglicéridos de cadena media (TCM) alcanzan normalmente un porcentaje de 36 %, a diferencia de la leche de vaca con 21 % de estos compuestos (Haenlein, 2004).

El perfil de AG de la grasa láctea de la leche va desde C4 a C18. Los que se encuentran en concentraciones mayoritarias son C10:0, C14:0, C16:0, C18:0 y C18:1 que representan el 75 % del total.

La alimentación afecta la composición de los AG en la leche y su perfil se modifica si se cambian los ingredientes de la ración ofrecida. La suplementación de las dietas con aceites vegetales o semillas de oleaginosas incrementan los AGPI y el ALC, que son de interés nutricional (Sampelayo et al., 2007; Lerch et al., 2015). El ácido linoleico y linolénico, estimulan un efecto antitumoral a fin de contribuir al bienestar humano (Parodi, 1997, Chilliard et al., 2003; Chilliard y Ferlay, 2004). El ácido linolénico conjugado (ALC) es un grupo de familia de 28 isómeros potenciales, tales como el isómero ácido ruménico (C18: 2cis-9, trans-11) que actúa como inmunoestimulador, antihipertensivo, anticancerígeno, y propiedades antiaterogénicas, y promueve una reducción del peso corporal (Parodi, 1999).

Por lo que, se han suplementado las dietas con aceites vegetales o semillas de oleaginosas, con la finalidad de incrementar los AGPI y el ALC y obtener un alimento de mayor interés

nutricional (Chilliard et al., 2003; Chilliard y Ferlay, 2004; Sampelayo et al., 2007; Lerch et al., 2015).

Métodos de cuantificación de ácidos grasos

La mayoría de las técnicas actuales que se utilizan en la determinación de los ácidos grasos de la grasa láctea de cabra (Figura 1), son métodos de extracción, consumen solventes, son complicados y desintegran la muestra (Coppa et al., 2014; Tao et al., 2017).



Figura 1. Métodos de cuantificación de los ácidos grasos en leche de cabra

Para la cuantificación del perfil de ácidos grasos de leche de cabra se aplica ampliamente el método tradicional de cromatografía de gases (Firl et al., 2014), que es valioso, útil, deja precedentes en los estudios, además de contribuir con evidencias y lograr resultados exactos y precisos. No obstante, sigue siendo un desafío identificar diferentes isómeros de ácidos grasos en la grasa de la leche (Teng et al., 2017).

El método incluye pasos como son: extracción, esterificación, separación, identificación y cuantificación (Schettino et al., 2011) con limitantes y desventajas, pues requiere una gran

experiencia, es de elevado costo, emplea largos periodos de análisis, por lo tanto, no es factible para los análisis de una gran cantidad de muestras (Núñez et al., 2016).

Por lo que, las últimas investigaciones en nuevas tecnologías informan que surgen métodos ópticos que han sido estudiados, y muestran potencial como alternativa a los métodos convencionales en la aplicación para la determinación en la composición de los ácidos grasos (AG) en los productos lácteos (Vote et al., 2003; Tao et al., 2017).

1.6 Espectroscopia de infrarrojo Cercano

La espectroscopia de reflectancia del infrarrojo cercano NIRS cubre la banda espectral entre 700 - 2500 nm como se muestra en la Figura 2.

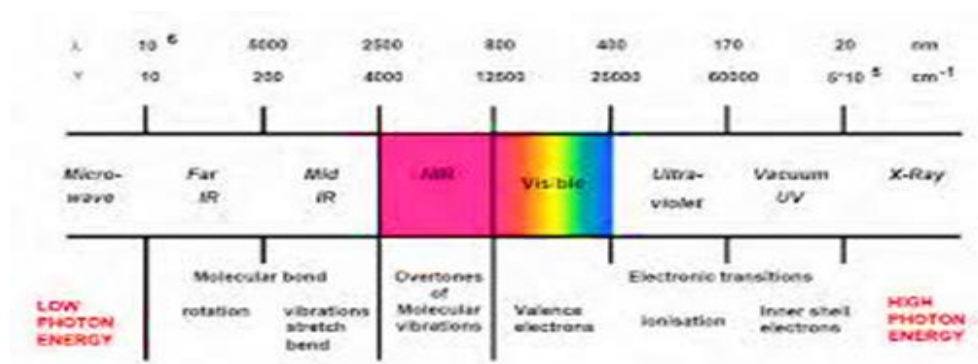


Figura 2. Región del Espectrofotómetro Infrarrojo Cercano NIRS (Murray, 2004)

Es un tipo de espectroscopia vibracional, que permite el análisis de las vibraciones moleculares. De acuerdo con la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), el método se basa en que la muestra analizada es irradiada por la luz (energía) NIRS, la radiación es reflejada, absorbida por enlaces moleculares C-H, N-H y O-H de la muestra, resultando cambios de energía de la luz. A su vez, los cambios de energía de la irradiación de la luz pueden reflejar algunos enlaces químicos destacados y, por lo tanto, las características de la muestra analizada (Qu et al., 2015; Tao et al., 2017).

Cuando el detector registra las ondas de luz reflejadas son transformados a datos sobre los cuales es aplicado el logaritmo como herramienta para transformar un rango amplio de datos y relacionarlo con datos lineales. Finalmente, los datos son presentados como $\log_{10} 1/T$ (Transflectancia) (Givens et al., 1997).

1.6.1. Tipos de medición NIRS

Existen tres distintos modos de medición en la tecnología NIRS, los cuales son: Reflectancia, Transmitancia y Transflectancia representada en la Figura 3.

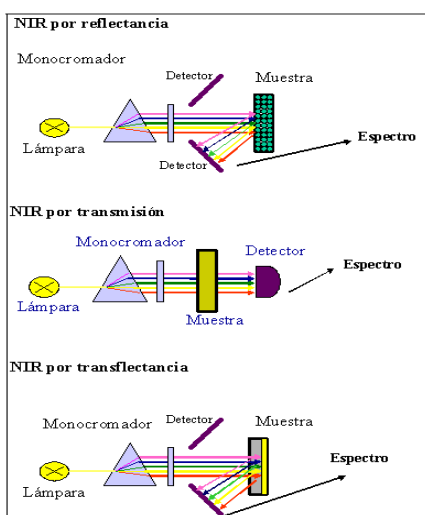


Figura 3. Tipos de medición NIRS www.researchgate.net/publication/28281954 (Bergera et al., 2015)

1.6.1.1 Modo Transflectancia

Es el efecto de la combinación de la reflectancia y transmitancia, se conoce también como doble transmisión. En este fenómeno parte de la luz incidente es reflejada en la muestra y otra parte la atraviesa, para ser reflejada por un material colocado en la cara opuesta de la

muestra, siendo recogida por el detector (Figura 4). Es la forma de medición rápida de la leche líquida con la aplicación NIRS (Šašić et al., 2000).

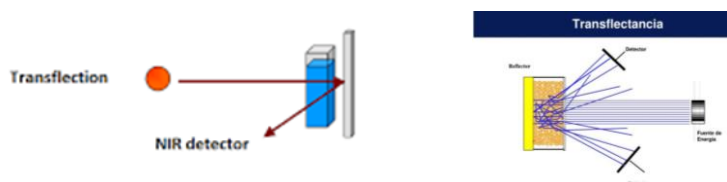


Figura 4. Representación de la radiación electromagnética en la muestra en el NIRS (Foss, 2004)

Este tipo de medición es de interés en el estudio para desarrollar un método alternativo y cuantificar ácidos grasos (AG) en muestras de leche.

1.7 Aplicaciones NIRS en la cuantificación de la composición de leche de cabra

En trabajos previos (Tao et al., 2017; Qu et al., 2015) evalúan la aplicación de la capacidad predictiva de la espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS, donde se concluye en que es un método fácil de bajo costo en la cuantificación de los ácidos grasos de leche de cabra.

Diferentes autores como, Holroyd. (2013), Andueza et al. (2013); Coppa et al. (2014) y Núñez et al. (2016), evalúan la predicción del contenido de grasa y perfil de ácidos grasos en diferentes especies de leche de vaca, cabra y oveja, mediante el uso de NIRS, en esos trabajos concluyen que logran buenos resultados en la predicción del contenido de grasa, así como también en la mayoría del perfil de ácidos grasos de la leche y además, destacan las cualidades del equipo NIRS como una herramienta rápida, consistente y económica para predecir el contenido de grasa y el perfil de ácidos grasos en leche. (Tao et al., 2017).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del área de estudio

La procedencia de las muestras de leche de cabra, fueron del municipio de Apaseo el Grande, estado de Guanajuato, México. Este municipio es uno de los 46 que conforman el Estado de Guanajuato en México, como se encuentra representada en la imagen de la Figura 5.



Figura 5. Ubicación del Sitio de trabajo, Apaseo el Grande, Guanajuato (<http://www.redinnovagro.in>)

El Municipio de Apaseo el Grande colinda al norte con los municipios de Comonfort y San Miguel de Allende; al Oriente con el estado de Querétaro de Arteaga; al Sur con el municipio de Apaseo el Alto; y al Poniente con la ciudad de Celaya, entre las coordenadas 20° 32' 37" latitud norte y entre 100° 41' 07" longitud oeste. Posee una extensión territorial de 415.26 km², lo que representa el 1.37% de la superficie total del estado, cuenta con una población total de 85,315 (INEGI, 2019). La región es semiárida con una temperatura promedio de 18.5°C.

2.1.1. Unidades de producción

Se seleccionaron 4 Unidades Productoras (UP) (Tabla 2) que pertenecen a la Asociación de ganaderos de productores (UPAGP) de Apaseo el Grande, Guanajuato A.C. Las Unidades Productoras están distribuidas en diferentes localidades (Tabla 2), por ejemplo las coordenadas, de la unidad productora 2 son 20033'01.07"N y 100041'20.70" O a 1768 msnm; unidad productora 1 a 20033'02.59"N y 100041'38.81", a 1770 msnm que son muy cercanas a la mayoría de las granjas en Apaseo el Grande.

Tabla 2. Unidades Productoras de leche de cabra con su alimentación (Apaseo el Grande, Gto)

Unidad Productora	Raza	Alimentación	Número de animales	Días de lactancia
UP1	Saanen, Alpina Francesa, Toggenburg,	Heno de alfalfa, concentrado	200	305
UP2	Saanen, Alpina Francesa Toggenburg, Nubia	Heno de alfalfa, concentrado, ensilado de maíz	200	305
UP3	Saanen	Heno de alfalfa, ensilado de maíz, concentrado	200	305

UP4	Saanen, Nubia	Heno de alfalfa, ensilado de maíz y concentrado	200	305
------------	---------------	---	-----	-----

2.2 Cabras

Las cabras se seleccionaron al azar de la asociación de productores para reunir la mayor cantidad de animales en lactación. La leche de cabra fue tomada de las siguientes razas de cabras: Toggenburg, Alpina, Saanen y Nubia. Para el experimento se utilizaron cabras en estado de lactancia con diferente número de parto y edad. La raza de cabra que predomina es la Saanen con un 80%, en cuanto a la Alpina Francesa y Toggenburg representan el 15% y 5% respectivamente.

2.3 Alimentación

La alimentación de las cabras lactantes en las diferentes Unidades de Producción (UP) de la UPAGP de Apaseo el Grande, así como las características de la raza, número de animales y días de lactancia, se observan en la Tabla 2. Las dietas de las cabras en su mayoría estuvieron compuestas por concentrado y heno de alfalfa en las UP1 y 2. En la UP3 y UP4 además de los alimentos antes mencionados se incluye ensilado de maíz. Las cabras se encuentran bajo un sistema estabulado.

Los métodos aplicados para el Análisis Químico Proximal a las dietas de las cabras se hicieron según marca AOAC, 2005. Anexo 1. Técnicas, procedimiento para la obtención del contenido de la composición en Grasa, Proteína y Fibra.

2.4 Método de Muestreo

El muestreo es una operación que requiere que la muestra sea representativa. La variación se asegura con una distribución uniforme normal con el fin de evitar sesgos y se justifica mediante el desarrollo de tiempos de muestreo de las actividades de trabajo (EMA, 2012).

La toma de muestra fue aleatorio longitudinal.

2.4.1. Toma de muestra

Las muestras de leche para el desarrollo del experimento fueron cuidadosamente seleccionadas y representativas, la recolección de la leche fue mensual durante el año 2018.

Las muestras se colectaron a las 07:00 am de los tanques de almacenamiento previa homogenización en recipientes de plástico de 1000 mL, conservadas a una temperatura de 4°C, en el contenedor de transporte, siguiendo la técnica de conservación para leche, según NMX-F-718-COFOCALEC-2006 para su inmediato análisis en laboratorio

2.5 Método de cromatografía de gases

2.5.1. Extracción de la grasa láctea de cabra

En la separación de la grasa con detergente, éste con las proteínas para formar un complejo proteína – detergente que rompe emulsiones y libera la grasa utilizando calor para facilitar la separación de los lípidos de otros componentes de la leche (ISO 14156 IDF 172; ISO, 2001).

El método empleado fue el propuesto por Frank et al. (1975), se midieron 250 mL de cada muestra de leche en un matraz volumétrico de 500 mL y se adicionaron 250 mL de la solución detergente. El matraz se agitó vigorosamente y se colocó en un baño de agua a 90°C, hasta lograr la separación de la materia grasa en el cuello del matraz. La grasa se extrajo con pipeta Pasteur y se filtró a través de papel filtro Whatman número 4, en presencia de sulfato de sodio anhidro a una temperatura de 50°C Las muestras de grasa anhidra se conservaron en viales ámbar previamente etiquetados y almacenadas a -20°C hasta proceder a su análisis por cromatografía de gases.

2.5.2. Derivatización (metilación) de los ácidos grasos de la grasa láctea

Es la preparación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos para determinar el perfil de ácidos grasos, es la etapa fundamental previa al análisis cromatográfico.

La metilación de los ácidos grasos se hizo por el método del ISO 15885 IDF 184 (ISO, 2002). Se pesaron 25 mg de grasa láctea en un tubo Eppendorf y se adicionaron 200 μ L de n-hexano más 50 μ L de una solución de hidróxido de potasio en metanol 2N (0.5 g/5 mL), se agitó en vortex durante un minuto y se dejó reposar en un baño de hielo para evitar pérdida de los ácidos grasos volátiles. Se adicionaron 0.13 g de hidrogeno sulfato de sodio, se agitó en vortex y se centrifugó a 14000 rpm durante 5 min en una microcentrífuga de tubo Eppendorf. Se tomaron 100 μ L del sobrenadante y se vertieron a un vial ámbar de 2 mL al cual se adicionaron 400 μ L de n-hexano, agitando de nuevo en vortex, para proceder a su inyección al cromatógrafo de gases.

2.5.3. Análisis de los ácidos grasos por el método de cromatografía de gases

La cromatografía de gases consiste en introducir al puerto de inyección del cromatógrafo de gases, los ésteres metílicos de los ácidos grasos presentes en los aceites y grasas. Estos se vaporizan y transportan por un gas inerte a través de la columna capilar, con un líquido de reparto que presenta solubilidad selectiva con los componentes de la muestra, ocasionando su separación. Los componentes se eluyen de la columna pasan uno a uno por el detector, el cual genera una señal eléctrica proporcional, la que es transformada por el integrador en una gráfica de la señal obtenida contra tiempo llamada cromatograma (NMX-F-017-SCFI-2011; NMX-F-818-SCFI-2018; ISO, 2014).

Estándar de Referencia

Se utilizó una mezcla estándar de ácidos grasos Supelco 37 Component FAME Mix analytical standard (ésteres metílicos de ácidos grasos, FAME por sus siglas en inglés (Fatty Acid Methyl Ester)).

Cromatógrafo

Condiciones cromatográficas. Se utilizó un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama, Shimadzu GC-2010 Plus, (Figura 6) acondicionado con una columna capilar Supelco de 100 m, 0.25 mm de diámetro interno y 0.2 μ m de espesor de película (SPTM-2560, Fused Silica, Cat. N° 24056), con las siguientes temperaturas: horno a 140°C, detector a 270°C e inyector a 250°C. Se utilizó el siguiente programa de temperaturas: T1= 140°C que se mantuvo durante 5 minutos, después con incremento de 5°C/minutos hasta T2= 195°C manteniéndola durante 1 minuto; elevando 6°C/minuto hasta llegar a T3= 220°C manteniéndola por 20 minutos para luego incrementar 5°C/minuto hasta llegar a T4= 240°C durante 5 minutos. El tiempo total de corrida fue de 50.17 minutos.

Se utilizó como gas acarreador nitrógeno a 32.5 psi y flujo de 10 mL/minuto, en modo de inyección split. El registro e integración de los picos cromatográficos se realizó mediante el software Shimadzu GC Solution Chromatography Data System Version 2.4. La identificación y cuantificación de los ácidos grasos de la grasa láctea se realizó por el método del estándar interno, se compararon tiempos de retención y áreas de los picos cromatográficos de la grasa láctea con los del estándar de ácidos grasos.

El volumen de inyección fue de 1 μ L para la mezcla estándar y las muestras de grasa.



Figura 6. Cromatógrafo de gases Shimadzu (UAM-X)

2.5.4. Análisis estadístico

Los ácidos grasos característicos de la leche de cabra fueron analizados de la siguiente manera: C4:0, Butírico; C6:0, Caproico; C8:0, Caprílico; C10:0, Cáprico; C12:0, Láurico; C14:0, Mirístico; C14:1; C15:0, ácido Pentadecanoico; C16:0, Palmítico; C16:1, Palmitoleico; C17:0 ; C17:1; C18:0, Esteárico; C18:1n-9trans, ácido graso ruménico; C18:1n-9cis, ácido oleico; C18:2n-6trans; C18:2n-6cis; C18:3n-3; ALC, Ácido Linoleico Conjugado; Σ AGS, Suma de Ácidos Grasos Saturados; Σ AGMI, Suma de Ácidos Grasos Monoinsaturados; Σ AGPI y la Suma de Ácidos Grasos Polinsaturados.

Se realizaron tres repeticiones y los resultados se expresaron a través de la media \pm desviación estándar. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando la estadística Software de análisis (Versión 21.0, SPSS, IBM, 2012, EE. UU.). Los resultados se considerarán estadísticamente significativos a $p < 0.05$.

También con los datos se ejecutó análisis estadístico de Componentes Principales (ACP) con el Software XLSTAT versión 1.2 para visualizar el comportamiento de las variables.

2.6 Método NIRS. Espectroscopia de Infrarrojo Cercano

El método NIRS es un método analítico secundario. Para su desarrollo como método alternativo en la predicción del contenido del perfil de los ácidos grasos en la grasa láctea de la leche de cabra, se requiere utilizar los resultados obtenidos del análisis del contenido del perfil de ácidos grasos en la grasa láctea de la leche de cabra por el método de referencia, la cromatografía de gases. En consecuencia, el rendimiento cuantitativo del método de calibración con el Instrumento NIRS depende del rendimiento del método de referencia (EMA, 2012).

2.6.1. Procedimiento del método NIRS

Cada uno de los elementos clave, dentro del aparato NIRS, se habilitan en la medición del analito de interés, en el caso de la leche de cabra, los datos espectrales obtenidos fueron que analizados mediante el software quimiométrico (EMA, 2012).

El fundamento de la medición es la siguiente, un haz de radiación incidente entra por la cara transparente de la cubeta, atraviesa la muestra y se refleja en la otra cara de la cubeta. Así retorna de nuevo atravesando la muestra y la radiación es captada por el detector. La muestra líquida se coloca en una cubeta que tiene un paso óptico de cuarzo y una pared de aluminio que es una superficie reflejante que incide en la muestra para hacer la medición. El método NIRS hace la medición rápida y directa del material con ninguna preparación de muestra, generando espectros complejos, interpretados mediante el método del modelo quimiométrico (EMA, 2012).

Las muestras de leche de cabra fueron utilizadas a temperatura ambiente, estas se agitaron suavemente para su homogenización y no romper los glóbulos de grasa, se trasvasó la leche de cabra a la cubeta (Figura 7), enseguida se introdujo la cubeta al porta muestra que fue

colocado en el instrumento, se realizó el análisis NIRS con las siguientes condiciones espectrales: intervalos de 2 nm desde 400 nm hasta 2498 nm, en 1 min/muestra después en el interior del equipo se realizó en el desarrollo del análisis NIRS un escaneo con 32 repeticiones utilizando como referencia la placa de cerámica interna (Foss, 2004).



Figura 7. Procedimiento NIRS en leche de cabra líquida (Equipo Foss, UAM-X)

Posteriormente se generó la información espectral, en el software Isiscan versión 4.2, los resultados se recogieron como $\log(1/T)$. Todos los datos obtenidos se almacenaron en la memoria interna del equipo, luego se copiaron en formato NIR para exportarlos al software Winisi versión 4.2. Por último, se almacenó el archivo para después realizar la calibración y el tratamiento quimiométricos con todos los datos en el Software Winisi.

2.7 Método NIRS extracto seco de leche de cabra

El alto contenido de agua en la muestra de leche líquida afecta la precisión del análisis NIRS (Figura 8), se representa el procedimiento de secado ya que la fuerte banda de absorción que presenta este componente en la región de absorción en los espectros de la grasa de leche de cabra limita su detección. Para evitar su influencia en el espectro se tiene que eliminar (Meurens et al., 1987; Coppa et al., 2010; Andueza et al., 2013).



Figura 8. Procedimiento de deshidratación en leche de cabra

El método NIRS como una alternativa de cuantificación de los ácidos grasos de la leche de cabra, debe considerarse un método de calibración y una validación para usarlo como método NIRS (EMA, 2012).

El instrumento NIRS no se “calibra” como un balance donde las lecturas son ajustadas simplemente hacia arriba o abajo a un valor estándar. El instrumento debe ser capacitado para reconocer diferentes productos y elementos. Este proceso de “formación” se llama método de calibración donde los puntos críticos son el tipo de muestras, tipo de análisis y valores de referencia (Figura 9), (Groenewald, 2019).

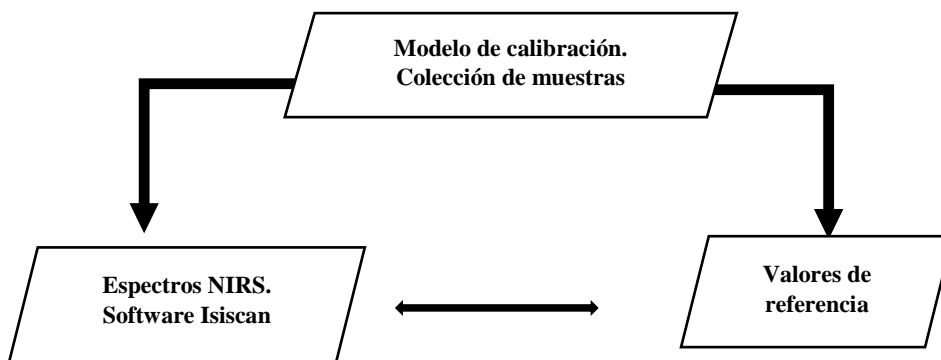


Figura 9. Diagrama de flujo del método de calibración NIRS

La creación de una base de datos se forma con un número de espectros de muestras, las cuales deben contar con el dato de análisis de referencia (Foss, 2004).

Los espectros de las muestras de leche de cabra que se generaron con el procedimiento NIRS y que se guardaron en el Software Isiscan versión 4.2, se utilizaron para crear la base de datos con la adición del resultado obtenido en la cromatografía de gases, para cada uno de los 37 ácidos grasos de la leche de cabra. A continuación, se transfirió la base de datos al Software Winisi versión 4.2, para posteriormente proceder con el procedimiento del tratamiento de los modelos quimiométricos.

3. RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

3.1 Evaluación de la precisión y exactitud en el análisis de ácidos grasos por cromatografía de Gases

Se determinaron los valores de precisión y exactitud por cromatografía de gases para cada uno de los ésteres metílicos de los ácidos grasos de referencia, a partir de la grasa butírica (CRM 164 de la Comunidad Europea, Bruselas, Bélgica) (Tabla 3).

Se estimó la exactitud para cada uno de los ésteres metílicos de los ácidos grasos con un intervalo de 90 - 100%. En la precisión la desviación estándar fue de 0.01 a 0.27, excepto para el C18:2n-6cis Linoleico.

La exactitud del ácido graso cáprico de los 21 ácidos grasos detectados fue el valor con menor porcentaje de 89.15%. Los resultados obtenidos indica que existió una alta precisión por el equipo de cromatografía de gases, considerando que el valor teórico del 80% se considera aceptable (NMKL, 2009).

Los valores de la medición de los ésteres metílicos de los ácidos grasos refieren que el método es confiable. En el Anexo 3, se presenta la Figura 1a. Cromatograma de los esteres metílicos de referencia.

Tabla 3. Precisión y Exactitud del perfil de ácidos grasos, expresada en (g/100g) en la Grasa Butírica Certificada (CRM 164 de la Comunidad Europea, Bruselas, Bélgica) por cromatografía de gases

ÁCIDOS GRASOS	VALOR DE REFERENCIA	MUESTRAS DE GRASA BUTÍRICA DE MANTEQUILLA n=10		
		MEDIA	Desviación Estándar (PRECISIÓN)	% EXACTITUD
C4:0 (Butírico)	3.65	3.61	0.27	98.93
C6:0 (Caproico)	2.37	2.37	0.14	100
C8:0 (Caprílico)	2.93	2.33	0.06	95.28
C10:0 (Cáprico)	3.28	2.93	0.14	89.15
C11:0 (Undecanoico)	0.29	0.29	0.03	100
C12:0 (Láurico)	3.28	3.00	0.05	91.52
C14:0 (Mirístico)	10.64	10.64	0.09	100
C14:1 (Mirístoleico)	0.99	0.99	0.04	100
C15:0 (Pentadecanoico)	1.03	1.03	0.02	100
C15:1 (Pentadecenoico)	0.25	0.25	0.01	100
C16:0 (Palmítico)	30.66	30.66	0.15	100
C16:1 (Palmitoleico)	0.19	0.19	0.01	100
C17:0 (Margarico)	0.53	0.53	0.01	100
C17:1 (Heptadecenoico)	0.31	0.31	0.03	100
C18:0 (esteárico)	9.85	9.85	0.06	100
C18:1n-9trans (Eláidico)	2.46	2.46	0.05	100
C18:1n-9cis oleico	18.51	18.51	0.13	100
C18:2n-6trans Linoleico	0.25	0.23	0.01	90.93
C18:2n-6cis Linoleico	2.04	1.83	0.96	90
C18: 3 n-3 (Linolénico)	0.37	0.37	0.05	100
ALC (C18:2 cis 9 trans 11)	0.54	0.54	0.07	100

3.2 Composición nutrimental de las cabras.

La alimentación fue bajo un sistema estabulado y acorde a la información que se aprecia en la Tabla 2 de materiales y métodos.

El contenido en porcentaje de proteína, grasa y fibra cruda de las dietas de las cuatro UP, se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición química de las dietas (porcentaje en base seca) de las cuatro unidades productoras de Apaseo el Grande, Guanajuato

	UP1	UP2	UP3	UP4
GRASA	7.48 ± 1.64 ^a	10.05 ± 1.75 ^b	5.07 ± 0.94 ^c	3.87 ± 0.37 ^c
PROTEÍNA	34.91 ± 2.91 ^a	55.51 ± 3.30 ^b	53.20 ± 2.18 ^b	53.48 ± 2.88 ^b
FIBRA CRUDA	30.58 ± 3.64 ^a	56.03 ± 6.44 ^b	69.61 ± 4.48 ^c	57.35 ± 2.92 ^b

^{a,b,c} Letras diferentes en filas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). UP = Unidad de producción

Al comparar los valores de la composición química de las dietas de cada UP se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de grasa entre las UP 1 y 2 y éstas con las UP 3 y 4. El valor de la UP2 fue mayor que el resto de las unidades. En el contenido de proteína presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la UP1 con UP2, UP3 y UP4, se observa que el valor de proteína fue menor en la UP1. En lo que respecta al contenido de fibra cruda se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las UP 1 con el resto de las UP, así como también las UP 2 y 4 con las UP 1 y 3. En la UP 1 se observa el valor más bajo para fibra cruda, ya que en esta UP no incorporan ensilado de maíz en la dieta de las cabras.

La composición de las dietas es importante en la producción de leche. Diversos estudios mencionan la importancia en el contenido de grasa en las dietas de cabras lactantes (Dauber et al., 2022; Chilliard et al., 2007).

De acuerdo con Nudda et al. (2021) mencionan que el aporte de nutrientes de la alimentación es importante, ya que favorecen la composición química y el perfil de ácidos grasos de la leche de cabra para la elaboración de queso fresco.

Silva et al. (2020) establecen que el añadir aceites en la dieta de cabras, se incrementa el contenido de grasa en la leche.

3.3. Evaluación del perfil de los ácidos grasos de la grasa láctea de la leche de cabra por cromatografía de gases.

Se analizaron 37 muestras de leche de cabra por cromatografía de gases provenientes de 4 razas de cabra de Apaseo el Grande, Guanajuato: Saanen, Alpina, Toggenburg, Nubia. El valor obtenido de los ácidos grasos saturados de la leche de cabra raza Saanen fue de 72.1%, dato inferior al reportado por Schettino et al. (2018) para la misma región.

En la tabla 5 se aprecian los valores comparados de las cuatro razas de cabra de Apaseo el Grande, Guanajuato. En el (Anexo 6) se presenta la Figura 2. Cromatograma del contenido del perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra de Apaseo el Grande, Guanajuato.

Tabla 5. Perfil de ácidos grasos de la leche de cabra de cuatro razas de las unidades productoras de Apaseo el Grande, Guanajuato

Ácidos Grasos	NUBIA		TOGGENBURG		SAANEN		ALPINA	
	MEDIA	DE	MEDIA	DE	MEDIA	DE	MEDIA	DE
C4:0 (Butírico)	3.28 ±	0.55	3.10 ±	0.81	3.13 ±	0.70	3.50 ±	0.35
C6:0 (Caproico)	3.64 ±	0.94	3.41 ±	0.92	3.38 ±	1.05	3.65 ±	0.98
C8:0 (Caprílico)	3.79 ±	0.88	3.75 ±	1.10	3.64 ±	0.99	3.85 ±	0.99
C10:0 (Cáprico)	11.46±	1.63	11.45±	1.73	10.86 ±	1.81	11.42 ±	1.95
C11:0 (Undecanoico)	0.33 ±	0.08	0.33 ±	0.07	0.33 ±	0.07	0.33 ±	0.05
C12:0 (Láurico)	4.62 ±	0.59	4.53 ±	0.95	4.51 ±	0.58	4.44 ±	0.70
C14:0 (Mirístico)	10.86±	0.59	11.00±	1.08	10.55±	0.96	9.82 ±	0.50
C14:1 n9c(Mirístoleico)	0.93 ±	0.19	0.98 ±	0.29	0.74 ±	0.30	0.70 ±	0.02
C15:0 (Pentadecanoico)	0.67 ±	0.03	0.60 ±	0.09	0.63 ±	0.09	0.66 ±	0.03
C15:1 (Pentadecenoico)	0.23 ±	0.10	0.26 ±	0.04	0.25 ±	0.04	0.27 ±	0.02
C16:0 (Palmítico)	27.82±	1.71	27.16±	3.66	26.16±	2.42	26.54 ±	1.07
C16:1 (Palmitoleico)	0.81 ±	0.40	0.66 ±	0.16	0.72 ±	0.14	0.59 ±	0.07
C17:0 (Margarico)	0.34 ^{ab} ±	0.02	0.31 ^a ±	0.03	0.33 ^{ab} ±	0.03	0.35 ^b ±	0.02
C17:1 (Heptadecenoico)	0.22 ^a ±	0.04	0.22 ^a ±	0.05	0.27 ^{ab} ±	0.04	0.31 ^b ±	0.05
C18:0 (Esteárico)	7.25 ±	1.36	8.54 ±	1.57	8.19 ±	1.19	9.23 ±	1.25
C18:1n-9trans (Elaídico)	1.51 ^a ±	0.35	0.86 ^b ±	0.59	1.00 ^b ±	0.10	1.12 ^{ab} ±	0.17
C18:1n-9cis (Oleico)	15.15±	1.64	15.95±	2.45	17.36 ±	2.56	16.13±	2.22
C18:2n-6trans Linoleico	0.38 ±	0.04	0.33 ±	0.08	0.32 ±	0.05	0.37 ±	0.04
C18:2n-6cis (Linoleico)	3.60 ±	0.57	3.40 ±	0.23	3.42 ±	0.56	3.47 ±	0.22
C20:0 (Araquidónico)	0.35 ±	0.05	0.38 ±	0.03	0.39 ±	0.04	0.37 ±	0.03
C18: 3 n-3 (Linolénico)	2.15 ±	1.20	1.66 ±	0.33	2.44 ±	0.87	2.45 ±	0.81
C18:2 cis 9 trans 11 (ALC)	0.48 ^a ±	0.07	0.45 ^a ±	0.07	0.31 ^b ±	0.10	0.36 ^{ab} ±	0.04
AGS	74.41±	3.44	74.56±	3.22	72.1 ±	4.44	74.16 ±	3.78
AGMI	18.85±	1.89	18.93±	2.11	20.34 ±	2.41	19.12 ±	2.34
AGPI	6.61 ±	1.51	5.84 ±	0.35	6.49 ±	0.82	6.65±	0.85

^{a,b} Letras diferentes en las filas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$). DE: Desviación Estándar. ALC: Ácido linoleico conjugado; AGS: Ácidos grasos saturados; AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados

En los valores de los ácidos grasos del C4 – C16, no se encontraron diferencias significativas entre las cuatro razas. Este comportamiento probablemente se atribuya al origen de estos ácidos grasos, siendo a partir de la *síntesis de novo* en la glándula mamaria propios de la cabra (Bernard et al., 2017; Chilliard et al., 2007).

Por ejemplo, en el C14:1 no hubo diferencias significativas entre las razas. Este ácido graso se forma en la glándula mamaria por efecto de la enzima desaturasa (SCD) en el ácido graso C14:0 y es un indicador de la actividad de la enzima, por lo que el efecto de la raza no incide en la actividad de esta enzima.

Mientras en los ácidos de cadena mayor, como el C17:0 se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), entre la raza Toggenburg (0.31%) y Alpina (0.35%). Esta diferencia fue debida al efecto entre razas, ya que fueron alimentadas con la misma dieta. Posiblemente se deba a una relación en la síntesis de las paredes de las bacterias del rumen, y las condiciones del rumen que causen modificaciones en la proporción del precursor propionato que se encuentra en el rumen, afecta los niveles del C17 entre razas (Nudda et al., 2020; Vlaeminck et al., 2006).

La dieta proporcionada a las cabras en este estudio fue idéntica entre las distintas razas, pero la diferencia fisiológica de las cabras lactantes puede ser un factor en la composición de los ácidos grasos de la leche de cabra (Novotná et al., 2019).

Sin embargo, en C17:1 ácido heptadecenoico hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las razas, Nubia (0.22 %) y Saanen (0.31 %). Esto puede deberse al efecto de la raza en la actividad de la enzima desaturasa (SCD) para el ácido graso C17 (Nudda et al., 2021).

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el ácido graso C18:1n9t (ácido graso eláidico), los valores tienen un efecto entre las razas. Nubia (1.51%), con Toggenburg

(0.86%) y Saanen (1.0%). El resultado sugiere diferencias en el metabolismo ruminal en C18:2 cis 9 trans 11 en las razas que proporciona un efecto en la biohidrogenación y en la isomerización en el rumen (Toral et al., 2022).

En los valores del ácido linoleico conjugado (ALC C18:2 cis 9 trans 11) se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las razas Nubia (0.48%) y Toggenburg (0.45%) con la raza Saanen (0.31%).

El ALC se forma una parte en el rumen, por la isomerización del ácido linoleico, y otra parte en la glándula mamaria por la acción de la enzima desaturasa (SCD), sobre el ácido transvacénico, este ácido se forma en el rumen por biohidrogenación e isomerización de los ácidos grasos linoleico y linolénico, el efecto de la raza parece incidir en las enzimas desaturasa de la glándula mamaria (Yurchenko et al., 2018; Nudda et al., 2020).

La diferencia de la composición lipídica se afirma de acuerdo con el estudio Talpur et al. (2009), al comparar las razas Pateri y Kamori en Pakistán. Mayer et al. (2012) lo apreció en seis razas caprinas (Coloreada, Pinzgau, Saanen, Strahlen, Toggenburg y Blanca) en Austria.

En un estudio de Yurchenko et al. (2018), describen el perfil de ácidos grasos de la leche de cabras Saanen y Landrace sueca, donde encontraron diferencias.

3.4 Perfil de los ácidos grasos de la grasa láctea de la leche de cabra de cuatro unidades de producción de Apaseo el Grande, Guanajuato.

Diversos autores han demostrado que la alimentación de las cabras lactantes influye en la composición de la leche (Chilliard, et al., 2003; Nudda et al., 2021). Dauber et al. (2022), demostraron que la modificación de la alimentación por la adición de semillas y/o aceites en la dieta de las cabras influye en el perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra.

En la Tabla 6, se observa el perfil de ácidos grasos de cuatro UP de Apaseo El Grande, Guanajuato.

Tabla 6. Composición promedio de ácidos grasos de la leche de cabra de cuatro unidades de producción de Apaseo El Grande, Guanajuato

ÁCIDO GRASO	UP1		UP2		UP3		UP4	
	MEDIA	DE	MEDIA	DE	MEDIA	DE	MEDIA	DE
C4	3.33 ±	0.97	2.65 ±	0.70	2.86 ±	0.78	3.04 ±	0.55
C6	3.26 ±	1.05	2.98 ±	0.61	3.37 ±	0.67	3.29 ±	0.95
C8	3.59 ±	0.84	3.44 ±	0.48	3.52 ±	0.58	3.50 ±	0.79
C10	12.09 ±	1.79	11.56 ±	1.21	11.01 ±	1.24	10.80 ±	1.17
C12	5.24 ±	0.76	5.02 ±	0.51	4.60 ±	0.64	4.39 ±	0.40
C14	11.86 ±	1.35	12.12 ±	0.65	10.85 ±	0.64	10.56 ±	1.01
C14:1	0.26 ±	0.13	0.13 ±	0.08	0.45 ±	0.08	0.38 ±	0.12
C15	1.18 ±	0.19	0.78 ±	0.33	1.05 ±	0.05	0.82 ±	0.15
C15:1	0.12 ±	0.12	0.04 ±	0.07	0.22 ±	0.11	0.24 ±	0.11
C16	29.46 ±	2.20	28.58 ±	1.23	28.18 ±	1.56	26.41 ±	1.70
C16:1	0.67 ±	0.20	0.57 ±	0.06	0.84 ±	0.43	0.76 ±	0.23
C17	0.71 ±	0.19	0.56 ±	0.06	0.35 ±	0.02	0.29 ±	0.04
C17:1	0.37 ±	0.14	0.25 ±	0.09	0.22 ±	0.04	0.27 ±	0.06
C18	7.72 ±	1.83	8.75 ±	1.41	7.38 ±	1.48	8.91 ±	1.30
C18:1n 9t	1.18 ±	0.47	1.00 ±	0.14	1.56 ±	0.36	0.80 ±	0.15
C18:1n 9c	16.27 ±	2.32	17.81 ±	1.63	15.34 ±	1.72	16.3 ±	1.85
C18:2n 6t	0.12 ±	0.12	0.04 ±	0.01	0.39 ±	0.04	0.30 ±	0.05
C18:2n 6c	1.35 ±	0.63	2.51 ±	0.37	3.61 ±	0.62	3.05 ±	0.22
C20	0.30 ±	0.15	0.23 ±	0.03	0.35 ±	0.06	0.30 ±	0.13
C18: 3n 3	0.48 ±	0.34	0.52 ±	0.16	2.23 ±	1.30	1.32 ±	0.64
ALC	0.30 ±	0.09	0.43 ±	0.05	0.47 ±	0.21	0.28 ±	0.10
AGS	79.00 ±	3.07	76.79 ±	2.17	73.97 ±	3.51	72.68 ±	3.35
AGMI	18.87 ±	2.59	19.79 ±	1.82	18.62 ±	1.93	18.75 ±	2.51
AGPI	2.25 ±	1.08	3.49 ±	0.52	6.70 ±	1.54	4.95 ±	0.67

UP: Unidad de Producción. DE: Desviación Estándar. ALC: Ácido Linoleico Conjugado; AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: Ácidos grasos Poliinsaturados

3.5 Análisis de componentes principales en las unidades productoras de leche de cabra en Apaseo el Grande, Guanajuato.

Con la base de datos obtenida (Anexo 6) se realizó análisis estadístico de Componentes Principales (ACP) para observar el comportamiento de las UP con relación a la alimentación de las cabras.

En la Figura 10, se aprecian las unidades productoras UP1, UP2, UP3, UP4 divididas por cuadrantes, las diferencias entre ellas son debidas a la alimentación de las cabras, (Bernard et al., 2012; Nudda et al., 2021).

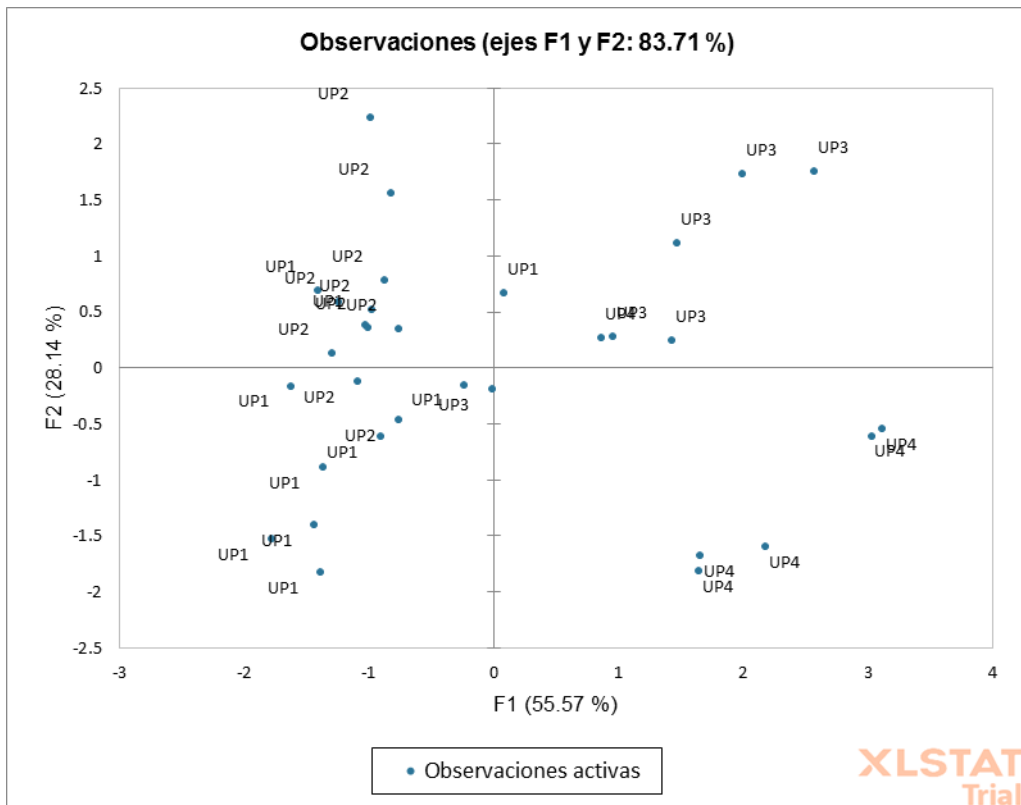


Figura 10. Distribución de las unidades productoras acorde a la alimentación en el análisis de componentes principales

Con la situación anterior se aprecia que la alimentación es el factor determinante en la variación de las unidades productoras lo que define en gran medida la producción de leche y con ello, la supervivencia e ingreso de los granjeros. Es por ello, que la alimentación debe ser balanceada a lo largo del año para mantener una buena producción y calidad de la leche.

En las unidades de producción, se buscan alternativas para la alimentación de las cabras ya sea a través de alimentación nativa o suplementos y este el motivo de la variación entre las unidades de la región de Guanajuato (Nagel et al., 2011).

Además, la alimentación debe estar enfocada para que las cabras produzcan una leche de buena calidad que, a su vez, impactan en los productos derivados de la leche, como: quesos o dulces.

Se debe considerar las diferentes razas de cabras presentes en la zona que también tienen un comportamiento específico en su alimentación, por lo que la búsqueda de estrategias de alimentación es vital para mantener el valor de los productos lácteos o bien la situación de cárnicos.

En este sentido es importante considerar la calidad de los alimentos, por el contenido de energía, compuestos nitrogenados, minerales, vitaminas, agua, fibra y digestibilidad. Se debe poner especial atención en el contenido energético y la cantidad de fibra, por lo que debe combinarse adecuadamente los concentrados, forrajes y granos (Gutiérrez, s/f). Dicho tema es una línea de investigación actual para los veterinarios.

3.6. Análisis componentes principales en el perfil de los ácidos grasos de la grasa láctea de la leche de cabra CG de referencia con las unidades productoras.

El análisis de componentes principales (ACP) del perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra con las Unidades Productoras, se observa en la Figura 11, se observa en los cuadrantes que los AGPI y AGMI tienen una significativa varianza de 83.71% en relación con los AGS de las cuatro Unidades, UP1, UP2, UP3, UP4. En particular los AGPI de la UP3 mostró un comportamiento independiente y variabilidad en las cuatro Unidades Productoras, probablemente se debió al manejo de la dieta (Nudda et al., 2021).

Estudios realizados por Nudda et al. (2021) mencionan que al modificar la dieta suplementando con ingredientes que contengan AGPI, se incrementó la concentración de AGMI en la leche. Dauber et al., 2022, menciona que Martínez Marín et al. (2013) comparó en cabras diferentes fuentes de aceite como complemento, ellos observaron que los aceites utilizados en el experimento que contenían más ácidos insaturados incrementaron el contenido de AGPI y AGMI en la leche de cabra. Tudisco et al., 2019, agregó semilla de linaza a dietas de cabra en pastoreo y encontraron un aumento en el ácido linoleico conjugado en la leche de cabra.

Trabajos por Dauber et al., 2022, incluyeron en las dietas de cabra aceite de soya, semillas de girasol a la dieta de cabra Saanen basada en pasto, para evaluar el perfil lipídico de la leche de cabra, observaron en sus resultados un aumento de los AGPI especialmente ácido linoleico conjugado familia de isómeros (C18:2) producidos por biohidrogenación parcial de ácidos grasos insaturados en el rumen, formándose el ácido vaccénico Trans (C18:1 trans-11) precursor de cis-9, trans-11 ácido linoleico, concluyeron que fueron una opción para aumentar el contenido de los AGPI. Por su parte Ferlay et al. (2017), sugiere que el

ácido linoleico conjugado y el ácido vaccénico trans tienen propiedades que benefician al ser humano.

También observaron Dauber et al. (2022), que la suplementación con el aceite de soya, aceite de girasol resultó prometedora para disminuir la relación ácidos grasos saturados / insaturados en la leche de cabra en pastoreo esto se explica porque la síntesis de novo de los ácidos grasos de cadena corta no se afecta con la dieta (Silva et al., 2020).

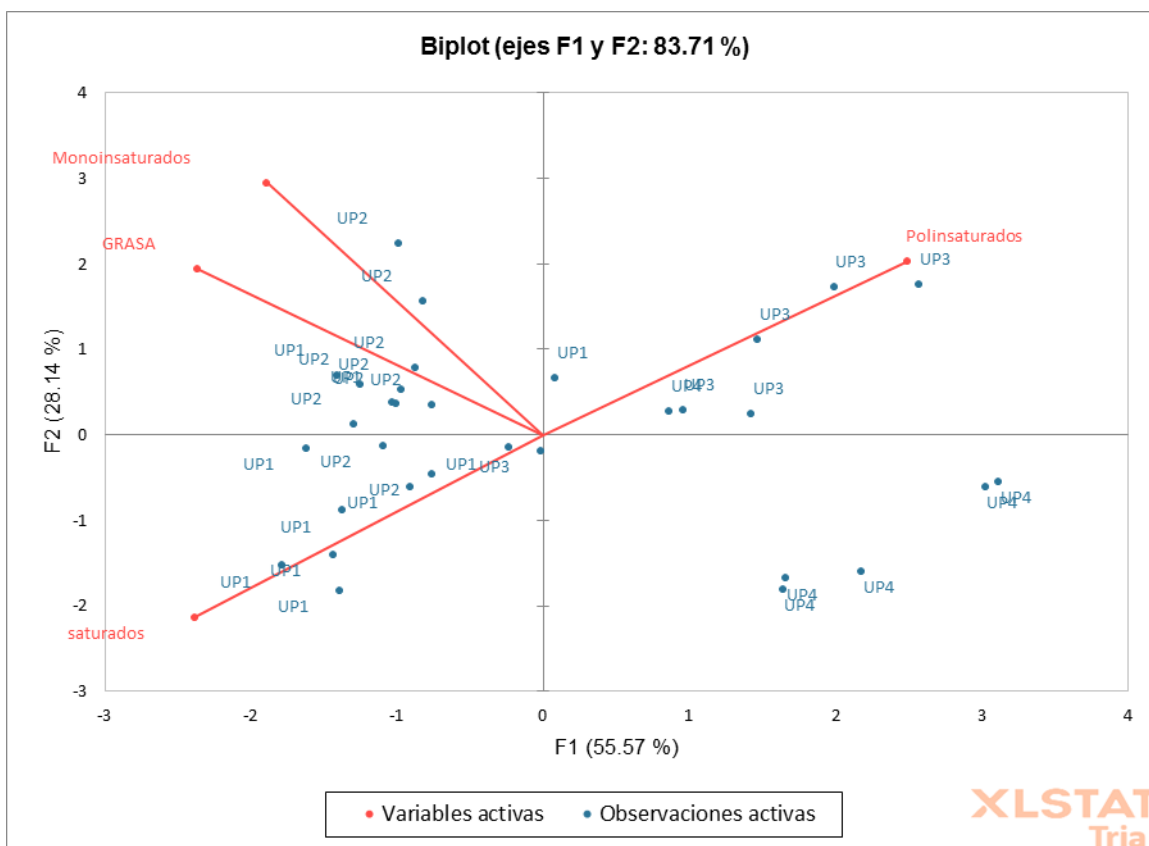


Figura 11. Distribución de las unidades productoras y su relación con el perfil de AGS, AGMI, AGPI en su análisis de componentes principales

Con los resultados obtenidos del análisis de componentes principales en la composición de AGPI de la grasa láctea de cabra este estudio probablemente sea un aporte para considerar

con la información obtenida y puedan ser utilizados los resultados para caracterizar a la leche de cabra de acuerdo a la alimentación de las distintas unidades de Apaseo, Guanajuato.

La variabilidad que se aprecia con el ACP en los AGPI de Apaseo, Guanajuato se pueda sugerir utilizar sus valores para elaborar una base de datos con la aplicación de tecnología mediante NIRS. Los espectros de las muestras de leche se observan en el Anexo 7, eso con el fin de emplear las muestras de leche para realizar la calibración, considerando incrementar el número de muestras de leche.

Investigaciones hechas por estudios anteriores de ácidos grasos en lácteos (Amores et al., 2019) comparan la factibilidad, variabilidad del desarrollo de aplicación de tecnologías ópticas, entre las más utilizadas según (Tao et al., 2017): la espectroscopia Raman (RS), la Resonancia magnética nuclear (RMN) y la metodología que nuestro estudio se enfoca; la espectroscopia de Infrarrojo cercano (NIRS).

En consecuencia (Amores et al., 2019) señala que del contenido del perfil de ácidos grasos de la grasa láctea de cabra con la metodología base y de referencia la cromatografía de gases es una técnica lenta de tiempos prolongados, alto costo, destructiva, contaminante.

Ahora en la actualidad se busca encontrar métodos rápidos que no contaminen de bajo costo, seguros y precisos comparables en la cuantificación de los ácidos grasos de la grasa láctea de cabra (Gado et al., 2022).

Núñez et al. (2016), realizaron ensayos con espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS en muestras de leche de cabra líquida y secada al horno, para evaluar la respuesta del método NIRS, reporta que el contenido de AGS, AGMI, AGPI, evaluado fue significativo con el

NIRS, enfatiza que las calibraciones muestran un desempeño de predicción para los ácidos grasos en leche de cabra.

Por lo anterior, se confirma que es posible la viabilidad y factibilidad de emplear NIRS en el contenido de la composición de los ácidos grasos en la leche de cabra.

En otros estudios como el realizado por Andueza et al., 2013, que emplearon cabras de la raza alpina suplementadas con plantas, aceite de colza, girasol, linaza y aceite de pescado se plantearon demostrar que las calibraciones hechas con leche de vaca se pueden aplicar para evaluar el contenido del perfil de ácidos grasos en muestras de leche de cabra en su estudio concluyen esta posibilidad.

Por su parte Coppa et al., 2014 compararon los métodos MIRS y NIRS en muestras de leche de vaca fresca y descongelada provenientes de vacas alimentadas con pasto, concluyeron y demostraron que las predicciones fueron confiables, además obtuvieron mejores resultados por NIRS en los AGS, AGMI, AGPI.

3.7 Base de datos para usarlos en el desarrollo de curva de calibración del contenido de ácidos grasos de la grasa láctea de cabra con el método NIRS

Hasta el momento los datos de la base en desarrollo en el NIRS presentada en la tesis de estudio del conjunto de la población de muestras de leche de cabra deshidratada en la Tabla 7, es apresurado discutir los resultados por ser insuficientes.

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE DE CABRA DE DIFERENTES RAZAS Y ALIMENTACIÓN DEL ALTIPLANO MEXICANO

Tabla 7. Valores preliminares del desarrollo de base de datos del perfil de ácidos grasos de la leche de cabra en el NIRS

SEC (Error Estándar de Calibración). Es la diferencia entre los valores de referencia “método de cromatografía de gases”

File Name C:\ ARCHIVOS DE PROGRAMA \ INFRAISOFT INTERNATIONAL \ WINISI4 \ PRUEBA DESARROLLO LECHE DE CABRA DESHIDRATADA EQA Equation File. File Date: Tue Feb 2512-03:32 2020

Last Update: Tue Feb 25 12 - 39:3320202 File ID: Generated by ISIScan Master No: B2101041

Instrument Model: NIRS Systems 6500 Serial No: B2101041

Calculated Equation: 0 Number of Variable: 1050 Moisture Basis: Dry Matter

Segment 1 400 -1098,2 Segment 2 1100 – 2498.2

ÁCIDOS GRASOS	Tipo	N	MEDIA	Desviación Estándar	Estimación Mínima	Estimación Máxima	SEC	RSQ	SECV	1-VR	#	Seq
C4:0 (Butírico)	1	23	1.6699	0.5343	0.0671	3.2727	0.5146	0.0723	0.6531	-0.5620	259	0
C6:0 (Caproico)	1	23	2.2283	0.6044	0.4150	4.0416	0.5495	0.1735	0.7218	-0.4907	259	0
C8:0 (Caprílico)	1	23	0.7769	0.6785	0.7413	4.8125	0.5812	0.2663	0.8074	-0.4803	259	0
C10:0 (Cáprico)	1	24	9.4835	1.3269	5.5028	13.4642	1.0395	0.3863	1.2169	0.1224	259	0
C11:0 (Undecanoico)	1	23	0.2785	0.0486	0.1326	0.4244	0.0416	0.2674	0.0552	-0.3471	259	0
C12:0 (Láurico)	1	24	4.0079	0.5176	2.4551	5.5607	0.3350	0.5811	0.5090	-0.0090	259	0
C14:0 (Mirístico)	1	24	10.7907	0.7726	8.4730	13.1084	0.7319	0.1026	0.8277	-0.1978	259	0
C14:1 (Mirístoleico)	1	24	0.2534	0.0701	0.0430	0.4638	0.0568	0.3447	0.0681	0.0167	259	0
C15:0 (Pentadecanoico)	1	24	1.0130	0.1518	0.5576	1.4685	0.1423	0.1211	0.1767	-0.4139	259	0
C15:1 (Pentadecenoico)	1	23	0.2065	0.0647	0.0125	0.4004	0.0557	0.2581	0.0766	-0.4686	259	0
C16:0 (Palmitico)	1	23	29.8199	3.2965	19.9303	39.7096	1.2980	0.8450	3.2701	-0.0288	259	0
C16:1 (Palmitoleico)	1	23	0.8147	0.3081	0.0000	1.7390	0.1791	0.6623	0.2673	0.2134	259	0
C17:0 (Margarico)	1	23	0.8546	0.1112	0.5211	1.1881	0.0980	0.2229	0.1468	-0.8216	259	0
C17:1 (Heptadecenoico)	1	24	0.2804	0.0634	0.0904	0.4705	0.0488	0.4068	0.0630	-0.0324	259	0
C18:0 (esteárico)	1	24	9.5951	1.1962	6.0065	13.1837	1.1066	0.1442	1.4486	-0.5303	259	0
C18:1n-9trans (Elaídico)	1	23	1.0811	0.4314	0.0000	2.3755	0.3746	0.2461	0.5900	-0.9548	259	0
C18:1n-9cis oleico	1	24	20.0335	3.0512	10.8799	29.1871	2.5178	0.3191	3.2683	-0.1973	259	0
C18:2n-6trans Linoleico	1	24	0.2501	0.0475	0.1075	0.3926	0.0433	0.1718	0.0546	-0.3771	259	0
C18:2n-6cis Linoleico	1	24	2.8119	0.2323	2.1152	3.5087	0.1980	0.2734	0.2547	-0.2549	259	0
C18: 3 n-3 (Linoléico)	1	23	0.2253	0.0510	0.0724	0.3783	0.0467	0.1626	0.0552	-0.2262	259	0
ALC(C18:2 cis 9 trans 11)	1	24	0.9506	0.4516	0.0000	2.3055	0.4132	0.1630	0.4966	-0.2614	259	0

de las muestras y los datos presentados por el NIRS en la ecuación desarrollada.

RSQ (Coeficiente de determinación r^2). Indica la relación lineal entre los datos utilizados para la calibración de los valores del método de referencia cromatografía de gases de las muestras y los datos mostrados por el NIRS.

SECV (Error Estándar de la Validación Cruzada). Es la estimación de la precisión del modelo desarrollado.

1-VR (1 menos el cociente de la variación). Es el coeficiente de determinación r^2 corregido después de la validación cruzada, explica cuanto de la variación de los valores del método de referencia la cromatografía de gases es explicada por la ecuación desarrollada.

Aún se continuará generando valores en muestras de leche de cabra por el método de referencia cromatografía de gases y ampliar la obtención de espectros que se presenta en la Figura 12.

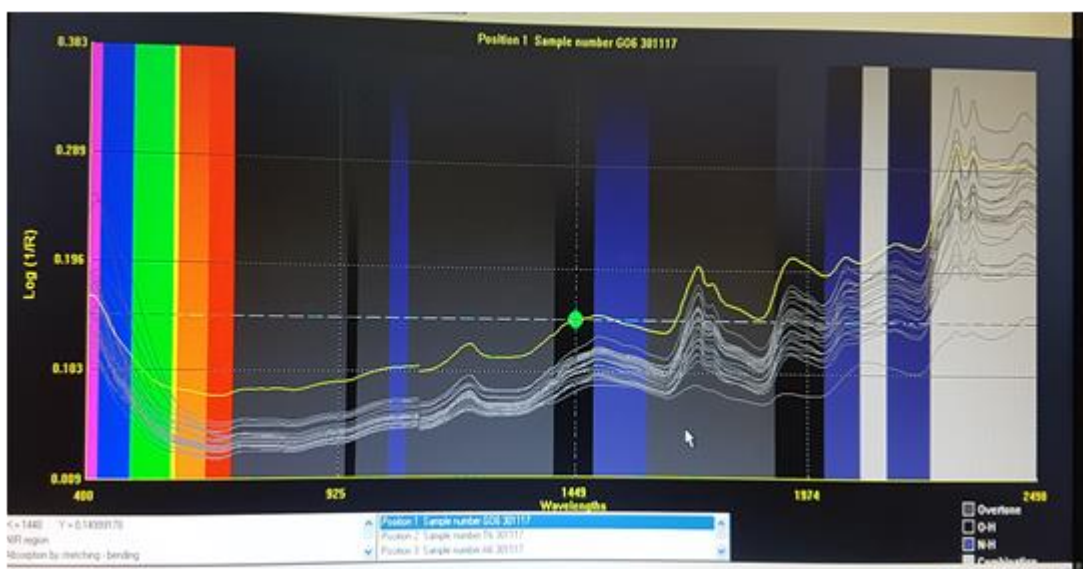


Figura 12. Imagen conjunto de espectros de leche de cabra deshidratada en el software Winisi

La distribución de las muestras estudiadas para el desarrollo de la calibración del perfil de los ácidos grasos de la leche de cabra en el NIRS, se observa en la Figura 13 población de datos reducida.

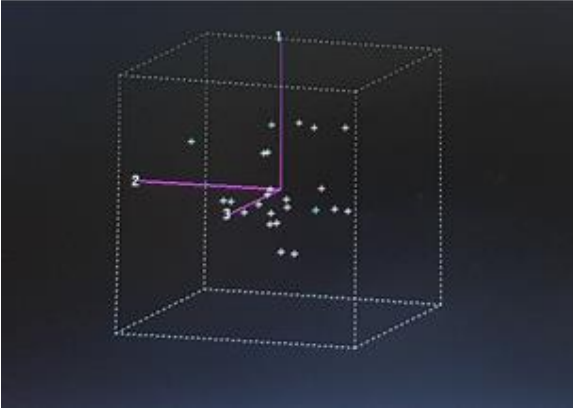


Figura13. Imagen gráfica tridimensional del análisis de las muestras de leche de cabra en el NIRS

Hay interés de la comunidad científica en proseguir el estudio de los ácidos grasos de leche, con una herramienta fácil, de bajo costo. Esto implica aplicar nueva tecnología alternativa confiable en el análisis de los ácidos grasos de la leche (Holroyd, 2013; Coppa, et al., 2014). Coppa et al. (2014), informa que el método de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) es una opción viable de predicción por ser rápida, sin reactivos, multiparamétrica, confiable en un análisis de ácidos grasos en la leche.

4. CONCLUSIONES

El perfil de ácidos grasos por razas mostró diferencias significativas entre las razas Nubia, Toggenburg, con la raza Saanen.

Existe poca información sobre la influencia de la raza en el perfil de ácidos grasos en la leche de cabra, por lo que es necesario realizar estudios futuros en el perfil de ácidos grasos de diferentes razas de cabras.

La alimentación de las cabras lactantes de las diferentes Unidades de Producción tuvo una influencia en el perfil de ácidos grasos de la leche.

Para robustecer la base de datos se requiere seguir adquiriendo muestras para el análisis NIRS para llegar a un método robusto y estandarizado, los datos preliminares obtenidos muestran una tendencia que NIRS es una buena opción para el análisis del perfil lipídico de la leche.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. (2005). 18th Ed. Gaithersburg, MD (Estados Unidos): AOAC International.
- Amores, G., and Virto, M. (2019). Total and Free Fatty Acids Analysis in Milk and Dairy Fat. Review. *MDPI. Separations*. 6, 14: 1-22.
- Andueza, D., Roel, J., Chilliard, Y., Leroux, C., & Ferry, A. (2013). Prediction of the goat milk fatty acids by near infrared reflectance spectroscopy. *Europea Journal of Lípido Sáciense and Tecnología*. 115: 612–620.
- Bach, A. C., Frey, A., Luth, O. (1989). Clinical and experimental effects on medium chain-triglyceride-based fat emulsions. *A review Clinic Nutriology*. 8: 223-235.
- Bernard, L., Toral, P. G., Chilliard, Y. (2017). Comparison of mammary lipid metabolism in dairy cows and goats fed diets supplemented with starch, plant oil, or fish oil. *Journal of Dairy Science*. 100 (11): 9338-9351.
- Bernard, L., Leroux, C., Rouel, J., Bonnet, M., Chilliard, Y. (2012). Effect of the level and type of starchy concentrate on tissue lipid metabolism, gene expression and milk fatty acid secretion in Alpine goats receiving a diet rich in sunflower-seed oil. *British Journal of Nutrition*. 107: 1147–1159.
- Bernard, L., Shingfield, K. J., Rouel, J., Ferlay, A., & Chilliard, Y. (2009). Effect of plant oils in the diet on performance and milk fatty acid composition in goats fed diets based on grass hay or maize silage. *British Journal of Nutrition*. 101 (2): 213-224.

- Bernard, L., Rouel, J., Leroux, C., Ferlay, A., and Faullconier, Y., Legrand, P., and Chilliard, Y. (2005). Mammary Lipid Metabolism and Milk Fatty Acid Secretion in Alpine Goats Fed Vegetable Lipids. *Journal Dairy Science*. 88: 1478 -1489.
- Bergera, G., Jarén, C., Arazuri, S., Arana, I. (2015). Instrumentación para la Espectroscopia de Infrarrojo Cercano. *Research Gate*. Net; 1-11.
- Bidot-Fernández, A. (2017). Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica. *Revista de Producción Animal*; 29 (2): 32-41.
- Boza, J. y Sampelayo, M.S. (1997). Aspectos nutricionales de la leche de cabra. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*. 10: 109-139.
- Chavari, A. C., Marques, R.O., Lara, G. I., Prestes, E., Barros, H. F., Vasconcelos, R., De Lima, P., Gonçalves, H. C. (2020). Yield, composition, and fatty acid profile of milk from Anglo Nubian goats fed a diet supplemented with vegetable oils. *Brazilian Journal of Animal Science*. 49: 1-15.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Rouel, J., & Doreau, M. (2007). Diet, rumen biohydrogenation, cow and goat milk fat nutritional quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109: 828–855.
- Chilliard, Y., Rouel, J., Ferlay, A., Bernanrd, L., Gaborit, P., Raynal-Ljutovac, K., Lauret, A. y Leroux, C. (2006a). Optimising Goat's milk and cheese fatty acid composition. *Improving the fat content of foods*. Elsevier.

Chilliard, Y., y Ferlay, A. (2004). Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reproduction Nutrition Development*. 44: 467-492.

Chilliard, Y., Ferlay, A., Rouel, J., Lamberet, G. (2003). A review of nutritional and physiological factors affecting goat milk lipid synthesis and lipolysis. *Journal Dairy Sci*. 2003, 86, 1751–1770.

Coppa, M., Revello-Chion, A., Giaccone, D., Ferlay, A., Tabacco, E., Borreani, G. (2014). Comparison of near and medium infrared spectroscopy to predict fatty acid composition on fresh and thawed milk. *Food Chemistry*. 150: 49-57.

Coppa, M., Ferlay, A., Leroux, C., Jestin, M., Chilliard, Y., Martin, B., Andueza, D. (2010). Prediction of milk fatty acid composition by near infrared reflectance spectroscopy. *International Dairy Journal*. 20: 182–189.

Dauber, C., Carreras, T., Casarotto, G., Cabrera, F., Liscano, A., Vicente, G., Britos, A., Carro, S., Cajarville, C., Gambaro, A. and Vieitez, I. (2022). Adding Sunflower or soybean oil to goat's pasture-based diet improves the lipid profile without changing the sensory characteristics of milk. *Journal of Applied Animal Research*. 50(2):204-212.

Delplanque, B., Gibson, R., Koletzko, B., Lapillonne, A., Strandvik, B. (2015). Lipid quality in infant nutrition: current knowledge and future opportunities. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*. 61(1): 8-17.

- EMA. (2012). European Agency Medicine. Guideline on the use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) by the pharmaceutical industry and the data requirements for new submissions and variations.
- FAO. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Consulta: 04/03/2020] Disponible: <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/...animals/.../es/>.
- FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Consulta: 01/09/2022] Disponible: <http://www.fao.org/contact-us/terms/es/>.
- FAOSTAT. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Consulta: 04/07/2020] Disponible: <http://www.fao.org/contact-us/terms/es/>.
- FAOSTAT. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Consulta: 10/06/2019] Disponible: <http://www.fao.org/contact-us/terms/es/>.
- FAOSTAT. (2018). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Consulta: 19/03/2018] Disponible: <http://www.fao.org/contact-us/terms/es/>.
- Ferlay, A., Bernard L., Meynadier A., Malpuech-Brugere C. (2017). Production of Trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: A review. *Biochimie*. 141:107-120.
- Frank, R., Smith, E. H., Braun, H. E., Holdrinet, M., and McWade, J. W. (1975). Organochlorine insecticides and industrial pollutants in the milk supply of the southern region of Ontario, Canada. *Journal Milk Food Technology*. 38: 65-72.

- Firl, N., Kienberger, H., Rychlik, M. (2014). Validation of the sensitive and accurate quantitation of the fatty acid distribution in bovine milk. *International Dairy Journal*. 35 (2): 139-144.
- FOSS NIRS SYSTEMS. (2004). WINISI® manual del programa. [Consulta: 15/06/2020] Disponible: <http://www.winisi.com/>.
- Gado, Yakubo, H., Kovacs, Z., Toth, T., Bazar, G., (2022). Recent advances in near-infrared spectroscopy in dairy production: a review. *Food Science and Nutrition*. 62(3): 810-831.
- Givens, D. I., DeBoever, J. L., & Deaville, E. R. (1997). The principles practices and some future applications of near infrared spectroscopy for predicting the nutritive value of foods for animals and humans. *Nutrition Research Reviews*. 10: 83–114.
- Groenewald, Tokkie. (2019). Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR). La técnica de análisis rápidos del futuro. http://www.engormix.com/s_articles_view.asp
- Gutiérrez, M. J. (s/f) Alimentos utilizados en caprinos. CEPIPSA, FMVZ, UNAM. <https://amaltea.fmvz.unam.mx/textos/alimenta/Alimentos%20utilizados%20en%20caprinos%20dr.%20Jacier.pdf>. Consultado: 10/enero/2021.
- Haenlein, G. F. W. (2001). The nutritional value of sheep milk. *International Journal of Animal Science*. 16: 253–268.
- Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*. 51: 155-163.
- Holroyd, S. E. (2013). Review: The use of near infrared spectroscopy on milk and milk products. *Journal Near Infrared Spectroscopy*. 21: 311 – 322.

- INEGI. (2019). Sistema Nacional Estadístico y de Información Geográfica. Disponible en www.inegi.gob.mx [Mayo, 2019).
- ISO. (2014). International Organization for Standardization. Animal and vegetable fats and oils - Gas chromatography of fatty acid methyl esters. Part 1: Guidelines on modern gas chromatography of fatty acid methyl esters. International Standard ISO 12966-1: 2014. *International Organization for Standardization*, Ginebra, Suiza.
- ISO-IDF. (2001). International Organization for Standardization - International Dairy Federation. Milk and Milk Products. Extraction methods for lipids and liposoluble compounds. International Standard ISO 14156-IDF 172: 2001. *International Dairy Federation*, Brussels, Belgium.
- ISO-IDF. (2002). Milk fat-Preparation of fatty acid methyl esters. International Standard ISO 15884-IDF 182:2002. *International Dairy Federation Brussels*, Belgium.
- Kholif, A. E., Gouda, G. A., Galyean, M. L., Anele, U. Y., Morsy, T.A. (2019). Extract of *Moringa oleifera* leaves increases milk production and enhances milk fatty acid profile of Nubian goats. *Sistemas Agroforestales*. 93:1877–1886.
- Kholif, A. E., Gouda, G. A., Olafadehan, O.A. and Abdo, M.M. (2018). Effects of replacement of *Moringa oleifera* for berseem clover in the diets of Nubian goats on feed utilisation, and milk yield, composition and fatty acid profile. *Animal*. 12:5. 964 -972.
- Lerch, S., Ferlay, A., Graulet, B., Cirié, C., Verdier-Metz, I., Montel, M., Chilliard, Y. y Martin, B. (2015). Extruded Linseeds, vitamin E and plant extracts in corn

- silage-based diets of dairy cows: effects on sensory properties of raw milk and uncooked pressed cheese. *International Dairy Journal*. 51: 65-74.
- López, A. L., Vasconi, M., Moretti, V. M., Bellagamba, F. (2019). Fatty Acid Profile in Goat Milk from High- and Low-Input Conventional and Organic Systems. *Animals*. 9(7):452.
- Martínez Marín, A. L., Pérez Hernández, M., Pérez Alba, L. M., Carrión Pardo, D., Gómez Castro, A. G., Garzón Sígler, A. I. (2013). Efecto de los aceites y semillas en dietas para rumiantes sobre el perfil de ácidos grasos de la leche. Revisión. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*. 4(3): 319-338.
- Mayer, H. K., Fiechter, G. (2012). Physicochemical characteristics of goat's milk in Austria—seasonal variations and differences between six breeds. *Dairy Science and Technology*. 92:167-177.
- Meurens, M., Van Den Eynde, O., Vanbelle, M. (1987). “Fine analysis of liquids by NIR reflectance spectroscopy of dry extract on solid support (DESIR)”, in Near infrared diffuse reflectance/transmittance spectroscopy, Ed by J. Hollow, K.J. Kaffka and J.L. Gonczy. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary. 297.
- Mir, Z., Goonewardene, L. A., Okine, E., Jaegarc, S., & Scheer, H. D. (1999). Effect of feeding canola oil on constituents, conjugated linoleic acid (CLA) and long chain fatty acids in goat milk. *Small Ruminant Research*. 33: 137-143.
- Morand-Fehr, P. (2005). Recent developments in goat nutrition and application: A review *Small Ruminant Research*. 60 (1): 25-43.

- Murray, I. (2004). Scattered information: philosophy and practice of near infrared spectroscopy. In: Proceedings of the 11th International Conference on Near Infrared spectroscopy. Cordoba, España.
- Nagel P.; Wurzinger M.; Iñiguez L.; Echavarría Ch. F.G.; Flores N. M. J.; Pinos R. J.M.; Gómez R. W.J.; Zollitsch W. (2011). Sistemas de alimentación para las cabras y evaluación cualitativa de los piensos a los que se tienen acceso durante la temporada de seca: dos estudios de caso del altiplano mexicano. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. XVII (Edición Especial): 247-258.
- Norma Mexicana (2018). NMX-F-818-SCFI-2018. Alimentos-aceites y grasas-determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases-método de prueba (cancelará a la nmx-f-017-scfi-2011).
- Norma Mexicana (2006). NMX-F-718-COFOCALEC-2006. Sistema producto leche alimentos lácteos. Guía para el muestreo de leche y productos lácteos, consejo para el fomento de la calidad de la leche y sus derivados.
- Norma Mexicana (2011). NMX-F-017-SCFI-2011. Alimentos. Aceites y Grasas. Determinación de la composición de los ácidos grasos.
- NMKL (2009). Procedimiento No 4-Validación de métodos de análisis químico. Versión No 3.
- Novotná, K., Ptáček, M., Fantová, M., Nohejlová, L., Stádník, L., Okrouhlá, M., Peták, Z. (2019). Impact of concentrate level and stage of lactation on fatty acid composition in goat milk. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 50(3):171-175.

- Nudda, A., Mele, M., Battacone, G., Usai, M. G., Macciotta, N. P. P. (2003). Comparison of conjugated linoleic acid (CLA) content in milk of ewes and goats with the same dietary regimen. *Italian Journal of Animal Science*. 2: 515-517.
- Nudda, A., Cannas, A., Correddu, F., Atzori, E. A., Lunesu, F. M., Battacone, G., Pulina, G. (2020). Sheep and goats respond differently to feeding strategies directed to improve the fatty acid profile of milk fat. *Animals*. 10(8):1290.
- Nudda, A., Correddu, F., Cesarani, A., Pulina, G. and Battacone, G. (2021). Functional Odd and Branched Chain Fatty Acid in Sheep and Goat Milk and Cheeses. *Dairy*. 2: 79-89.
- Núñez-Sánchez, N., Martínez-Marín, A., Polvillo, O., Fernández-Cabañas, V., Carrizosa, J., Urrutia, B., & Serradilla, J. (2016). Near Infrared Spectroscopy (NIRS) for the determination of the milk fat fatty acid profile of goats. *Food Chemistry*. 190: 244-252.
- Parodi, P. W. F. (1997). Cow's milk fat components as potential anticarcinogenic agents. *Journal of Nutrition*. 127: 1055-1060.
- Parodi, P. W. F. (1999). Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat. *Journal of Dairy Science*. 82(6): 1339–1349.
- Parodi, P. W. F. (2006). Nutritional significance of milk lipids. *In: Advanced Dairy Chemistry*. Volume 2. 3rd edition. Fox, P. F, and McSweeney, P. L. H. (Eds.). Springer, New York. USA; 601-640.
- Qu, J. H., Liu, D., Cheng, J. H., Sun, D. W., Ma, J., Pu, H., Zeng, X. A. (2015). Applications of near-infrared spectroscopy in food safety evaluation and control:

a review of recent research advances Crit Review Food Science Nutriology. 55:
1939-1954.

Rojó, R., Kholif, A. E., Salem, A. Z. M., Elghandour, M. M., Odongo, N. E., de Oca, R. M., Rivero, N., Alonso, M. U. (2015). Influence of cellulase addition to dairy goat diets on digestion and fermentation, milk production and fatty acid content. *Journal Agricultural Science. 153:*1514–1523.

Šašić, S., Ozaki, Y. (2000). Band assignment of near-infrared spectra of milk by use of partial least-squares regression, *Applied Spectroscopy. 54:* 1327–1338.

SAGARPA (2017). Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Sampelayo, M.S., Chilliard, Y., Schmidely, P. y Boza, J. (2007). Influence of type of diet on the fat constituents of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research. 68:*42-63

Schettino, B., Pérez, J., Gutiérrez, R., Vega y León, S., Faure, R., Escobar, A. (2011). Análisis de la robustez en la determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa en leche de cabra. *Revista Salud Animal. Vol. 33(2):* 83-89.

Schettino-Bermúdez, S. B., Gutiérrez-Tolentino, R., Vega y León, S., Escobar-Medina, A., Pérez-González, J. J., González-Ronquillo, M. (2018). Composición láctea y perfil de ácidos grasos en leche de cabra de Guanajuato, México. *Revista de Salud Animal. Vol. 40(2):* 1-15.

Shingfield, K. J., Reynolds, C. K., Lupoli, B., Toivonen, V., Yurawecz, M. P., Delmonte, P., Griinari, J. M., Grandison, A. S., Beever, D. E. (2005). Effect of

- forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower oil and fish oil. *Animal Science*. 80: 225–238.
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.gob.mx> [Consulta: 21-mayo de 2019].
- Silva, L. S. E., Fernandes Lima Cavalcanti, J. V., Rodrigues Magãlhaes, A. L., Santoro, K. R., Dias Gonçalves, G., Vasconcelos Santana, L. P., Silva, J. K. B., Almeida, O. C. (2020). Soybean oil modulates the fatty acid synthesis in the mammary gland, improving nutritional quality of the goat milk. *Small Ruminant Research*. 183.
- Talpur, F. N., Bhangar, M. I., Memon, N. N. (2009). Milk fatty acid composition of indigenous goat and ewe breeds from Sindh, Pakistan. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22 (1):59-64
- Tao, F., Ngadi, M. (2017). Applications of spectroscopic techniques for fat analysis and fatty acids from dairy products. *Food Science*. Current opinion on food science. Vol. 17: 100-112.
- Teng, F., Wang, P., Yang, L. (2017). Quantification of fatty acids in human milk, of cow, buffalo, goat, yak and camel using an improved one-step GC-FID method. *Food of Analytical Methods*. Vol. 10 (8): 2881-2891.
- Toral, P. G., Hervás, G., Frutos, P. (2022). Effect of lipid supplementation on the endogenous synthesis of milk cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid in dairy

- sheep and goats: A tracer assay with ^{13}C -vaccenic acid. *Journal of Dairy Science*. 105 (1) : 255 – 268.
- Tudisco R., Chiofalo B., PrestiVL., Morittu VM., Moniello G., Grossi M., Musco N., Grazioli R., Mastellone V., Lombardi P., Infascelli F. (2019). Influence of feeding linseed on SCD activity in grazing goat mammary glands. *Animals* 9: 786.
- Vlaeminck, B., Fievez, V., Tamminga, S., Dewhurst, R. J., Vuuren, A.V., Brabander, D., Demeyer, D. (2006). Milk Odd- and Branched-Chain Fatty Acids in Relation to the Rumen Fermentation Pattern. *Journal of Dairy Science*. 89 (10): 3954 -3964.
- Vega y León et al., (2012). Vinculación universidad y sector agropecuario. Producción y calidad de leche de cabra en Apaseo el Grande, Guanajuato. Área de Investigación Conservación y Comercialización de Productos Agropecuarios. Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México. 48-49.
- Vote, D. J., Belk, K. E., Tatum, J. D., Scanga, J. A., Smith, G. C. (2003). Online prediction of beef tenderness using a computer vision system equipped with a Beef Cam module. *Journal Animal Science*. 81:457-465.
- Yurchenko, S., Sats, A., Tatar, V., Kaart, T., Mootse, H., Jõudu, I. (2018). Fatty acid profile of milk from Saanen and Swedish Landrace goats. *Food Chemistry*. 254: 326-332.
- Zannierah, A., Sukor, R., Selamata, J., Shobirin, B. A. and Hakimah, I. (2019). Chemical and mineral composition of raw goat milk as affected by breed

varieties available in Malaysia. *International Journal of Food Properties*. 22:
815 -824.

6. ANEXOS

Anexo 1. Técnicas del Análisis Químico Proximal Aplicadas a la Dieta de las cabras productoras de leche de la Asociación de Productores de Apaseo el Grande, Guanajuato.

Determinación del contenido de humedad

Se basa en la evaporación del agua mediante calor. El contenido de humedad se determinó con el método oficial 952.46 de la AOAC (2005), con algunas modificaciones relativas al tiempo y temperatura de secado. Se pesaron 20 g de muestra en crisoles de porcelana a peso constante. Posteriormente las muestras se colocaron en una estufa a 60 °C, durante 24 horas. Se enfriaron a la temperatura ambiente en un desecador y se pesaron. El porcentaje de humedad se calculó por diferencia de peso.

Determinación de cenizas totales y materia orgánica

Esta determinación se basa en someter la muestra a combustión entre 550-600°C. De esta forma la muestra orgánica es oxidada y las cenizas resultantes son consideradas la parte mineral de la muestra

El porcentaje de cenizas se determinó de acuerdo con el método oficial de prueba 940.26 de la AOAC (2005). Se utilizaron crisoles de porcelana a peso constante. Se pesó 1g de muestra seca en cada crisol y se colocó en una mufla para incinerar entre 550-600°C, durante 2 horas y media. Después de transcurrido el tiempo se revisó que las cenizas tuvieran un color gris y se colocaron en una estufa a 100°C por 15 min, posteriormente se dejó enfriar el crisol en un desecador por 15 min, se registró el peso y se determinó el porcentaje de cenizas por diferencia de peso. Para la materia orgánica se restó a 100 el porcentaje de cenizas.

Determinación de extracto etéreo o grasa cruda

La determinación de extracto etéreo o grasa cruda está basada en la extracción continua mediante calor de todas las sustancias solubles en éter de petróleo de una muestra seca, 30.25 de la AOAC (2005). El extracto etéreo está formado principalmente por aceites y grasas, aunque también incluye vitaminas liposolubles, esteroides, pigmentos, ácidos orgánicos, etc. Para la determinación se pesaron 2g de muestra seca en papel filtro y se colocaron dentro de un cartucho de celulosa que posteriormente se introdujo en un portacartucho y se colocó en la abrazadera del digestor de grasa Goldfish. El vaso de vidrio se pesó y se adicionó éter de petróleo aproximadamente a medio cuarto de su capacidad y se colocó en el digestor. El tiempo de extracción fue durante 4 horas (iniciando en el momento de la ebullición y la caída de la primera gota) cuidando que el vaso mantenga un nivel adecuado de éter, en caso de que no fuera así, se adicionó más éter de petróleo. Transcurrido el tiempo, se retiró el portacartucho y se colocó el dedal recuperador de éter con la finalidad de que se evapore el éter de petróleo del vaso y quede solo el producto de la extracción, finalmente se colocó el vaso en el desecador (con pinzas) para llevarlo al horno a 100°C durante 5 minutos y después al desecador durante 20 minutos. El vaso se pesó en balanza analítica y se registró el peso.

Determinación de nitrógeno total

Se determinó por el método oficial 920.53 de la AOAC (2005). Se basa en la determinación de Nitrógeno total al ser digerido con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores, obteniendo el N como sulfato de amonio, el cual se basifica y destila como amoníaco para recibirlo en ácido bórico y titular con ácido clorhídrico. El N así cuantificado se convierte a proteínas usando un factor de conversión

Digestión ácida. Se pesaron 0.3 g de muestra seca en papel copia. Se colocó la muestra sin papel en el tubo de digestión Kjeldahl. Se precalentó el sistema de digestión a 420 °C. Se adicionaron 2 tabletas catalizadoras (3.5 g K₂SO₄ y 0.4 g CuSO₄) en el tubo de digestión, y 12 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se colocaron los tubos en la rejilla y el colector de humos firmemente en los tubos y se colocaron sobre la parrilla precalentada del sistema de digestión Kjeldahl. Después de 10 minutos, se encendió el aspirador de humos del sistema de neutralización de vapores. El tiempo de la digestión fue de 60 minutos, después de transcurrido este tiempo se apagó el digestor, se removió la rejilla con los tubos y se dejó enfriar de 15 a 20 minutos.

Destilación. Se colocó el tubo Kjeldahl en la unidad de destilación Kjelttec 8100. En el programa del equipo se ajustó a la adición automática a 50 mL de agua destilada y 30 mL de NaOH al 40 %. Se colocó en la plataforma del equipo un matraz Erlenmeyer de 250 mL que contenía 30 mL de ácido bórico al 4 %, tres gotas de indicador (verde de bromocresol y rojo de metilo) y se sumergió el tubo colector de la destilación en la solución de ácido bórico. Se colectaron 150 mL de destilado en el matraz Erlenmeyer. Se removió el matraz Erlenmeyer del equipo de destilación. Se tituló con HCl 0.1 N valorado, hasta que la solución viró a color rosa.

El porcentaje de proteína total se calculó con la siguiente ecuación, se usó como factor de conversión a proteínas 6.25

Fibra cruda total

El método Weende se basa en el AOAC (2005) se somete el alimento a una hidrólisis ácida y una hidrólisis alcalina que representa el pH del estómago e intestino. Los residuos obtenidos se incineran a una temperatura de 550°C finalmente se considera fibra cruda total a los residuos volátiles celulosa, hemicelulosa, lignina, polisacáridos.

La muestra de alimento sin grasa es pesada 1.0g, se lleva a cabo la digestión ácida en una solución de ácido sulfúrico 0.255 N.

Los residuos obtenidos de la anterior etapa se procesan llevando una digestión alcalina en una solución de hidróxido de sodio 0.313 N.

Luego lo obtenido de las dos digestiones se seca y se incinera en la mufla a una temperatura de 550°C.

Para obtener la cantidad de fibra cruda total, se realiza con la diferencia de pesos obtenida de los residuos de la muestra antes y después de incinerar.

El porcentaje de fibra cruda se calcula eliminando antes el porcentaje de grasa para evitar que interfiera con los resultados de Fibra Cruda Total.

Anexo 2. Elaboración de reactivos

Reactivos

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ➤ Agua destilada | ➤ Hexametáfosfato de sodio Grado Analítico Marca |
| ➤ Tritón X-100 Grado Analítico Marca | ➤ Sulfato de sodio Anhidro Grado Analítico Marca |

Preparación de Soluciones

Solución detergente: Se pesa 50 g de Hexametáfosfato de sodio, se disuelven con agitación en un vaso de precipitado con 250 mL de agua destilada. Enseguida se traspa a un matraz volumétrico de un Litro. Posteriormente se le añade 24 mL de Tritón X-100, se agita vigorosamente con un magneto sobre una parrilla de agitación hasta su completa disolución, se afora a un litro con agua destilada.

Anexo 3. Análisis de Leche de Cabra Deshidratada en NIRS

Paso 1: Se colocó el papel filtro de microcelulosa de fibra de vidrio, sobre una caja Petri previamente identificada.

Paso 2: La muestra de leche de cabra a temperatura ambiente homogenizo suavemente para lograr una dispersión uniforme de grasa, enseguida se procedió a medir 500 μ L con la Pipeta automática Eppendorf

Paso 3: Se depositó el volumen, empapando el papel filtro de microcelulosa de fibra de vidrio

Paso 4: Se tapa la caja Petri con la muestra

Paso 5: Se pone a secar a temperatura ambiente por 48 h.

Paso 6: Se mantiene aislada del medio ambiente dentro del desecador

Anexo 4. Cromatograma de referencia

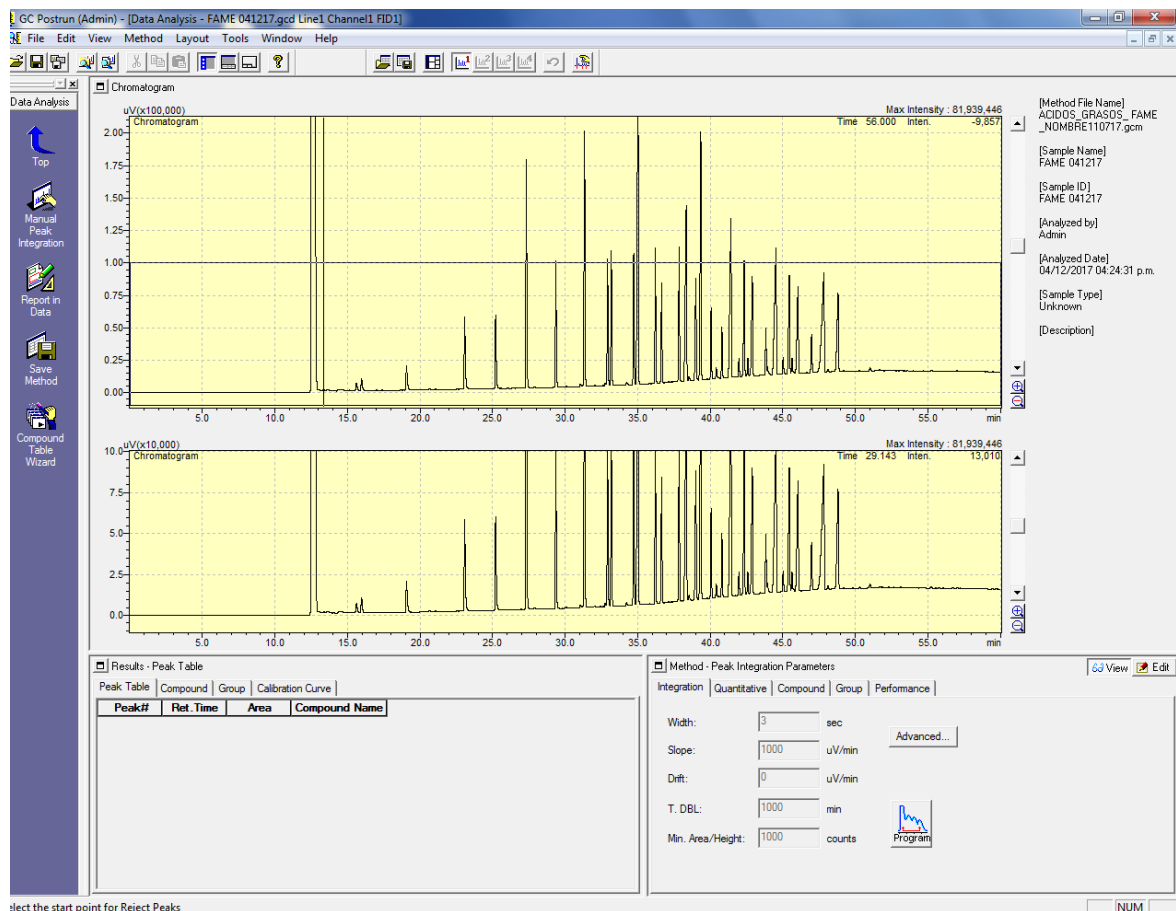


Figura 1a. Cromatograma del Estándar de referencia FAME

Anexo 5.

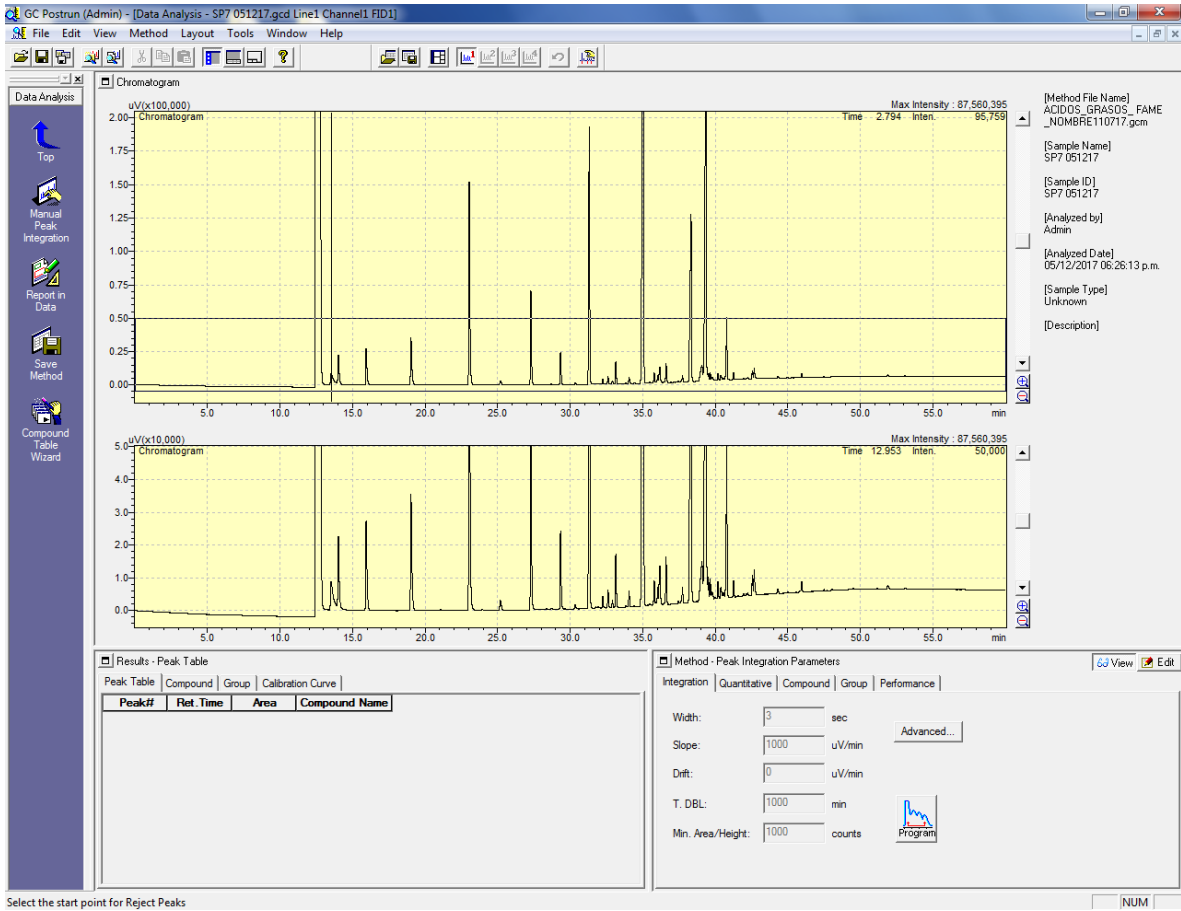


Figura. 2b Cromatograma de muestra de leche de cabra Unidad Productora 1.

Anexo 6. Tabla de composición de los ácidos grasos de leche de cabra por unidad productora de la Asociación de productores de Apaseo el Grande, Guanajuato

UNIDAD	GRASA	PROTEINA	FIBRA	C4	C6	C8	C10	C12	C14	C14:1	C15	C15:1	C16	C16:1	C17	C17:1	C18	C18:1n 9c	C18:1n 9c	C18:2n 6c	C18:2n 6c	C20	C18: 3n 3	ALC	saturados	monosaturados	Polisaturados
UP1	7.5	39.56	27.3	4.93	5.58	5.63	14.28	5.21	10.89	0.17	0.89	0.22	26.48	1.18	1.01	0.65	6.98	0.88	12.84	0.21	0.53	0.42	0.14	0.11	82.46	15.95	0.99
UP1	9.8	32.7	33.8	3.05	2.70	3.10	9.92	4.31	10.22	0.35	1.13	0.05	29.08	0.48	0.92	0.62	9.88	2.29	19.17	0.33	0.97	0.67	0.32	0.29	75.34	22.96	1.92
UP1	9.1	33.2	33.2	2.73	3.39	3.96	12.01	4.59	11.27	0.43	1.28	0.29	28.91	0.70	0.54	0.29	9.10	1.64	16.95	0.21	1.06	0.24	0.19	0.18	78.45	20.31	1.63
UP1	6.6	36.8	36	2.88	4.39	3.15	14.82	5.72	12.50	0.11	1.02	0.04	29.72	0.55	0.57	0.23	6.83	0.84	14.93	0.02	1.05	0.18	0.25	0.15	81.90	16.68	1.47
UP1	5.8	37.8	23.8	4.11	3.14	3.75	13.74	6.45	13.58	0.35	1.21	0.02	31.17	0.58	0.62	0.30	5.06	0.65	13.55	0.02	1.06	0.15	0.31	0.15	83.34	15.45	1.53
UP1	7.7	31.38	28.75	2.05	2.26	2.94	11.14	6.30	14.21	0.40	1.42	0.01	33.49	0.74	0.83	0.39	5.10	1.00	14.17	0.01	1.64	0.23	1.07	0.52	80.38	16.70	3.23
UP1	5.44	38.14	28.3	2.99	2.61	3.26	10.96	5.36	11.91	0.31	1.40	0.27	29.83	0.68	0.66	0.29	7.13	1.04	17.75	0.09	1.81	0.37	0.72	0.55	76.78	20.34	3.16
UP1	6.6	34.25	32.3	2.16	2.26	2.91	10.72	5.16	12.61	0.23	1.40	0.26	31.54	0.55	0.89	0.29	9.46	1.21	16.90	0.04	0.77	0.19	0.21	0.17	79.54	19.44	1.19
UP1	10	33.31	29.8	4.20	3.67	4.16	13.14	5.09	11.05	0.07	1.03	0.01	26.74	0.62	0.49	0.32	7.72	1.06	16.80	0.02	2.17	0.28	0.87	0.44	77.64	18.88	3.50
UP1	6.3	31.94	32.5	4.21	2.62	3.04	10.12	4.21	10.32	0.14	1.07	0.02	27.66	0.67	0.56	0.32	9.95	1.18	19.63	0.28	2.44	0.31	0.77	0.43	74.20	21.96	3.92
UP2	10.07	58.9	58	4.10	3.94	4.32	13.34	5.08	11.48	0.06	0.80	0.01	26.94	0.50	0.49	0.22	7.73	0.85	16.90	0.06	2.14	0.20	0.34	0.44	78.49	18.55	2.97
UP2	11.38	55.2	57.55	2.00	2.45	3.00	10.76	4.70	12.23	0.30	0.96	0.15	26.15	0.57	0.58	0.30	10.54	1.16	19.72	0.03	2.93	0.29	0.63	0.51	73.96	22.21	4.09
UP2	10.1	58.1	63.88	2.43	3.56	3.57	11.25	4.49	12.84	0.07	0.81	0.18	29.37	0.49	0.53	0.20	8.76	1.05	16.47	0.05	2.79	0.20	0.44	0.38	77.89	18.46	3.66
UP2	9.1	54.3	55.61	2.23	3.08	3.66	12.71	5.49	12.77	0.19	1.07	0.01	29.79	0.52	0.60	0.24	7.26	0.94	15.98	0.02	2.37	0.24	0.41	0.37	79.10	17.88	3.17
UP2	7.48	52.8	45.97	2.62	3.28	3.80	13.11	5.98	12.88	0.13	0.99	0.01	29.43	0.60	0.45	0.23	6.63	0.88	15.42	0.03	2.42	0.23	0.49	0.38	79.53	17.26	3.31
UP2	10.13	57.86	48.49	2.29	2.48	3.08	11.16	4.99	11.90	0.10	1.01	0.01	29.92	0.71	0.61	0.27	8.35	0.84	18.30	0.06	2.60	0.24	0.59	0.45	76.13	20.23	3.70
UP2	9.38	56.36	55.86	2.56	2.54	3.37	11.82	5.36	12.36	0.22	0.29	0.01	28.27	0.58	0.57	0.32	8.85	1.02	18.47	0.04	2.17	0.23	0.54	0.36	76.44	20.62	3.11
UP2	8.17	51.28	56.73	2.49	2.84	3.33	11.04	4.65	11.11	0.06	0.87	0.02	28.90	0.58	0.53	0.30	10.20	1.25	18.56	0.03	2.06	0.23	0.48	0.44	76.26	20.76	3.01
UP2	13.7	60	51.1	2.06	2.04	2.60	9.40	4.31	11.29	0.06	0.93	0.01	28.27	0.61	0.67	0.35	10.86	1.15	20.53	0.03	3.21	0.27	0.88	0.45	72.75	22.70	4.57
UP2	11	50.34	67.1	3.70	3.55	3.67	10.99	5.17	12.35	0.07	0.08	0.01	28.74	0.55	0.55	0.03	8.30	0.91	17.72	0.06	2.42	0.21	0.39	0.50	77.37	19.28	3.36
UP3	6.75	56	66.9	2.23	3.94	4.11	12.90	5.80	11.58	0.39	0.96	0.18	29.87	0.83	0.33	0.23	5.23	1.07	13.74	0.34	2.53	0.26	0.93	0.47	77.61	16.43	4.26
UP3	5.15	51.04	72.67	2.27	4.21	4.10	10.85	3.88	9.68	0.50	1.02	0.26	25.60	0.59	0.35	0.22	9.40	1.99	16.25	0.37	3.54	0.40	1.98	0.55	72.25	19.81	6.44
UP3	5.22	53.97	74.42	4.10	3.70	3.80	11.60	4.39	10.89	0.49	1.08	0.25	28.29	0.56	0.34	0.16	8.14	1.88	14.10	0.39	3.57	0.38	2.07	0.54	77.20	17.44	6.57
UP3	3.96	52.02	63.64	3.56	3.02	3.34	11.22	4.59	10.90	0.49	1.08	0.02	29.67	0.57	0.35	0.17	7.80	1.63	14.34	0.36	3.71	0.29	2.31	0.49	76.30	17.22	6.87
UP3	4.76	50.93	73.52	2.46	2.51	2.73	9.27	4.38	10.79	0.32	1.10	0.32	27.51	0.80	0.35	0.24	7.54	1.57	18.31	0.42	4.43	0.40	1.39	0.72	69.35	21.55	6.96
UP3	4.57	55.22	66.5	2.53	2.85	3.02	10.21	4.58	11.27	0.50	1.06	0.28	28.17	1.68	0.38	0.27	6.17	1.23	15.28	0.45	3.88	0.35	4.67	0.08	71.09	19.24	9.09
UP4	3.97	47.85	51.82	2.36	2.48	2.79	10.31	5.02	12.48	0.51	1.11	0.32	29.30	0.82	0.35	0.32	6.41	0.60	17.46	0.25	2.77	0.35	0.91	0.33	73.47	20.03	4.26
UP4	4.19	54.18	58.37	2.55	5.12	4.94	12.39	4.40	9.73	0.39	0.72	0.26	24.57	0.56	0.25	0.24	9.40	1.03	0.85	0.31	3.02	0.34	0.49	0.11	74.79	3.33	3.94
UP4	4.2	55.15	59.35	3.62	3.29	3.73	11.67	4.57	10.48	0.42	0.79	0.29	26.53	0.52	0.28	0.18	10.15	0.68	0.55	0.31	3.13	0.38	0.84	0.00	75.90	2.64	4.27
UP4	3.2	53.21	56.41	3.69	3.24	3.55	11.30	4.41	10.76	0.44	0.81	0.29	27.21	0.60	0.28	0.26	9.21	0.83	0.68	0.30	2.86	0.03	1.92	0.00	74.93	3.11	5.08
UP4	3.85	55.17	59.02	3.13	2.73	2.95	9.63	3.89	9.90	0.17	0.74	0.28	25.53	1.03	0.31	0.31	9.51	0.82	0.67	0.24	3.39	0.35	1.85	0.00	68.83	3.28	5.49
UP4	3.8	55.34	59.14	2.87	2.87	3.06	9.50	4.03	10.02	0.38	0.73	0.03	25.29	1.02	0.29	0.33	8.76	0.82	0.67	0.38	3.16	0.34	1.88	0.00	68.14	3.25	5.42

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA LECHE DE CABRA DE DIFERENTES RAZAS Y ALIMENTACIÓN DEL
ALTIPLANO MEXICANO
