

EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DE LECHE COMERCIALES CONSUMIDAS EN TUXTEPEC, OAXACA, MÉXICO

Evaluation and classification of quality of commercial milk consumed in Tuxtepec, Oaxaca, Mexico

¹José M. Juárez-Barrientos, ²Jesús Rodríguez-Miranda, ²Cecilia E. Martínez-Sánchez, ²Betsabé Hernández-Santos, ²Ernestina Paz-Gamboa, ³Carlos A. Gómez-Aldapa, ¹Pablo Díaz-Rivera, ^{2*}Erasmo Herman-Lara

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz., Km 88.5 carretera Xalapa-Veracruz, CP. 91690. Apartado Postal 421 CP. 91700 Veracruz, México.

²Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo A. s/n. Tuxtepec, Oaxaca, México. CP. 60300.
erasmo_hl@hotmail.com

³*Centro de Investigaciones Químicas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, CP. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Artículo científico recibido: 06 de mayo de 2014, aceptado: 06 de noviembre de 2014

RESUMEN. Se determinaron las características fisicoquímicas y de color de ocho marcas de leche consumidas en el municipio de Tuxtepec, se planteó una clasificación de calidad basada en el contenido de grasa, sólidos no grasos y agua añadida. Las diferentes marcas de leche presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los parámetros. La marca H presentó los valores más bajos en todos los parámetros, excepto en grasa y agua añadida. Ninguna marca de leche cumple con las especificaciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana para el contenido de proteína, lactosa, sólidos no grasos y densidad. Los valores de crioscopía en todas las marcas fueron mayores a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana, con valores altos de agua añadida. Todas las marcas cumplieron con lo mínimo normativo para grasa y acidez titulable. Con respecto, al color se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre las distintas marcas, siendo la marca H la que más se alejó del blanco estándar. Mediante el análisis Cluster y con base en los parámetros propuestos se identificaron cuatro grupos de leche: calidad aceptable (marcas F, G), calidad regular (marcas B, C, E), mala calidad (marcas A, D) y calidad inaceptable (marca H).

Palabras clave: Características fisicoquímicas, cluster, color, leche pasteurizada, Norma Oficial Mexicana.

ABSTRACT. The physicochemical and color characteristics of eight milk brands consumed in the municipality of Tuxtepec and a classification was proposed based on fat and non-fatty solids content and added water. The different milk brands showed significant differences ($p < 0.05$) in all the parameters. Brand H displayed the lowest values for all parameters, except for fat and added water. None of the milk brands complies with the specifications set by the Mexican Official Standard (NOM, for its acronym in Spanish) in terms of protein, lactose, non-fatty acids content and density. The cryoscopy values for all the brands were greater than the established by NOM, with high values of added water. All the brands comply with the minimum standards for titratable fat and acidity. In regards to color, there were differences ($p < 0.05$) among brands, with brand H as the furthest from the standard blank. Using a Cluster analysis, and on the basis of the parameters proposed, four groups of milk were identified: acceptable quality (brands F, G), fair quality (brands B, C, E), poor quality (brands A, D), and unacceptable quality (brand H).

Key words: Physicochemical characteristics, cluster, color, pasteurized milk, Mexican Official Standard.

INTRODUCCIÓN

En México se producen más de diez mil millones de litros de leche bovina, de la cual más del 20 % se utiliza para la elaboración de leche entera pasteurizada y ultrapasteurizada (SIAP-SAGARPA 2012). La leche es un alimento completo que aporta nutrientes para niños y adultos, que impacta de forma positiva en el metabolismo y la salud (Park *et al.* 2013). La leche entera, es el producto ajustado o no en su contenido de grasa, apto para consumo humano, después de procesos que garantizan su inocuidad (NOM-155-SCFI-2012).

Debido a su alto valor nutritivo, alta actividad de agua (0.98) y pH neutro (6.6), la leche es un medio óptimo para el crecimiento microbiano, por lo que necesita ser sometida a procesos térmicos para su conservación (Hougaard *et al.* 2009, Nicoleta 2009, Samia *et al.* 2009). Los procesos térmicos más comunes son la pasteurización y la ultrapasteurización; la pasteurización consiste en una relación tiempo/temperatura (72 °C/15 s) que destruye bacterias patógenas e inactiva algunas enzimas (NOM-155-SCFI-2012). En la ultrapasteurización se emplea una temperatura de 138 °C de 2 a 4 s (USDA 2011) que avala la esterilidad comercial y el envasado aseptico (NOM-155-SCFI-2012). Con base en estos procesos, la leche se clasifica como pasteurizada o ultrapasteurizada (Pereda *et al.* 2007, Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009, USDA 2011). Estos tipos de leche ocupan los primeros lugares de ventas en las zonas urbanas (Secretaría de Economía 2012). En un estudio de consumidores realizado en México, se encontró que 64.8 % de las personas adquieren leche entera, 19.7 % leche semidescremada o descremada y 4.9 % leche deslactosada (PROFECO 2006).

El pilar de la industria láctea es la calidad (Dulcieri *et al.* 2013), basada en las características fisicoquímicas y sensoriales, la cual determina los precios (Morand-Fehr *et al.* 2007, Ataşoğlu *et al.* 2009, Maciuc 2012). Durante los procesos térmicos ocurren cambios fisicoquímicos y sensoriales (Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009, Barba *et al.* 2012, Chun *et al.* 2013), que dependen de las condi-

ciones y la tecnología empleada (Hougaard *et al.* 2009). Además puede ocurrir una interacción leche-embalaje con filtración de gases y vapor de agua, entrada de aromas y penetración de luz (Gandy *et al.* 2008). Estos cambios en conjunto alteran el color, atributo importante de calidad; a través de reacciones de caramelización y de Maillard, que causan una tonalidad menos blanca (Morales y Van Boekel 1998, Grigioni *et al.* 2007). Debido a que la leche es un producto de la canasta básica, es importante evaluar su calidad fisicoquímica (Briñez *et al.* 2002, Antún *et al.* 2010). Para ese fin, existen métodos basados en el ultrasonido de alta frecuencia (Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009), que cada vez se aplica más en los análisis de la leche y sus derivados (Selmi *et al.* 2010, Maciuc 2012, Parasca y Chilimar 2012).

En México se consumen distintas marcas de leche, de empresas locales, nacionales y transnacionales, con niveles tecnológicos distintos (Espinosa *et al.* 2006); a pesar de que existen organismos públicos encargados de analizar su calidad, los datos de los análisis no son estudiados de forma estadística, por lo que no es posible realizar una clasificación válida. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar los parámetros fisicoquímicos y de color de ocho marcas de leche entera para determinar su calidad con base en los estándares normativos y proponer una clasificación de calidad con base en un número mínimo de parámetros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de leche

Se analizaron 96 muestras de siete marcas de leche entera ultrapasteurizada codificadas como: A, B, C, D, E (compañías nacionales tecnificadas y con alto grado de integración desde la obtención de la leche hasta la comercialización), F (compañía transnacional que opera con tecnología de punta y elevados estándares de calidad), G (compañía nacional dirigida al sector público que produce y distribuye leche subsidiada para el abasto social) y H (leche entera pasteurizada de empresa local, con

bajo nivel tecnológico, que se abastece de leche producida de su finca, fincas locales y regionales); las muestras de leche se colectaron de junio a agosto de 2013. Las leches ultrapasteurizadas se tomaron de forma aleatoria de los estantes de cuatro tiendas de autoservicio, en donde se mantenían a temperatura ambiente de 27.9 °C, mientras que las muestras de leche pasteurizada se obtuvieron de un mercado local en donde estaban en refrigeración a temperatura de 4 °C.

Análisis fisicoquímico

La porción de proteína, grasa, lactosa, agua añadida, sólidos no grasos, punto crioscópico y densidad se evaluó en cada muestra a 20 ± 0.5 °C mediante un analizador de leche por ultrasonido Lactoscan S (Milkotronic Ltd., 4 Narodni Buditeli Str. 8900 Nova Zagora Bulgaria); el cual se calibró y validó con los resultados obtenidos de las determinaciones analíticas realizadas de acuerdo con la AOAC (1990), NMX-F-737-CFOCALEC-2009 y NOM- 155-SCFI-2012.

Color

El color se midió con un colorímetro UltraScan® Vis (HunterLab, Hunter Associates Laboratory Inc., 11491 Sunset Hills Road, Reston, Virginia U.S.A). Se obtuvo el valor de L^* (Luminosidad), a^* (cromaticidad +rojo, -verde) y b^* (cromaticidad +amarillo, -azul), y se calculó el valor de cromaticidad (C^*) y ángulo Hue (h°). El equipo se calibró con un blanco estándar ($L^* = 99.39$, $a^* = -0.14$, $b^* = 0.06$) utilizado para obtener la diferencia total de color (ΔE).

Análisis estadístico

Se analizó la asociación entre las variables medidas mediante el coeficiente de correlación de Pearson (PROC CORR), un análisis de varianza (ANDEVA) con el procedimiento del modelo lineal general (PROC GLM) para observar las diferencias entre las marcas de leche. La clasificación en grupos se efectuó con el análisis Cluster estableciendo como medida la distancia Eucladiana, con el algoritmo de ligamiento completo y el método

k-means. Los parámetros de calidad considerados fueron: contenido de grasa, sólidos no grasos y agua añadida. Se aplicó un ANDEVA usando la comparación de medias de la mínima diferencia significativa (LSD) del procedimiento de Fisher's (PROC MEANS) a un nivel de significancia del 5 % para obtener las diferencias entre grupos. Para los procedimientos PROC CORR, PROC GLM y PROC MEANS se empleó el software SAS versión 9.3 y para el análisis Cluster el paquete STATISTICA V 7.

RESULTADOS

Proteína

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de proteína de las marcas de leche. La marca C tuvo el mayor valor (28.10 g L^{-1}), mientras que la marca H presentó el menor valor (23.70 g L^{-1}). Todas las marcas tuvieron valores menores a lo indicado en la NOM-155-SCFI-2012 (Tabla 1). El contenido de proteína se correlacionó con el contenido de sólidos no grasos ($r = 0.85$), agua añadida ($r = -0.83$), densidad ($r = 0.89$) y punto crioscópico ($r = -0.93$), con correlaciones altamente significativas ($p < 0.001$) (Tabla 2).

Lactosa y sólidos no grasos

La marca C mostró el mayor valor de lactosa (39.97 g L^{-1}) y contenido de sólidos no grasos (81.33 g L^{-1}), mientras que la marca H tuvo los valores más bajos para ambas variables. Todas las marcas tuvieron valores por debajo del valor mínimo establecido en la NOM-155-SCFI-2012 (Tabla 1). El contenido de lactosa se correlacionó con el contenido sólidos no grasos ($r = 0.82$), agua añadida ($r = -0.81$), densidad ($r = 0.92$) y punto crioscópico ($r = -0.90$); mientras que el contenido de sólidos no grasos se correlacionó con el contenido agua añadida ($r = -0.93$), densidad ($r = 0.94$) y punto crioscópico ($r = -0.95$) (Tabla 2).

Grasa

El contenido de grasa entre marcas fue diferente ($p < 0.05$). La marca F mostró el mayor

Tabla 1. Composición química de las diferentes marcas de leche y especificaciones de valores mínimos e intervalos establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas.

Table 1. Chemical composition of different milk brands and specifications of minimum values and intervals established by the Mexican Official Standards.

Código	Proteína (g L ⁻¹)	Grasa (g L ⁻¹)	Lactosa (g L ⁻¹)	Agua añadida (g L ⁻¹)	Sólidos no grasos (g L ⁻¹)
A	26.50 ± 0.002 ^e	36.00 ± 0.006 ^b	38.40 ± 0.007 ^e	128.80 ± 0.005 ^d	78.60 ± 0.001 ^d
B	27.93 ± 0.061 ^b	32.10 ± 0.002 ^f	39.90 ± 0.003 ^b	97.37 ± 1.101 ^g	81.30 ± 0.002 ^a
C	28.10 ± 0.008 ^a	30.77 ± 0.237 ^g	39.97 ± 0.069 ^a	97.40 ± 2.255 ^g	81.33 ± 0.124 ^a
D	27.10 ± 0.003 ^d	31.30 ± 0.009 ^h	38.70 ± 0.004 ^d	126.90 ± 0.002 ^e	78.90 ± 0.009 ^c
E	27.40 ± 0.003 ^c	34.50 ± 0.006 ^d	39.40 ± 0.002 ^c	105.70 ± 0.006 ^f	80.50 ± 0.005 ^b
F	25.47 ± 0.065 ^f	37.43 ± 0.066 ^a	37.13 ± 0.066 ^f	158.93 ± 1.154 ^c	76.20 ± 0.178 ^e
G	24.90 ± 0.007 ^g	35.20 ± 0.002 ^c	36.20 ± 0.050 ^g	183.93 ± 1.135 ^b	74.23 ± 0.065 ^f
H	23.70 ± 0.002 ^h	32.93 ± 0.121 ^e	34.40 ± 0.009 ^h	230.70 ± 0.001 ^a	70.37 ± 0.063 ^g
NOM- 155-SCFI-2003	30 mín	30 mín	43 - 50	N/E	83 mín

Promedios con letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 2. Coeficiente de correlación (r) entre algunos parámetros de la leche.

Table 2. Correlation coefficient (r) among some milk parameters.

Parámetro	Proteína	Lactosa	Sólidos no grasos	Crioscopía	Agua añadida	Densidad
Proteína	1.00	0.90*	0.85*	-0.93*	-0.83*	0.89*
Lactosa		1.00	0.82*	-0.90*	-0.81*	0.92*
Sólidos no grasos			1.00	-0.95*	-0.93*	0.94*
Crioscopía				1.00	0.90*	-0.96*
Agua añadida					1.00	-0.96*
Densidad						1.0

*Estadísticamente significativo ($p < 0.001$).

valor (37.43 g L⁻¹) y la C el menor valor (30.77 g L⁻¹). Todas las marcas tienen valores dentro de lo establecido en la NOM-155-SCFI-2012 (Tabla 1).

Punto crioscópico y agua añadida

La marca H presentó el valor mayor valor (-0.400 °C) y las marcas B y C los valores más bajos (-0.470 °C); aunque todas las marcas superan el límite establecido en la NOM-155-SCFI-2012 (Tabla 3). En los valores de agua añadida (Tabla 1) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre marcas. La marca H presentó el mayor contenido (230.70 g L⁻¹), mientras que la B y C tuvieron los menores contenidos (97.37 g L⁻¹ y 97.40 g L⁻¹, respectivamente). Se encontró correlación entre el punto crioscópico y el agua añadida ($r = 0.90$) y con la densidad ($r = -0.96$) (Tabla 2).

Densidad

El mayor valor lo mostró la marca C (1028.34 kg m⁻³) y el más bajo la marca H (1024.17 kg m⁻³). Teniendo todas las marcas valores inferiores de lo establecido en la NOM-155-SCFI-2012 (Tabla 3).

Acidez

La marca H presentó el valor más bajo (0.9 g L⁻¹) y las marcas A y G los valores más altos (1.3 y 1.4 g L⁻¹).

Color

Los parámetros de color de las marcas de leche se muestran en la Tabla 4. En L*(luminosidad) se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre marcas. El valor máximo lo mostró la marca E (90.75) y el mínimo la marca C (86.17). Para croma C* todas las marcas fueron distintas ($p <$

Tabla 3. Coeficiente de correlación (*r*) entre algunos parámetros de la leche.

Table 3. Correlation coefficient (*r*) among some milk parameters.

Código	Crioscopía (°C)	Densidad (kg m ⁻³)	Acidez (g L ⁻¹)
A	-0.450 ± 0.001 ^d	1027.04 ± 0.001 ^e	1.3 ± 0.006 ^a
B	-0.470 ± 0.003 ^f	1028.25 ± 0.027 ^b	1.1 ± 0.008 ^{bc}
C	-0.470 ± 0.003 ^f	1028.34 ± 0.041 ^a	1.0 ± 0.139 ^{cd}
D	-0.450 ± 0.006 ^d	1027.40 ± 0.023 ^d	1.2 ± 0.034 ^b
E	-0.470 ± 0.002 ^e	1027.83 ± 0.002 ^c	1.1 ± 0.009 ^{bc}
F	-0.440 ± 0.001 ^c	1026.06 ± 0.044 ^f	1.2 ± 0.001 ^b
G	-0.420 ± 0.001 ^b	1025.45 ± 0.023 ^g	1.4 ± 0.007 ^a
H	-0.400 ± 0.003 ^a	1024.17 ± 0.010 ^h	0.9 ± 0.003 ^d
NOM- 155-SCFI-2003	-0.510 – -0.560	1029.0 mín	1.3 – 1.7

Promedios con letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencia significativa (*p* < 0.05).

Tabla 4. Coeficiente de correlación (*r*) entre algunos parámetros de la leche.

Table 4. Correlation coefficient (*r*) among some milk parameters.

Código	Color			
	L*	C*	ho	ΔE
A	89.20 ± 0.031 ^{ab}	8.27 ± 0.011 ^e	81.40 ± 0.161 ^a	13.07 ± 0.035 ^b
B	89.76 ± 0.403 ^{cd}	8.14 ± 0.045 ^a	80.92 ± 0.049 ^b	12.55 ± 0.285 ^a
C	86.17 ± 0.036 ^{ab}	8.34 ± 0.027 ^f	82.42 ± 0.053 ^c	13.13 ± 0.010 ^b
D	89.95 ± 0.068 ^c	8.13 ± 0.023 ^a	80.68 ± 0.021 ^d	12.40 ± 0.052 ^a
E	90.75 ± 0.081 ^e	7.69 ± 0.019 ^c	75.81 ± 0.121 ^e	11.51 ± 0.074 ^c
F	89.98 ± 0.461 ^c	7.59 ± 0.036 ^b	77.18 ± 0.010 ^f	12.03 ± 0.357 ^d
G	89.52 ± 0.059 ^{bd}	7.85 ± 0.023 ^d	86.01 ± 0.040 ^g	12.57 ± 0.030 ^a
H	88.88 ± 0.143 ^a	10.73 ± 0.033 ^g	78.44 ± 0.063 ^h	14.96 ± 0.121 ^e

Promedios con letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencia significativa (*p* < 0.05). L*: Luminosidad, a*: Cromaticidad +rojo, -verde, b*: Cromaticidad +amarillo, -azul, C*: Saturación de color, h°: Tonalidad rojizo (0°), amarillo (90°), verde (180°), azul (270°), ΔE: Diferencia de color con respecto al blanco estándar.

0.05) excepto las marcas D y B (*p* > 0.05) con un valor promedio de 8.14. El valor máximode C* se encontró en la marca H (10.73) y el mínimo en la marca F (7.59). Para el ángulo Hue (h°) la marca F presentó el valor más bajo y la G el máximo, sin embargo todas las marcas se ubican dentro del cuadrante de color amarillo. Para ΔE la marca H fue la que mostró el mayor valor (14.96), mientras que la marca E tuvo el valor menor (11.51).

Clasificación

Las diferentes marcas de leche entera fueron clasificadas en cuatro grupos (Figura 1), siendo el G1 de calidad aceptable, G2 de calidad regular; G3

de mala calidad y G4 de calidad inaceptable, cuyos valores de contenido de grasa, sólidos no grasos y agua añadida (Tabla 5) se compararon con los valores establecidos por la FDA. El grupo G1 (marcas F, G), presentó un contenido de grasa de 32.4 g L⁻¹, valor que se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma oficial, el contenido de sólidos no grasos (81.04 g L⁻¹) estuvo muy cercano a lo establecido en la norma oficial (82 g L⁻¹) con valor medio de agua añadida de 100.15 g L⁻¹. El grupo G2 (marcas B, C, E), fue superior (*p* < 0.05) en el contenido de grasa (33.6 g L⁻¹) y agua añadida (127.8 g L⁻¹) al grupo G1, pero inferior en sólidos no grasos (78.7 g L⁻¹). El Grupo G3 (marcas A, D)

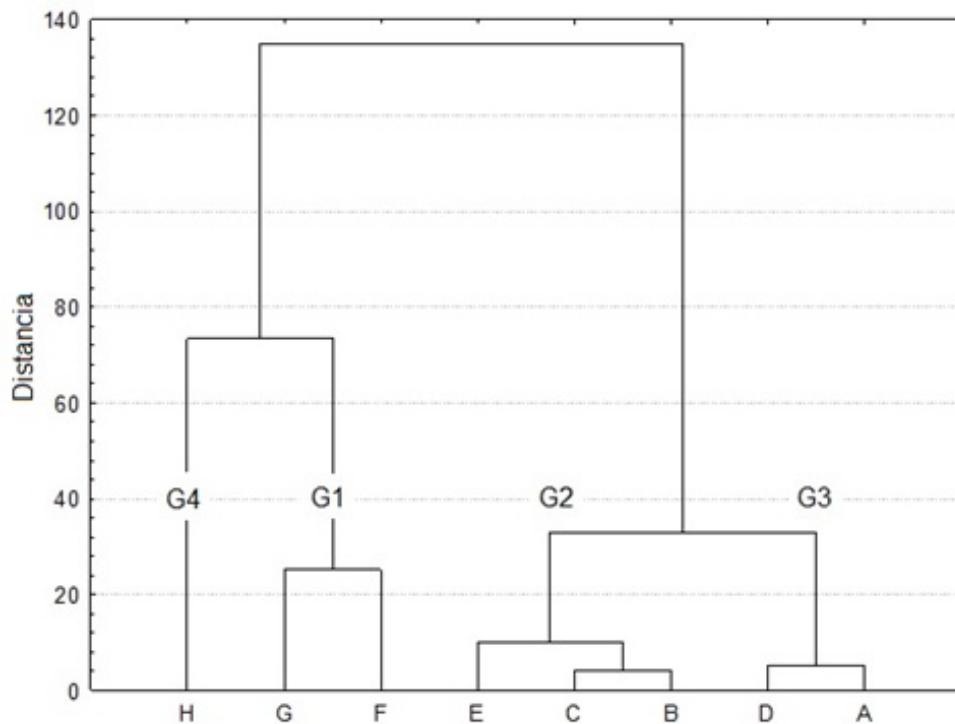


Figura 1. Dendrograma de los grupos de leches G1 (calidad aceptable), G2 (calidad regular), G3 (mala calidad) y G4 (calidad inaceptable) obtenidos.

Figura 1. Dendrogram of the dairy group G1 (acceptable quality), G2 (medium quality), G3 (poor quality) and G4 (unacceptable quality) obtained.

Tabla 5. Características de los grupos obtenidos con base en el contenido de grasa, sólidos no grasos y agua añadida.

Table 5. Characteristics of the obtained groups based on the fat, non-fat solids content and water added.

Parámetros	Grupos			
	G1	G2	G3	G4
Grasa (g L^{-1})	32.45 ± 1.641^a	33.65 ± 2.572^c	36.31 ± 1.221^d	32.93 ± 0.112^b
Sólidos no grasos (g L^{-1})	81.04 ± 0.410^d	78.75 ± 0.164^c	75.21 ± 1.080^b	70.36 ± 0.056^a
Agua añadida (g L^{-1})	100.15 ± 4.349^a	127.85 ± 1.040^b	171.43 ± 13.736^c	230.70 ± 0.017^d
Número de observaciones	24	36	24	12
Marcas de leche	F, G	B, C, E	A, D	H

Promedios con letras diferentes dentro de la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$). G1: calidad aceptable. G2: calidad regular. G3: mala calidad. G4: calidad inaceptable.

presentó un mayor ($p < 0.05$) contenido de grasa (36.31 g L^{-1}) y agua añadida (171.4 g L^{-1}) que los grupos G1 y G2, pero un contenido menor de sólidos no grasos (75.2 g L^{-1}). El grupo G4 (marca H) presentó el menor ($p < 0.05$) contenido de sólidos no grasos con respecto al resto de los grupos (70.36 g L^{-1}) y el mayor contenido de agua añadida (230.7 g L^{-1}).

DISCUSIÓN

Proteína

Los valores encontrados son inferiores a los observados en estudios hechos con leche entera pasteurizada con tratamiento termo-sónico (Nuñez et al. 2004, Bermúdez-Aguirre et al. 2009, Vianna et al. 2012) en el que se tuvieron contenidos de

proteína de entre 29.2 y 33.5 g L⁻¹. Los valores por debajo de 30 g L⁻¹ (NOM- 155-SCFI-2012) indican una deficiencia en la calidad nutricional de la leche y pueden relacionarse con la calidad de la leche cruda (Gunnar y Kolstad 2006) o incluso con la asociación covalente de las proteínas del suero con proteínas de la membrana de los glóbulos de grasa, por efecto del tratamiento térmico (Walstra et al. 2007).

Lactosa y sólidos no grasos

El contenido de lactosa en todas las marcas es menor a los reportado en otros estudios que va de 47.7 a 47.9 g L⁻¹ en leches tratadas de forma térmica (Nuala et al. 2004) y a lo establecido en la NOM-155-SCFI-2012. Lo cual impactó en el contenido de sólidos no grasos, que fue inferior a lo encontrado en estudios realizados con leches tratadas térmicamente (95.0 g L⁻¹) y similar al contenido observado en leche sometida a un proceso termo-sónico (80.3 g L⁻¹) (Bermúdez-Aguirre et al. 2009). El contenido de sólidos no grasos representa el contenido de proteína, lactosa y minerales (Park et al. 2013), por lo tanto los valores bajos de proteína y lactosa se reflejan en un contenido bajo de sólidos no grasos, lo cual se corrobora con la correlación encontrada (Tabla 2) entre el contenido de proteína ($r= 0.85$) y lactosa ($r= 0.82$) con el contenido de sólidos no grasos. El contenido bajo de sólidos no grasos podría estar relacionado con la adición de agua (Calderón et al. 2006) ya que se observó una fuerte correlación entre estos parámetros ($r= -0.93$), lo cual se comprueba con los valores elevados de crioscopía y la baja de densidad.

Contenido de grasa

Los valores encontrados son mayores a los 14.7 g L⁻¹ reportado por Nuala et al. (2004) y menores a los 42.2 g L⁻¹ encontrado en leche tratada de forma térmica (Bermúdez-Aguirre et al. 2009). Aun así los valores de las marcas analizadas se encuentran dentro de lo establecido en la NOM-155-SCFI-2012. A pesar de que la grasa de la leche aporta ácidos graso, como el ácido linoleico conjugado (CLA) que tiene efectos nutricionales

benéficos en humanos (Park et al. 2013), su concentración en la leche bovina es baja (Collomb et al. 2006).

Punto crioscópico y agua añadida

El punto crioscópico es un indicador importante de la calidad de la leche (Navratilova et al. 2006) que se correlacionó ($r= 0.90$) con el agua añadida (Tabla 2). El punto crioscópico de la leche cruda puede incrementarse por factores como, la alta producción de leche, la alimentación del hato (Briñez et al. 2008, Cervantes et al. 2010) y la época del año (Peralta y Lastra 1999). Sin embargo, no es fácil determinar las razones del incremento en leches tratadas térmicamente. En primera instancia, el punto crioscópico depende de la calidad de la leche cruda (Navratilova et al. 2006) y debido a que la leche se encuentra en equilibrio con la presión osmótica de la sangre, dicho parámetro no puede variar más allá del intervalo de -0.510 a -0.560 °C (Badui 2013). Por lo tanto, los valores fuera de norma en leches tratadas de forma térmica podrían relacionarse con la adición de agua ya sea intencional o por razones de procesamiento. Al respecto, Navratilova et al. (2006) observaron que 70.2 % de las muestras analizadas presentaron valores de punto crioscópico fuera de norma. La dilución con agua durante el procesamiento de la leche puede ocurrir por el contacto con el agua residual y agua condensada de la superficie del equipo, que aporta cerca de 40 mL de agua por cada metro cuadrado (Pal'o et al. 1992).

Densidad

Todas las marcas mostraron valores por debajo de los 1029.0 kg m⁻³ establecidos en la NOM-155-SCFI-2012 y a lo reportado en estudios realizados con leche tratada de forma térmica (1031.70 kg m⁻³), pero son similares a lo reportado en leche sometida a proceso termo-sónico (1025.70 - 1026.1 kg m⁻³) (Bermúdez-Aguirre et al. 2009).

Acidez

Todas las marcas cumplieron con lo establecido en la NOM-155-SCFI-2012 (1.3 - 1.7 g L⁻¹),

lo que indica una buena calidad sanitaria de la leche y refleja buenas prácticas de ordeño y manejo adecuado hasta su procesamiento (Briñez *et al.* 2002). Estos valores coinciden con lo reportado en un estudio realizado con leche tratada térmicamente (1.2 g L^{-1}) y con proceso termo-sónico (1.4 g L^{-1}) (Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009).

Color

El color de la leche representa los cambios en algunas propiedades fisicoquímicas, siendo la blancura una de las características más importantes para el consumidor y que a menudo puede aumentar las ventas. La luminosidad mejora cuando se somete la leche al proceso de homogenización (Owens *et al.* 2001), debido a que la formación de una elevado número de glóbulos de grasa pequeños, eleva la difracción de la luz y la blancura (Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009). Todas las marcas mostraron valores de L^* dentro del intervalo (77.15 - 92.37) reportado (Grigioni *et al.* 2007, Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009, Rupesh *et al.* 2011). En cuanto a croma C^* , este valor indica el grado de saturación, la pureza o la intensidad del color, encontrándose todas las marcas dentro del intervalo de 6 a 8 (Bermúdez-Aguirre *et al.* 2009). El ángulo Hue (Tabla 4), es un indicador de calidad, que permite la clasificación del producto como: rojizo (0°), amarillo (90°), verde (180°) y azul (270°). Todas las marcas se ubicaron dentro del cuadrante de color amarillo similar a lo encontrado por Bermúdez-Aguirre *et al.* (2009). La marca H fue la que más se alejó del blanco estándar, presentando un color dorado con mayor saturación de color en contraste con la leche E que presentó menor desviación con respecto al estándar y una menor saturación de color amarillo. De acuerdo con los resultados, todas las leches presentaron un color blanco con diferente tonalidad de amarillo, dentro de los valores característicos para leches tratadas de forma térmica.

Clasificación

La clasificación de calidad propuesta se basa en algunos parámetros utilizados por la FDA para

el monitoreo de la calidad nutricional de la leche comercializada en los Estados Unidos (Sraïri *et al.* 2009, Park *et al.* 2013). En esta propuesta se plantea que una leche de buena calidad debe tener como mínimo 30 g L^{-1} de grasa, 82 g L^{-1} de sólidos no grasos y debe presentar valores por debajo de los 100 g L^{-1} de agua añadida. En este estudio ninguna leche se clasificó como de buena calidad ya que no cumplieron con el contenido mínimo de sólidos no grasos, 25 % de las leches se clasificaron como de calidad aceptable, 37.5 % de calidad regular, 25 % de mala calidad y 12.5 % de calidad inaceptable. Los grupos de calidad regular, mala calidad y calidad inaceptable, presentaron valores bajos de sólidos no grasos ($70 - 78 \text{ g L}^{-1}$) y elevado contenido de agua añadida ($127 - 230 \text{ g L}^{-1}$).

CONCLUSIONES

Se detectaron deficiencias en la calidad nutricional de las leches comercializadas y consumidas en el municipio de Tuxtepec, Oaxaca, México; debido a que ninguna marca analizada cumplió con los valores establecidos por la Norma Oficial Mexicana en cuanto al contenido de proteínas, lactosa, sólidos no grasos, densidad y crioscopía, cumpliendo únicamente con el contenido de grasa y acidez. A través de la metodología propuesta fue posible crear una clasificación de calidad con base en el contenido de grasa, sólidos no grasos y agua añadida y diferenciar de forma estadísticamente los grupos encontrados. De acuerdo con la clasificación de calidad propuesta, 75 % de las leches evaluadas fueron de calidad regular a inaceptable, lo que evidencia la necesidad de realizar investigaciones futuras enfocadas a desarrollar un mecanismo de monitoreo eficaz de la calidad de la leche comercializada, que examine los factores necesarios y permita efectuar las recomendaciones pertinentes a las empresas transformadoras con la finalidad de ofrecer al consumidor un producto de buena calidad.

LITERATURA CITADA

- Antún C, Graciano A, Risso PV (2010) Canasta básica de alimentos. Conclusiones del grupo de estudios sobre soberanía alimentaria. Asociación Argentina de Dietistas y Nutricionistas Dietista 28: 32-34.
- AOAC (1990) Official Methods of Analysis. Vol II 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg, Maryland. 684p.
- Ataşoğlu C, Uysal PC, Karagül YY (2009) Changes in milk fatty acid composition of goats during lactation in a semi-intensive production system. Archives of Animal Breeding 52: 627-636.
- Badui DS (2013) Química de los alimentos. 5a Edición. Editorial Pearson. Estado de México, México. 744p.
- Barba FJ, Esteve JM, Frígola A (2012) High pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: a review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 11: 307-322.
- Bermúdez-Aguirre D, Mawson R, Versteeg K, Barbosa-Cánoas GV (2009) Composition properties, physicochemical characteristics and shelf life of whole milk after thermal and thermo sonication treatments. Journal of Food Quality 32: 283-302.
- Briñez W, Valbuena JE, Castro G, Fuentes F, González D, Tovar A (2002) Calidad física química de las principales marcas de leche pasteurizada consumidas en la ciudad de Maracaibo. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad de Zulia 12: 221-230.
- Briñez W, Valbuena JE, Castro G, Tovar A, Ruiz RJ (2008) Algunos parámetros de composición y calidad en leche cruda de vacas doble propósito en el municipio Machiques de Perijá. Estado Zulia, Venezuela. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad de Zulia 18: 607-617.
- Calderón A, García F, Martínez G (2006) Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. Revista MVZ Córdoba 11: 725-737.
- Cervantes EF, Villegas GA, Cesín VA, Santos MA (2010) El sistema agroindustrial lácteo en México. En: Universidad Autónoma Chapingo (ed.). Agricultura, Ciencia y Sociedad Rural. Chapingo, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 221-223.
- Chun L, Guorong W, Li Y, Zhang L (2013) Effects of homogenization pressures on physicochemical changes in different layers of ultra-high temperature whole milk during storage. International Journal of Dairy Technology 66: 325-332.
- Collomb M, Schmid A, Sieber R, Wechsler D, Ryhänen EL (2006) Conjugated linoleic acids in milk fat: variation and physiological effects. International Dairy Journal 16: 1347-1361.
- Dulcieri CGR, Guzmán TE, Zaldivar QN (2013) Parámetros físicoquímicos de leche cruda. Revista Producción Animal 25: 1-4.
- Espinosa ST, Villegas GA, Gómez RG, Cruz CJG, Hernández MA (2006) La agroindustria láctea en el Valle de México: un ensayo de categorización. Técnica Pecuaria en México 44: 181-192.
- Gandy AL, Schilling WM, Coggins CP, White HC, Yoon Y, Kamadia VV (2008) The effect of pasteurization temperature on consumer acceptability, sensory characteristics, volatile compound composition, and shelf-life of fluid milk. Journal of Dairy Science 91: 1769-1777.
- Grigioni G, Biolatto A, Irurueta M, Sancho AM, Páez R, Pensel N (2007) Color changes of milk powder due to heat treatments and season of Manufacture. Ciencia y Tecnología Alimentaria 5: 335-339.

- Gunnar R, Kolstad J (2006) Extended shelf life milk advances in technology. International Journal of Dairy Technology 59: 85-96.
- Hougaard AB, Hammershøj JM, Vestergaard S, Poulsen O, Ipsen RH (2009) Instant infusion pasteurization of bovine milk. I. Effects on bacterial inactivation and physical-chemical properties. International Journal of Dairy Technology 62: 484-492.
- Maciuc V (2012) Researches regarding milk processing in quality condition in a dairy farm in Roumania east area. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Seria Zootehnie 57: 170-75.
- Morales FJ, Van-Boekel MAJS (1998) A study on advanced Maillard Reaction in heated casein/sugar solutions: color formation. International Dairy Journal 8: 907-915.
- Morand-Fehr P, Fedele V, Decandia M, Le-Frileux Y (2007) Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. Small Ruminant Research 68: 20-34.
- Navratilova P, Janstova B, Glossova P, Vorlova L (2006) Freezing point of heat-treated drinking milk in the Czech Republic. Czech Journal of Food Sciences 24: 156-163.
- Nicoleta S (2009) Traceability indicators for heat treatments of milk. Innovative Romanian Food Biotechnology 5: 10-17.
- NMX-F-737-CFOCALEC-2009. Sistema producto leche-alimentos-lácteos-determinación de la densidad en leche fluida y fórmula láctea-método de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de Noviembre de 2009.
- NOM-155-SCFI-2012. Leche, denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de mayo de 2012.
- Nuala MR, Beresford TP, Kelly AL, Timothy GP (2004) Effect of milk pasteurization temperature and in situ whey protein denaturation on the composition, texture and heat-induced functionality of half-fat Cheddar cheese. International Dairy Journal 14: 989-1001.
- Owens SL, Brewer JL, Rankin SA (2001) Influence of Bacterial Cell Population and pH on the Color of Nonfat Milk. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie 34: 329-333.
- Pal'o V, Fábry I, Hostin S (1992) Kryoskopické tedium akosti mlieka. II. Bilancia teploty tuhnutia mlieka pri mliekárenskom spracovaní. Pol'nohospodárstvo 38: 11-12.
- Parasca A, Chilimar S (2012) Quality of milk from cows of the moldavian type of black & white and red estonian breeds. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Seria Zootehnie 58: 131-136.
- Park YW, Haenlein GF, Ag DS (2013) Milk and Dairy Products in Human Nutrition. Wiley-Blackwell. Iowa, USA. 680p.
- Peralta AMA, Lastra IM (1999) Programa de producción de leche y sustitución de importaciones. En: Martínez BE, Álvarez IM, García HA, del Valle CM. Dinámica del sistema lechero mexicano en el marco regional y global. México: Plaza y Valdés Editores. pp: 223-236.
- Pereda J, Ferragut V, Quevedo JM, Guamis B, Trujillo AJ (2007) Effects of ultra-high pressure homogenization on microbial and physicochemical shelf life of milk. Journal of Dairy Science 90: 1081-1093.
- PROFECO (2006) Leches y fórmulas lácteas Revista Consumidor. México, Octubre: 47-59.
http://www.profeco.gob.mx/revista/pdf/est_06/leche_oct06.pdf. Fecha de consulta 10 de julio de 2013.

- Rupesh SC, Shraddha RC, Chandrashekhar DK, Atanu HJ (2011) UHT milk processing and effect of plasmin activity on shelf life: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10: 251-268.
- Samia MA, Elrahman A, Said AAMM, Ibtisam ME, Zubeir E, Owni OOA, et al. (2009) Microbiological and physicochemical properties of raw milk used for processing pasteurized milk in blue nile dairy company (Sudan). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3: 3433-3437.
- Secretaría de Economía. (2012). Análisis del sector lácteo en México. Dirección General de Industrias Básicas. México. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf. Fecha de consulta 10 de julio de 2013.
- Selmi H, Bouzourrâa I, Ben GA, Rekik B, Rouissi H (2010) Effects on incorporating fat in to the ration on milk yield and quality in Silo-Sarde ewes. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 9: 545-547.
- SIAP-SAGARPA (2012) Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, Leche de bovino. México. <http://www.lechebovino.gob.mx/index.php?portal=lechebovino>. Fecha de consulta 10 de julio de 2013.
- Sraïri MT, Benhouda H, Kuper M, Le Gal PY (2009) Effect of cattle management practices on raw milk quality on farms operating in a two-stage dairy chain. *Tropical Animal Health and Production* 41: 259-272.
- USDA (2011) Milk for Manufacturing Purposes and its Production and Processing, Recommended Requirements. Agricultural Marketing Service. Dairy Programs. E.E.U.U. 50p.
- Vianna PCB, Walter EHM, Dias MEF, Faria JAF, Netto FM, Gigante ML (2012) Effect of addition of CO² to raw milk on quality of UHT-treated milk. *Journal of Dairy Science* 95: 4256-4262.
- Walstra P, Walstra P, Wouters JT, Geurts TJ (2006) *Dairy science and technology*. Taylor & Francis Group. FL, USA. 762p.