Artigo

OBTENCIÓN DE LECHE ENTERA SIN COLESTEROL MEDIANTE EL USO DE β-CICLODEXTRINA

Obtenção de leite integral sem colesterol com a utilização de β-cyclodextrina

Sergio ROZYCKI [1]
Francisco COLOMBATTI [2]
María Julia SPOTTI [3]
Fabiano Freire COSTA [4*]
Sandra LAZZARONI [5]
Yanina PAVÓN [6]

RESUMEN

El colesterol dietario, asociado a dicha grasa, determina en un 20% la concentración del colesterol plasmático, el cual produce enfermedades coronarias y cerebrovasculares. Este porcentaje suele promover hipercolesterolemia, siendo grasa láctea muy rica en vitamina D, ácido linoleico conjugado y promotora de características texturales (cremosidad, palatabilidad) y de flavor irreemplazables, considerándose actualmente sus ácidos grasos saturados, neutros en cuanto a la generación de enfermedades coronarias y cerebrovasculares, conviniendo no extraer dicha grasa láctea. El objetivo fue optimizar la extracción de colesterol, sin extraer la grasa láctea, y evaluar la aceptabilidad de las leches obtenidas. Se investigó la extracción del colesterol en leche, con β-ciclodextrina, utilizándose un diseño experimental (2 variables: Porcentaje β-ciclodextrina y presión de homogeneización, en 3 niveles: 0,9-1,5% y 110-160 atm.). El máximo porcentaje de extracción de colesterol fue 92%. En todos los casos se obtuvo un porcentaje de extraccíon mayor al 80% lo que permite cumplir con la reglamentación vigente, respecto a que su concentración sea menor de 5 mg/100g, y permite obtener leche y productos lácteos "sin colesterol". De la evaluación sensorial se observó que el 80-85% de los evaluadores tuvo una buena y muy buena aceptación. Solo al 5-10% le disgustó el sabor dulce generado.

Palabras clave: leche funcional; aceptabilidad sensorial; optimización; diseño experimental.

1 Doutor. Investigador/Professor, Facultad de Ingeniería Química (FIQ), Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina. E-mail: sdrozycki@hotmail.com
2 Licenciatura en Biotecnología. Cientibecario y c tesista, Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA), Facultad de Ingeniería Química (FIQ) , Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina. E-mail: fran_colombatti@hotmail.com
3 Licenciatura en Biotecnología. Tesista, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (FBCB) , Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina. E-mail: juliaspotti@yahoo.com.ar
4 Doutor em Ciências dos Alimentos. Professor Adjunto A, Departamento Farmacêutico, Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil. E-mail: fabianofreirecosta@gmail.com
5 Becaria Doctoral CONICET – Argentina. Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA), Facultad de Ingeniería Química (FIQ) , Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina. E-mail: sandralazz_8@hotmail.com
6 Becaria Doctoral CONICET – Argentina. Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA), Facultad de Ingeniería Química (FIQ) , Universidad Nacional del Litoral (UNL), Santa Fe, Argentina. E-mail: yanipavon781@yahoo.com.ar
* Autor para correspondência: Faculdade de Farmácia Bioquímica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares/MG – Brasil. E-mail: fabianofreirecosta@gmail.com

Recebido/ Received: 31/01/2013
Aprovado / Approved: 25/06/2013

RESUMO

O colesterol da dieta, que está relacionado com a gordura, determina 20% da concentração de colesterol no plasma, o que provoca doenças cardíacas e cerebrovasculares. Essa percentagem promove a hipercolesterolemia. A gordura láctea é muito rica em vitamina A, ácido linoleico conjugado e promove características de textura (cremosidade, palatabilidade) e sabor insubstituível. Os ácidos graxos saturados da gordura láctea são considerados atualmente neutros quanto à geração de doença cardíaca e cerebrovascular, portanto, deve-se evitar a extração desses ácidos graxos da gordura láctea. O objetivo deste trabalho foi otimizar a extração de colesterol, sem extrair a gordura do leite e avaliar a aceitabilidade do leite obtido. Foi avaliado a extração do colesterol no leite, com β-ciclodextrina, utilizando-se um delineamento experimental com duas variáveis: porcentagem β-ciclodextrina e pressão de homogeneização, em 3 níveis: 0,9-1,5% e 110-160 atm. A porcentagem máxima de extração de colesterol foi de 92%. Em todos os casos, a porcentagem de extração foi superior a 80%, o que está em conformidade com a regulamentação existente, em relação a concentração do colesterol ser inferior a 5mg/100 g. Isso permite obter leite e produtos lácteos "sem colesterol". Na avaliação sensorial observou-se que 80-85% dos avaliadores aceitaram bem e muito bem o leite tratado com β-ciclodextrina . Apenas 5-10% não gostou do sabor doce gerado.

Palavras-chave: leite funcional;aceitabilidade;otimização;desenho experimental.

1 INTRODUCCIÓN

El colesterol es una molécula que se encuentra en los alimentos de origen animal. En el organismo, forma parte de la membrana plasmática de las células y es precursor de una variedad de compuestos, como la vitamina D, las hormonas esteroides y los ácidos biliares, además de desarrollar funciones muy importantes en el cuerpo humano. Un poco más de la mitad del colesterol del organismo se origina de su síntesis (cerca de 700 mg/día), y el resto es proporcionado por una alimentación promedio. El hígado y los intestinos sintetizan el 10% (SIEBER, 1993).

Se acepta que la ingesta de colesterol debe ser menor a 300 mg/día (SCHAEFER, 2002). Es importante consumir escasa cantidad de productos con elevadas concentraciones de colesterol, aceites vegetales con ácidos grasos poliinsaturados y productos alimenticios ricos en fibras y carbohidratos complejos (SIEBER, 1993).

Uno de los principales factores que aumenta el colesterol plasmático son los ácidos grasos *trans*, los cuales se encuentran en bajísima proporción en la grasa láctea. Por lo tanto, la restricción del colesterol dietario reduce significativamente la mortalidad por enfermedades cerebrovasculares y coronarias (ECC) (YANCY et al, 2003).

El "colesterol malo" (LDL = liproproteínas de baja densidad) se deposita dentro de las placas de ateroma produciendo un estrechamiento de la arteria, inicialmente parcial, hasta evolucionar a una completa oclusión, provocando ECC. Por esto se tiende a excluir de la dieta aquellos alimentos con alto nivel de colesterol, como por ejemplo los productos lácteos concentrados en grasa (dulce de leche, quesos, leche en polvo, crema y manteca). El colesterol en alimentos de origen animal puede ser oxidado, debido a la presencia de oxígeno, luz y calor, para formar productos oxidados del colesterol (COPs). Éstos son: aterogénicos, citotóxicos, mutagénicos y carcinogénicos (PANIANGVAIT et al., 1995; SIEBER, 2005).

Los ácidos grasos (AG) de cadena corta en leche, $C_{4:0}$ a $C_{10:0}$ se comportan como carbohidratos y no tienen efectos sobre el colesterol plasmático. Se observó que los AG $C_{18:0}$, $C_{18:1}$ y $C_{18:2}$ son hipocolesterolémicos y los AG de $C_{12:0}$, $C_{14:0}$ y $C_{16:0}$ se consideran neutros respecto al cociente CT (colesterol total) / HDL (colesterol bueno), considerado como mejor indicador del riesgo de ECC (PARODI, 2009). Por esto, la grasa láctea se está revalorizando actualmente, separándola del comportamiento nocivo de la grasa vacuna.

El colesterol se encuentra en un 80% en el interior del glóbulo graso y un 10% en su membrana. Para poder extraerlo por acomplejamiento, debe liberase previamente del mismo lo cual se logra con el proceso de homogeneización (LEE et al., 1999; WALSTRA, 1999). Por ende las condiciones de ruptura del glóbulo serán determinantes para favorecer la interacción colesterol-acomplejante. Suele usarce la ß-ciclodextrina (ß-CD), considerada GRAS (generally recognized as safe), para este acomplejamiento. Ésta forma complejos muy estables con el colesterol, en relación 3 a 1 (LEE et al., 1999).

Cerca de un 95% de la betaciclodextrina (β-CD), respecto a lo agregado, queda en exceso (β-CD remanente), lo que le imparte un cierto gusto dulce a la leche debido a la liberación parcial de glucosa, por los procesos y equipos utilizados (homogeneizador, etc.). La ß-CD actualmente está disponible industrialmente con un costo aceptable (WALSTRA, 1999).

El complejo formado con el colesterol es fácil de separar (centrifugación o filtración) por lo que no altera la composición y características nutricionales de la materia prima, y la vitamina D no es removida en este proceso (LEE et al., 1999; WALSTRA, 1999). Para que un producto cumpla con la restricción, en cuanto a la concentración de colesterol, debe tener menos de 5 mg/100g.

Los productos concentrados en grasa láctea suelen tener una alta concentración de colesterol. La leche contiene entre 11-13 mg/100g, el dulce de leche

posee 22-25 mg/100g. En los quesos la concentración de colesterol oscila entre 78-90 y 156-180 mg/100g. El objetivo de este trabajo fue determinar condiciones tecnológicas óptimas de extracción de colesterol de la leche (presión de homogenización, Ph, y concentración de β-CD), obtener un modelo matemático adecuado, predictivo y descriptivo del sistema, respecto al % de extracción de colesterol (%EC), en función de las dos variables estudiadas y evaluar la aceptabilidad general del producto.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima y reactivos

Se utilizaron reactivos calidad pro-análisis (Lab. Ciccarelli S.R.L): KOH, n-Hexano, Etanol. La leche entera en polvo sin homogenizar fue provista por Veneto S. R. L. (Santo Tomé, Arg). Su composición promedio fue: 25,8% (m/m) de proteínas, 25,7% (m/m) de grasa, 36,9% de lactosa, 6,1% de sales, 3,1% de humedad relativa. La β-CD (99% de pureza) fue adquirida en Ferronet S.R.L. (Bs. As., Arg). El Kit enzimático para cuantificar colesterol fue de la Soc. Bioquímicos (Sta Fe, Arg.).

Diseño estadístico

Se seleccionó un diseño rotacional centrado de 2 variables (X_1 = % de β-CD y X_2 = Ph = presión de homogeneización) en 3 niveles. La rotabilidad fue: $\alpha = 1{,}41$. Se realizaron 3 experiencias centrales, respondiendo al diseño adoptado: $2^3 + 3$ experiencias centrales (tabla 1). El diseño se realizó por duplicado, adoptándose los valores promedios ($\alpha = 0{,}05$) (MONTGOMERY, 1991).

Tratamiento de datos experimentales

Se aplicó regresión múltiple, entre la respuesta (% EC) y las variables del diseño, codificadas, a través de un polinomio de tercer grado para obtener un modelo descriptivo y predictivo del sistema (STATGRAPHICS, 1997).

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i . X_i + \sum \beta_{ii} . X_i^{\,2} + \sum \beta_{ii} . X_i^{\,3} + + \sum \beta_2 . X_2 + \sum \beta_{ii} . X_2^{\,2} + \sum \beta_{iil} . X_2^{\,3} + \sum\sum \beta_{ij} . x_i . x_j$$

β_0, β_i, β_{ii}, β_{ij} = coeficientes de la regresión.
$\sum\sum \beta_{ij} . x_i . x_j$ = término que representa todas las interacciones.

Se relacionaron las variables del diseño con la respuesta, a través de la metodología de superficie de respuesta (RSM), y líneas de contorno, que permitieron analizar cuali-cuantitativamente la influencia de ambas variables sobre dicha respuesta.

Experiencias en planta piloto

Se utilizó leche entera en polvo sin homogeneizar, preparándose 1 lt leche fluida reconstituida al 13% de sólidos totales. Ésta se homogeneizó a 80ºC y a la presión del diseño, en un homogeneizador de 2 etapas (Simes S.A., Arg.). Luego se enfrió a 10°C, se adicionó la ß-CD sólida, se mezcló durante 10 minutos, y se centrifugó a 160 *ges* durante 10 minutos, obteniéndose en el sobrenadante la leche sin el colesterol (< 5 mg/100g).

Experiencias en laboratorio: Medición de la concentración de colesterol (mg/100g)

De muestras, antes y después de la extracción del colesterol, se tomaron 6mL y se agregaron 7,5 mL de KOH 2M. Se saponificó a 80°C, 60 minutos. Se agregaron 5mL de agua destilada, y 5mL de n-hexano, se agitó 20 segundos y se centrifugó. Se extrajeron 3mL de la capa superior de n-hexano (con colesterol). Se repitió este paso 3 veces obteniéndose 12 mL del extracto. Se evaporó el solvente a sequedad, en estufa a 40°C por 24 hs y luego bajo corriente de nitrógeno, durante 5 minutos. El residuo seco fue redisuelto con 200 µL alcohol isopropílico. Se tomaron 20 µL, se adicionó 1mL de reactivo enzimático, incubándose 15 minutos a 37°C, midiéndosele la densidad óptica (OD) con un espectrofotómetro (Genesis 5 UV–Visible Milton Roy, New York, USA), a 510 nm, utilizándose un blanco de reactivo enzimático y comparándose con un patrón estándar de colesterol de concentración 2 mg/mL. Las determinaciones se realizaron por triplicado, adoptándose los valores promedio ($\alpha = 0{,}05$).

Cálculo de la concentración de colesterol y del porcentaje de extracción

La concentración de colesterol se realizó por comparación con un patrón de colesterol, aplicando la Ley de Lambert-Beer:

$C_M = C_{P*} (OD_M / OD_P)$
Donde: C_M = Concentración de colesterol en cada muestra (C_{LI} y C_R).
C_P = Concentración de colesterol del patrón.
OD_M = Densidad óptica de cada muestra.
OD_P = Densidad óptica del patrón.

Para calcular el % de extracción de colesterol de la leche, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% EC = [(C_{LI} - C_R) / C_{LI}] * 100$$

Donde: C_{LI} = Concentración de colesterol de la leche inicial.
C_R = Concentración de colesterol remanente, luego de la extracción.

Análisis sensorial

Luego de cada extracción de colesterol se eva-

luó sensorialmente la leche a través de un análisis de aceptabilidad, después de la separación del complejo colesterol-ß-CD.

Se utilizó un panel de 82 consumidores, de entre 5 y 75 años, de ambos sexos. Se estimó la aceptabilidad sensorial total (AST) y la aceptabilidad sensorial por sexo (ASS).

El descriptor utilizado fue cualitativo, cuyo extremo inferior fue: "me disgusta muchísimo", y el superior "me gusta muchísimo", utilizando un total de nueve niveles del mismo (ASTM, 1968).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de colesterol

Los valores de las variables de diseño, codificadas y no codificadas, junto con la respuesta medida (%EC), aparecen en la Tabla 1. Se estudió el comportamiento del sistema con algunos valores bajos de % de ß-CD (0,776 y 0,9%), para minimizar los costos del proceso y para que el tratamiento pueda ser rentable a nivel industrial, principalmente en la producción de productos lácteos sin colesterol, concentrados en grasa (queso, dulce de leche, leche polvo, crema y manteca). Los datos se analizaron a través de regresión múltiple, con un nivel de confianza $\alpha = 0,05$, utilizando las variables en forma codificada, seleccionándo se un modelo de tercer orden para tener una mejor aproximación que con uno de segundo orden.

$$\%EC = 84,624 + 2,5496 \cdot X_1 + 2,1038 \cdot X_1^2 + 1,2072 \cdot X_1^3 - 2,6021 \cdot X_1^2 \cdot X_2 \quad (1)$$ $r^2 = 0,917$

El coeficiente de correlación indica que el modelo seleccionado explica el 91,7% de la variabilidad del sistema en estudio, lo cual se considera adecuado, y suficiente para poder predecir el % EC en leche, siempre que los niveles de las variables se encuentren dentro del espacio tecnológico investigado. El análisis de varianza del modelo de regresión (ecuación 1) aparece en la tabla 2 y los coeficientes y estadísticos en la tabla 3. Del análisis de los coeficientes se observa una marcada influencia del % de beta-ciclodextrina (X_1), aumentando el % EC al aumentar la ß-CD. Esto concuerda con la experiencia 5 a la cual le corresponde el mayor % EC (92,01%), utilizando a su vez el mayor % de ß-CD, y una presión intermedia. La relación estequiométrica entre la ß-CD y el colesterol acomplejado se ha informado que es de 3 a 1 respectivamente (LEE et al., 1999).

Los análisis en leche inicial, sin tratamiento, arrojaron una concentración de colesterol de 12,13mg/100g (promedio entre 5 valores, con una desviación estandar SD = 1,19%).Comparando los valores de la experiencia N° 5, con 1,624% de ß-CD agregada, y habiendo extraído el 96% del colesterol presente en la leche inicial, se puede calcular que la ß-CD agregada acomplejó un 11,16 mg/100g de colesterol. Como la cantidad tratada de leche fue de 6 ml, fueron acomplejados y extraídos 0,6696 mg de colesterol. Recordando el peso molecular de ambos ($PM_{colesterol}$ = 387 g/mol y PM_{BCD} = 1135 g/mol) se puede concluir que para producir el acomplejamiento solo se utilizó aproximadamente el 5-6% de la ß-CD agregada.

Sin embargo, dentro del rango del % ß-CD

Tabla 1 – Valores de las variables, codificados y no codificados, y % de extracción de colesterol (% EC).

Nº Exp.	% β-CD no codificado	% β-CD (X_1) codificado	Presión de homogeneizac. (Ph) no codificado (atm.)	Ph (X_2) codificado	% EC
1	1,5	+1	160	+1	88,21
2	1,5	+1	110	-1	87,52
3	0,9	-1	160	+1	87,04
4	0,9	-1	110	-1	87,95
5	1,624	+1,412	135	0	92,01
6	0,776	-1,412	135	0	83,74
7	1,2	0	170	+1,412	87,74
8	1,2	0	100	-1,412	80,53
9	1,2	0	135	0	84,01
10	1,2	0	135	0	82,92
11	1,2	0	135	0	85,73

Tabla 2 – Análisis de varianza del modelo de regresión de la ecuación (1).

Fuente	Sumade cuadrados	Grados de libertad (GL)	Cuadrado médio	F	P
Modelo	79,51	4	19,88	8,13	0,0025
Residual	12,23	5	2,45		

R^2	Error estándar de la estima	Error medio absoluto
0,917	1,56	1,29

Tabla 3 – Coeficientes y estadísticos del modelo de regresión de la ecuación (1)

Coeficiente	Estima	Error estándar	P
Constante	84,624	0,724	0,0000**
X_2	2,549	0,783	0,0226**
X_1^2	2,104	0,663	0,0247**
X_1^3	1,207	0,351	0,0185**
$X_1^2.X_2$	-2,602	1,107	0,0655*

* Significación: * p < 0,1 - ** p <0,5.

utilizada, mientras más se agrega la misma más colesterol se acompleja y, por ende, se extrae. Esto se podría explicar a través de la existencia de un equilibrio entre la ß-CD libre y la ßCD acomplejada. Por ende mientras más ß-CD "libre" se agregue, en el rango estudiado, dicho equilibrio se desplaza hacia la derecha, produciendo mayor cantidad acomplejada y, por ende, mayor %EC.

Analizando la influencia de la presión de homogeneización (X_2) también se observa una relación directa entre esta variable y el % EC, aunque con mucha menor influencia. Cuanto mayor es la presión, mayor es la disgregación y rotura de dicho glóbulo y, considerando que el colesterol se encuentra en un 80% dentro del mismo y un 10% en su membrana, éste quedaría en forma libre en mayor cantidad, y más expuesto a la acción acomplejante de la ß-CD.

Las líneas de contorno (Fig. 1) muestran que cuanto mayor es el valor de ambas variables mayor es el % EC, en el espacio tecnológico investigado, influenciando en mucha mayor medida la ß-CD. Se observa que existe una zona de mínima extracción (correspondiente a la exp. N° 8) para valores intermedios de ß-CD agregada y la menor presión utilizada. Esto estaría representado por el último término del modelo matemático obtenido (ecuación 1) donde se observa una interacción negativa entre estas variables. Esto se observa trazando rectas horizontales (presión constante) en la figura 2, debido a que se pasa de un cierto nivel de extracción de colesterol al siguiente, con un bajo aumento del % de ß-CD. En cambio trazando rectas verticales (% ß-CD constante) para pasar de un nivel de extracción de colesterol al siguiente debe variarse mucho Ph.

Con concentraciones menores a 1,7% de ß-CD se obtuvo un % de extracción de 92%, que es un valor adecuado para considerar la leche como libre de colesterol, quedando apta para utilizarla en la obtención de productos lácteos concentrados en grasa, donde la concentración de colesterol disminuirá abruptamente si se utiliza esta leche. El % mínimo de extracción obtenido fue 80,5% a la presión de homogenización mínima y concentración intermedia de ß-ciclodextrina. El valor máximo fue de 92% correspondiéndole el máximo de ß-CD ensayado.

Comparando las experiencias 7, 8 y 9, en las cuales se mantiene constante el % de ß-CD agregado se observa la influencia directa de la presión de homogenización, ya que a mayor presión mayor es el % de extracción de colesterol obtenido. Con la

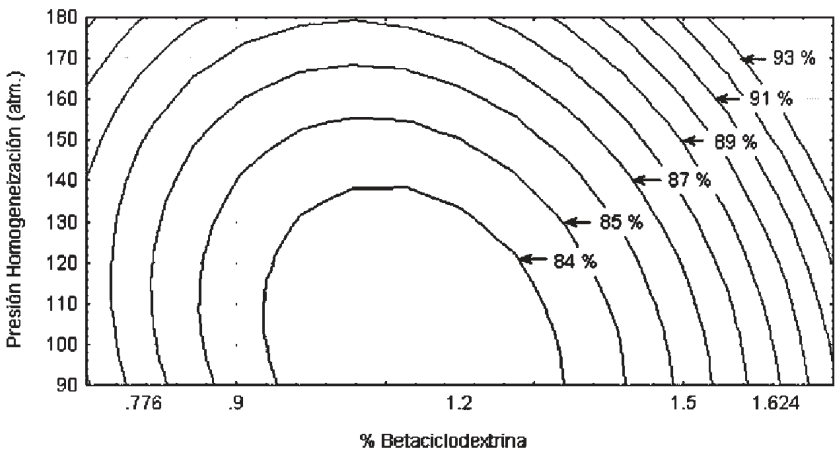


Figura 1 – Líneas de contorno de % EC vs. Ph y % βCD.

menor concentración de ß-CD (0,776%) y presión de homogenización intermedia, se obtiene 83,74% de extracción, lo que se considera un valor más que aceptable de extracción. Este valor de ß-CD puede llegar a ser la mejor opción en término de costos operacionales ya que se logra un 8,26% menos de extracción respecto al valor máximo, pero se ahorra 0.848 g por cada 100g de leche a tratar, que en términos económicos representa un ahorro significativo. En todos los casos se logra un % de extracción de colesterol mayor al 80%, lo cual asegura la obtención de leche fluida sin colesterol en las condiciones ensayadas.

Evaluación sensorial

Se utilizaron las siguientes abreviaturas:
FFA = Frecuencia femenina absoluta. MGM = Me gusta muchísimo.
FMA = Frecuencia masculina absoluta. MGm = Me gusta mucho.
FATM = Frecuencia absoluta total masculina. MGmo = Me gusta moderadamente.
FATF = Frecuencia absoluta total femenina. MGP = Me gusta poco.
FAT = Frecuencia absoluta total. MRI = Me resulta indiferente.
FT% = Frecuencia total porcentual. MDP = Me disgusta poco.
TJ = Total de juicios. MDm = Me disgusta moderadamente.
MDM = Me disgusta mucho.
MDMu = Me disgusta muchísimo.

Se realizó la evaluación sensorial con el descriptor cualitativo denominado: "gusto", en 9 niveles, que cubren todo el rango de aceptabilidad desde "me gusta muchísimo" hasta "me disgusta muchísimo". Los resultados obtenidos aparecen en la figura 2.

El 43,91% clasificó a la leche sin colesterol con muy buena aceptación (MGM+MGm). El 76,84% de los consumidores la clasificó con buena aceptación (MGM+MGm+MGmo), como mínimo. Solo el 12,2% la clasificó con el descriptor "me disgusta" (MDP+MDm+MDM+MDMu). Esto permite asegurar que la leche entera sin colesterol obtenida tiene entre una buena y muy buena aceptación por parte de los consumidores.

Se analizó el ensayo de aceptabilidad total por sexo. Los resultados aparecen en la figura 3. Se observa una mayor aceptación de las mujeres respecto a los hombres. El 85% de las mismas clasificó la leche con buena aceptación, como mínimo, mientras que los hombres lo hicieron con un 67,5%, aunque éstos le asignaron la mejor calificación ("me gusta muchísimo") en una proporción mucho mayor que las mujeres. Éstas le asignaron una calificación en mucha más proporción al segundo nivel del descriptor adoptado ("me gusta mucho"). Mientras las mujeres utilizaron todos los niveles del descriptor, los hombres no utilizaron los dos últimos que corresponden a la peor calificación por "gusto".

4 CONCLUSIONES

Cualquiera de las condiciones ensayadas permite obtener una concentración de colesterol menor a 5mg/100g, obteniéndose leche fluida que cumple, en cuanto a dicha concentración, con la reglamentación vigente como para clasificarla como exenta de colesterol. El mayor porcentaje de extracción de colesterol se obtuvo con el valor máximo de la variable de diseño que más influye (concentración de β-CD agregada) y niveles intermedios de la otra variable (presión de homogeneización) (experiencia 5).

Un alto porcentaje de los evaluadores (aproximadamente el 80-85%) calificó a la leche obtenida con una buena y muy buena aceptación. Solo a un bajo porcentaje de los mismos (entre el 5-10%) le disgustó. El modelo matemático obtenido permite describir y

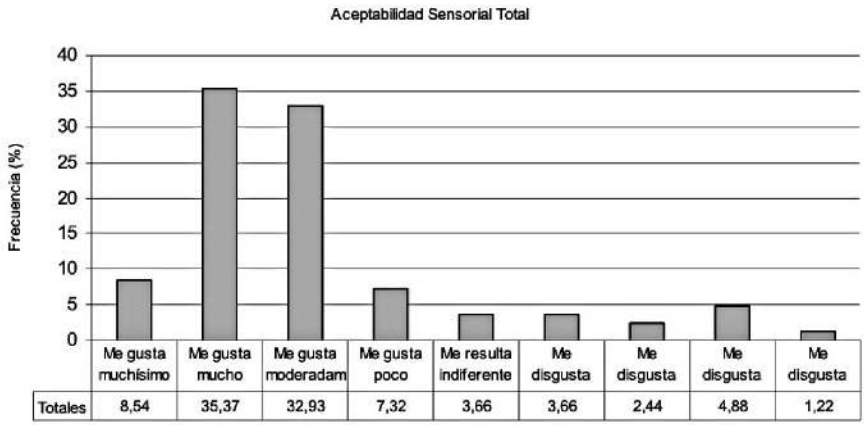


Figura 2 – Aceptabilidad sensorial total (ambos sexos).

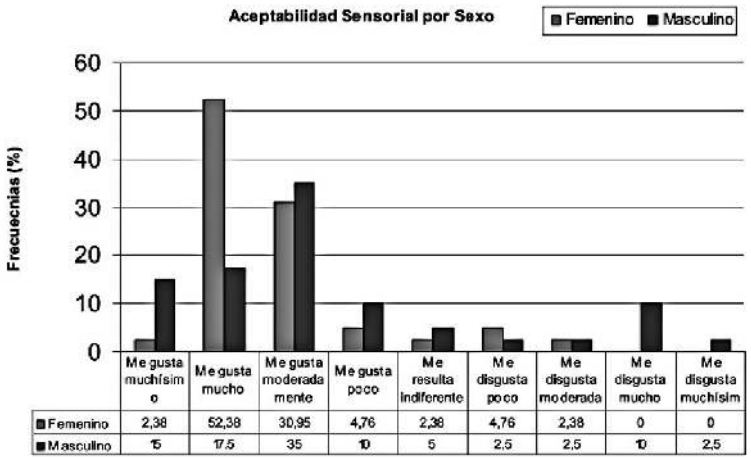


Figura 3 – Aceptabilidad sensorial por sexos

predecir el comportamiento del sistema en estudio, y calcular la concentración final de colesterol en la leche fluida, según el tratamiento tecnológico previo al cual sea sometida.

Esto permitiría diseñar diversos tratamientos sobre la leche fluida, para obtener posteriormente diferentes productos lácteos con concentraciones de colesterol pre-establecidas.

La metodología investigada, que utiliza un aditivo disponible industrialmente a un precio razonable (β-CD), permite obtener leche con concentraciones de colesterol muy reducidas (> 90%), y productos lácteos concentrados en grasa con contenido de colesterol muy disminuido, que podrían ser utilizados por personas que actualmente tienen restringido el consumo de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa Veneto S.R.L., por el valioso aporte de materias primas y varios insumos, y ser la principal colaboradora para el desarrollo de este trabajo. A Ferromet S.R.L., y Milkaut S.A, por el importante aporte de insumos (βCD y leche en polvo, entre otros). Al programa CAI+D – UNL, proyectos: CAI+D 2006 / 2008, 12/H624 y CAI+D 2009 / 2012 12/Q278.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL (ASTM) **Manual on Sensory Testing Methods.** Special technical publication. American Society for Testing and Materials: Philadelphia, 1968. 434 p.

LEE, D. K; AHN, J; KWAK, H. S. Cholesterol removal from homogenized milk with β-Cyclodextrin. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.82, n.11, p. 2327-2330, 1999.

MONTGOMERY, D. C. **Diseño y análisis de experimentos**. México: Iberoamérica, p. 589, 1991.

PANIANGVAIT, P. et al. Cholesterol oxides in foods of animal origin. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n.6, p. 1159-1174, 1995.

PARODI, P. W. Has the association between saturated fatty acids, serum cholesterol and coronary heart disease been over emphasized? **International Dairy Journal**, Oxford, v.19, n.6-7, p. 345-361, 2009.

SCHAEFER, E. Lipoproteins, nutrition, and heart disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 75, n.2, p. 191-212, 2002.

SIEBER, R. Cholesterol removal from animal food - can be justified? **LWT- Food Science and Technology**, London, v.26, n.5, p. 375-387, 1993.

SIEBER, R. Oxidised cholesterol in milk and dairy products. **International Dairy Journal**, Oxford, v.15, n.3, p. 191-206, 2005.

STATGRAPHICS PLUS 3.0. Copyright 1994-1997. **Statistical Graphics Corp**., USA. 1997.

WALSTRA, P. et al. **Dairy technology: principles of milk properties and processes**. New York: Marcel Dekker, 1999. 726 p.

YANCY, W. S. et al. Diets and clinical coronary events, the truth is out there. **Circulation: Journal of the American Heart Association**, Dallas, v.107, n.1, p. 10-16, 2003.