

**Efecto de la temperatura y cizalla giratoria en
la formación de depósitos sólidos lácteos de
leche de camello**

Jorge Augusto Villalobos Santeli

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Efecto de la temperatura y cizalla giratoria en la formación de depósitos sólidos lácteos de leche de camello

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Jorge Augusto Villalobos Santeli

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Efecto de la temperatura y cizalla giratoria en la formación de depósitos sólidos lácteos de leche de camello

Jorge Augusto Villalobos Santeli

Resumen. La leche de camello es un alimento funcional con mucho potencial en el mercado, esta leche carece de β -lactoglobulinas, proteína promotora de la formación de los depósitos sólidos lácteos no deseados en leche bovina que se adhieren a las superficies donde existe transferencia de calor (pasteurizador). En este estudio, el efecto de la temperatura y la cizalla en la leche de camello fue estudiado por un dispositivo desarrollado a escala de laboratorio llamado SDA (Spinning Disc Apparatus). El SDA simula un tratamiento térmico controlando dos factores principales, temperatura y cizalla; reportando los resultados en $R_f = W/m^2 \text{ k}$ (Deposición de sólidos). El experimento se realizó en dos fases, la primera fue para evaluar el efecto de la cizalla usando tres velocidades de giro a la misma temperatura: 50, 100 y 150 RPM @ 95 °C. El efecto de la temperatura se evaluó utilizando tres temperaturas a una velocidad de giro: 95, 105, y 115 °C @ 50 RPM. En el efecto de cizalla, la resistencia térmica de los depósitos se redujo a medida que aumentaba el cizallamiento, esta presentó una reducción del 55.11-59.45%. En el caso de la temperatura, la resistencia térmica aumentó 8 y 10 $W/m^2 \text{ k}$ cuando se incrementaba el calor en el SDA. La β -lactoglobulina no es la única proteína responsable de los depósitos sólidos lácteos durante la pasteurización de la leche. La albúmina sérica de camello y la α -lactoalbúmina también actúan como formadores de depósitos en los tratamientos térmicos de la leche.

Palabras clave: Calorimetría diferencial de barrido, SDA, velocidad de giro.

Abstract. Camel milk is a potential functional food in the market. Camel milk lacks β -lactoglobulins, this protein is the promoter of fouling deposits in bovine milk. The fouling phenomena is the formation of undesired deposits adhered to a heat transfer surface. In this study, the effect of temperature and shear in camel milk fouling behavior were studied by a developed laboratory-scale device called SDA (spinning disc apparatus). The SDA simulates a heat treatment controlling two principal factors, temperature and shear. The experiment was conducted in two phases, the first one was to evaluate the effect of shear. The effect of shear was evaluated using three spinning velocities at the same temperature: 50, 100, 150 RPM @ 95 °C; meanwhile, the effect of temperature was evaluated using 1 spinning velocity at three temperatures: 50 RPM @ 95, 105, 115 °C. In the first phase, Fouling resistance dropped as shear was increased, it reported a 55.11-59.45% reduction. In the second phase, fouling resistance increased 8 & 10 $W/m^2 \text{ k}$ when temperature was increased in the SDA. β -lactoglobulin is not the only protein responsible for the fouling deposits during the pasteurization of camel milk. Camel serum albumin and α -lactalbumin also are capable to promote the fouling phenome in thermal treatments of milk.

Key words: Differential scanning calorimetry, SDA, spinning velocity.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	12
5. RECOMENDACIONES.....	13
6. LITERATURA CITADA.....	14
7. ANEXOS	16

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Diseño de los tratamiento del efecto de la cizalla	5
2. Diseño de los tratamiento del efecto de la temperatura.....	5
3. Variables térmicas (Cizalla).	9
4. Variables térmicas (Temperatura).	11

Figuras	Página
1. Diagrama del SDA	4
2. Fotografías del disco del SDA sin depósitos adheridos (a) y el disco con	
3. depósitos adheridos (b).....	7
4. Resistencia del crecimiento de los depósitos adheridos al disco (Cizalla).....	8
5. Resistencia final de los depósitos a los 120 min (Efecto de cizalla).....	8
6. Resistencia del crecimiento de los depósitos adheridos al disco (Temperatura)....	10

Anexos	Página
1. Cuadro de salida del análisis de la calorimetría diferencial de barrido.....	16
Correlacion entre resistencia de los depósitos y el coeficiente universal de	
2. transferencia de calor (R_f & U).	17
3. Correlación entre temperatura y coeficiente universal de transferencia de calor	
(T & U).	18
4. Correlación entre temperatura y resistencia de los depósitos (T & R_f).	19
5. Correlación entre flujo de calor y coeficiente universal de transferencia	
(Q & U).	20
6. Correlación entre flujo de calor y resistencia (Q & R_f).	21
7. Correlación entre flujo de calor y temperatura (Q & T).	22

1. INTRODUCCIÓN

La leche de camello representa uno de los alimentos básicos de la alimentación humana en muchas partes del mundo, especialmente en las zonas áridas y semiáridas de las regiones subtropicales y tropicales, donde a menudo constituye la única fuente de proteínas. (Dell'Orto *et al.* 2000; Hattem *et al.* 2011). Actualmente, los alimentos no están destinados solamente a satisfacer el hambre y proporcionar los nutrientes necesarios para los seres humanos, sino también a prevenir las enfermedades relacionadas con la nutrición y mejorar el bienestar físico y mental de los consumidores (Azzurra y Paola 2009). Los alimentos funcionales son los productos que se asemejan a los alimentos tradicionales con beneficios fisiológicos comprobados, disminuyendo el padecimiento de enfermedades en la población, mejorando así la calidad de vida y contribuyendo a reducir gastos en la salud pública, por tal razón la demanda de estos productos ha aumentado en los últimos años (Khalesi *et al.* 2017).

Estudios de Kopnuspaveva *et al.* (2009), indican que la leche de vaca representa el 85% de la leche que se consume en el mundo y, en menor medida, la leche de cabra y oveja. Sin embargo, el ser humano consume leche de diferentes mamíferos, en los que se incluye leche de camello. La leche de camello es un producto tradicional que se ha utilizado durante muchos años en las comunidades rurales áridas de Asia y África como biomedicina para curar varios problemas de salud como el asma, el edema y la diabetes (Khalesi *et al.* 2017). Esta leche se consume como bebida y se usa para preparar una variedad de otros productos, como leche en polvo cuando aumenta la producción de leche (Rahman *et al.* 2012).

El período de lactancia en el camello generalmente es de 12 meses, oscilando en un rango de 9 a 18 meses dependiendo del manejo y las condiciones ambientales. En todo el mundo, la leche de camello no se consume en gran medida, probablemente debido a la falta de conocimiento de sus beneficios, su alto valor en el mercado, y debido a su sabor característico provocado por su acidez natural causando diferencias sensoriales con el sabor de la leche bovina. Sin embargo, es mucho más nutritiva que el de la leche de vaca (Al-Juboori *et al.* 2013).

Muchos estudios han indicado que la leche de camello tiene concentraciones muy altas de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, baja proporción de colesterol y lactosa. También contiene varias proteínas protectoras, principalmente enzimas que ejercen propiedades antibacterianas, antivirales e inmunológicas (Watson *et al.* 2017). Esta leche contiene mayor cantidad de minerales (calcio, hierro, magnesio, cobre, zinc y potasio) y vitaminas A, B₂, E y C en comparación con la leche de vaca, y no contiene lactoglobulina beta y beta caseína que están presentes en la leche de vaca y que son la principal causa de alergia en los humanos (AL-Ayadhi y Halepoto 2017).

El tratamiento térmico afecta las propiedades funcionales de las proteínas lácteas e induce cambios en sus propiedades físicas, químicas y sensoriales, como la degradación de la lactosa, la desnaturalización de las proteínas del suero, la destrucción de algunas vitaminas y enzimas, la hidrólisis de proteínas y lípidos (Kamal y Karoui 2017). El procesamiento térmico en los intercambiadores de calor induce la formación de depósitos sólidos lácteos en las superficies calientes, debido a la desnaturalización de las proteínas de suero de leche (Ayadi *et al.* 2008). Los depósitos sólidos lácteos en los intercambiadores de calor representan un serio problema para la industria, ya que retarda la transferencia de energía, aumenta la caída de presión y disminuye la eficiencia del intercambio de calor del aparato, lo que finalmente afecta la economía de la planta procesadora (Sadeghinezhad *et al.* 2013). Las incrustaciones de depósitos sólidos lácteos en los intercambiadores de calor se ven afectadas por varios factores siendo los más importantes: la composición de la leche, la concentración de proteína de suero, las condiciones de operación en los intercambiadores de calor, el tipo y las características del intercambiador de calor (Sadeghinezhad *et al.* 2015).

El material de los depósitos sólidos lácteos se puede clasificar en dos grupos principales, tipo A y B; definidos por los rangos críticos de temperatura, la composición del material y las propiedades reológicas (Barish y Goddard 2013). Los depósitos tipo A (proteína) tienen lugar a temperaturas entre 75 y 110 °C. Estos son blancos, suaves y esponjosos (película de leche), y su composición es de 50 a 70% de proteínas, 30 a 40% de minerales y 4 a 8% de grasa. Los del tipo B (mineral) ocurren a temperaturas superiores a 100 °C. Los depósitos son duros, compactos, de estructura granular y de color gris (piedra de leche), y su composición es de 70 a 80% de minerales (principalmente fosfato de calcio), 15 a 20% de proteínas y 4 a 8% de grasa (Bansal y Chen 2006).

En la literatura se reporta que la leche de camello se consume principalmente como leche fresca y fluida. Por lo tanto, para garantizar la inocuidad y extender la vida útil, se necesita algún tipo de tratamiento. La pasteurización como método de preservación no se ha aplicado a la leche de camello, y hasta ahora, solo unos pocos estudios han investigado el efecto del tratamiento térmico en la leche de camello (Felfoul *et al.* 2015; Yadav y Kumar 2015). De tal manera, comprender el comportamiento de los depósitos es muy importante para establecer parámetros de tratamientos térmicos. Con base en la importancia de la pasteurización para asegurar la inocuidad de la leche y lo fundamental que es mantener un proceso eficiente, el presente estudio incluyó los siguientes objetivos:

- Identificar el efecto de la temperatura y la cizalla en la formación de depósitos sólidos lácteos en la leche de camello.
- Evaluar el efecto de la carencia de β -lactoglobulinas en leche de camello, en la formación de los depósitos sólidos lácteos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación.

Este estudio se realizó en el laboratorio de validación y modelado de proceso y sostenibilidad en el Departamento de Ciencia de Alimentos de la Universidad de Purdue, West Lafayette IN, Estados Unidos de América.

Origen de la materia prima.

La leche de camello cruda y liofilizada se compró en las granjas lecheras Camilk® (Carolina del Norte). La leche se recibió en bolsas de 200 g y se almacenó a temperatura ambiente (25 °C). Una vez abierto para la rehidratación de la leche y un análisis posterior, las bolsas se cerraron con cremallera y se almacenaron en un refrigerador a 4 °C.

Rehidratación de leche de camello.

Se vertieron 900 ml de agua desionizada en un frasco de precipitado de 2000 ml que contenía una barra agitadora magnética. El frasco de precipitado se colocó en un agitador Thermo Scientific® y luego se configuró a 700 RPM. La leche de camello en polvo se pesó en una balanza semi-micro analítica. Luego $95 \pm 0.0010\text{g}$ del polvo se descargaron lentamente en el frasco de precipitado. Posteriormente, la muestra se dejó durante 90 minutos a velocidad de agitación constante y temperatura ambiente.

Análisis térmico de la leche.

Las características térmicas de la leche de camello se estudiaron utilizando un Discovery DSC, TA Instruments New Castle, de, EE. UU. Se pesaron con precisión 8 mg de la leche en polvo de camello en una bandeja hermética de aluminio Tzero®. Se usó una bandeja de aluminio Tzero® vacía como referencia y ambas bandejas se sellaron con la prensa Tzero®. Las muestras se mantuvieron a 20 °C durante 1 minuto. Luego, el DSC escaneó las muestras de 20 a 200 °C a una velocidad de 5 °C / min. Las características de picos endotérmicos (fusión de grasa) de las muestras se identificaron a partir del termograma.

Tratamiento térmico.

El estudio de la evaluación de los depósitos sólidos lácteos se realizó utilizando el (SDA) Scanning Disc Apparatus. Se proporciona una descripción detallada del aparato en (Nigo *et al.* 2009). Se puede observar en la figura 1 que el aparato consiste en un cilindro metálico parcialmente sumergido en la solución de prueba, en este caso la leche de camello. La rotación es proporcionada por un motor paso a paso. Se utiliza un recirculador de agua / glicol para regular la temperatura del cilindro (T_c), mientras que la temperatura del recipiente de leche (T_b) se mantiene mediante una camisa de agua alrededor del depósito alimentada por un segundo calentador, recirculador.

Los lados del cilindro están aislados para que la transferencia de calor ocurra principalmente a través de la base que está en contacto con la leche. Un agitador magnético ubicado en la base del contenedor proporciona agitación y mantiene la uniformidad de la temperatura en la solución. La temperatura de la solución, los medios calientes y la camisa de agua se controlan mediante termopares tipo T conectados a un registrador de datos (Huang *et al.* 2012). Además, el SDA reportado por (Huang *et al.* 2012) se modificó mediante el uso de tres sensores en lugar de uno, cada uno de ellos ubicados estratégicamente para cubrir el disco de una manera más precisa. Luego se calculó el promedio de los tres sensores y se analizaron los datos.

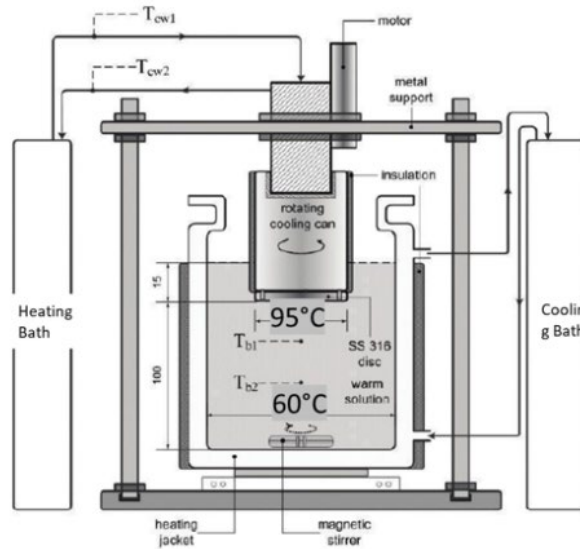


Figura 1. Diagrama del SDA

Variables y ecuaciones.

El SDA reporta el flujo de calor (q) y diferencial de temperatura ΔT , por tanto, es necesario calcular el coeficiente de transferencia de calor (U) y la resistencia térmica de los depósitos (Rf). La ecuación 1 muestra que U es calculado mediante la división del flujo de calor entre el diferencial de temperatura, mientras que el coeficiente de transferencia de calor de la superficie limpia (Uo) es una constante calculada por el SDA. Debido a que Rf es en función de U , la ecuación 2 muestra que Rf es calculada por la diferencia de Uo y U .

$$U = \frac{q}{\Delta T} \quad [1]$$

$$Rf = \frac{1}{Uo} - \frac{1}{U} \quad [2]$$

Donde:

Rf = Resistencia térmica de los depósitos sólidos lácteos

q = flujo de calor

Uo = coeficiente universal de transferencia de la superficie limpia.

U = coeficiente de transferencia de calor con depósitos adheridos

ΔT = diferencial de temperatura

Diseño experimental y análisis estadístico.

Se utilizó un diseño completamente al azar para medir cada efecto por separado. Se realizó una separación de medias tukey para determinar si existió diferencia entre los tratamientos. La herramienta de análisis utilizada fue el programa estadístico SAS® versión 9.4. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza para determinar cuál fue el efecto de la cizalla (cuadro 1) y temperatura (cuadro 2).

Cuadro 1. Diseño de los tratamientos del efecto de la cizalla.

Tratamiento	Efecto de cizalla
A	50 RPM @ 95 °C
B	100 RPM @ 95 °C
C	150 RPM @ 95 °C

Cuadro 2. Diseño de los tratamientos del efecto de la temperatura.

Tratamiento	Efecto de Temperatura
A	50 RPM @ 95° C
B	50 RPM @105° C
C	50 RPM @115° C

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del cizallamiento en la formación de depósitos lácteos fue probado por 120 min en leche cruda de camello calentada a 95 °C en el SDA. Los circuladores se establecieron a 95 °C porque las pruebas preliminares mostraron que, a esa temperatura, la transferencia de calor entre el disco y la leche sería superior a 78 °C. Se ha reportado que esta es la temperatura de desnaturalización de las proteínas de suero de la leche de camello, ya que las moléculas de caseína no se modifican fuertemente a este nivel de temperatura, entonces se les atribuye a las proteínas del suero. Además, la leche de camello es deficiente en β -lactoglobulina (β -lg), por lo que se sugiere que esta superposición de desnaturalización térmica corresponde a α -lactoalbúmina y albúmina de suero de la leche de camello (Felfoul *et al.* 2015).

El fenómeno de la formación de depósitos lácteos ha sido ampliamente investigado en las últimas décadas. Los investigadores consideran a la β -lg, proteína que se encuentra en el suero de leche de vaca, como la principal responsable de promover los depósitos sólidos no deseados en las superficies de transferencia de calor (Yang *et al.* 2018). La Figura 2 muestra fotos del disco giratorio del SDA antes y después de la prueba. La Figura 2a muestra el disco completamente limpio y cómo se veía antes del experimento térmico. Después de ejecutar la prueba SDA, el disco sufrió el fenómeno de formación de los depósitos como se muestra en la Figura 2b. Dado que la leche de camello carece de β -lg, el fenómeno de depósitos se atribuye a la albúmina de suero de camello que es la proteína más afectada seguida por la α -lactoalbúmina informada por (Felfoul *et al.* 2015). A pesar de que este problema ha sido investigado desde hace algunas décadas, los científicos aún no están seguros exactamente del mecanismo de acción.

La temperatura utilizada para evaluar el efecto de cizalla en este experimento y la apariencia de los depósitos que se muestran en la Figura 2b. corresponden a depósitos sólidos lácteos “tipo A” según lo descrito por Bansal y Chen (2006). Los depósitos se observaron de color blanco, y de consistencia esponjosa y suave. Se observó una superficie rugosa y espumosa. Esa característica se obtuvo debido al tratamiento térmico. Cuando la leche de camello se trata a temperaturas entre 70 y 90 °C, la capacidad de formación de espuma aumenta. Lajnaf *et al.* (2017) reportaron que la estabilidad de la espuma de las proteínas lácteas aumenta después de tratamientos térmicos debido a un aumento en la difusión y adsorción de la proteína de la leche en la interfaz. La estructura abierta de la α -lactoalbúmina, la desnaturalización térmica y la repulsión electrostática reducida cerca del punto isoeléctrico son factores que promueven la creación de agregados más grandes.

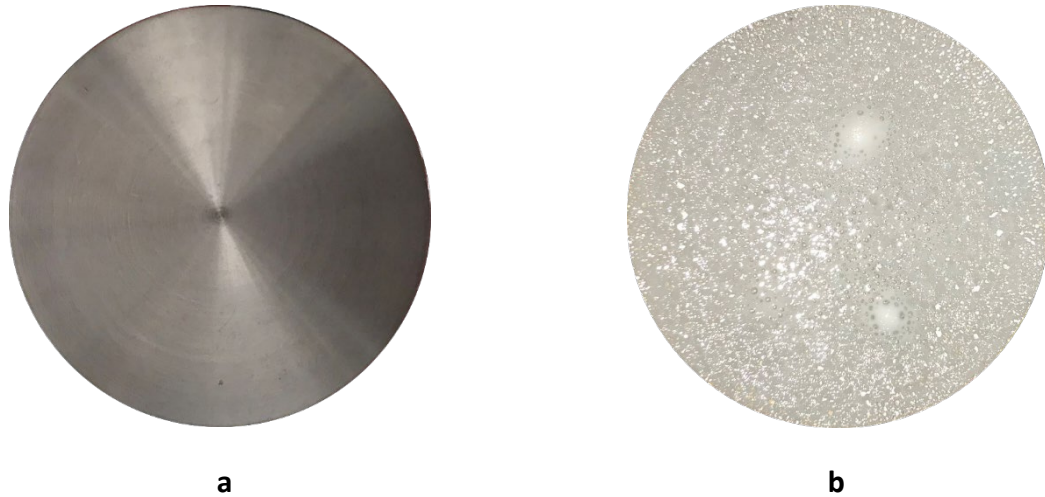


Figura 2. Fotografías del disco del SDA sin depósitos adheridos (a) y el disco con depósitos adheridos (b).

Efecto de la cizalla.

La resistencia a los depósitos disminuyó a velocidades de giro más altas como era de esperarse. Sin embargo, no hubo una diferencia significativa entre 100 y 150 RPM. La figura 3 muestra que la curva de crecimiento de los depósitos a 50 RPM tiene una tasa de incrustación lineal durante los primeros 20 min después de que comenzó la prueba. Además, la tasa de depósitos lineal a esta temperatura exhibió una reducción de más del 50% cuando la cizalla se incrementó a 100 o 150 RPM. Ninguna de las tres velocidades de cizalla mostró, dentro de los 120 min, un equilibrio de crecimiento exacto. Los tres tratamientos mostraron una tendencia creciente durante los 120 min. Además, la Figura 3 muestra que los primeros 30 min del tratamiento térmico fueron cruciales en el experimento y debido al fenómeno de depósitos que ha sido reportado como una reacción en cadena (Belmar-Beiny y Fryer 1993). Dado que es un sistema cerrado (no fluye leche fresca) una vez que disminuye la tasa de desnaturalización de las proteínas, el crecimiento de los depósitos también disminuye porque no quedan más proteínas que adherirse al disco sino minerales.

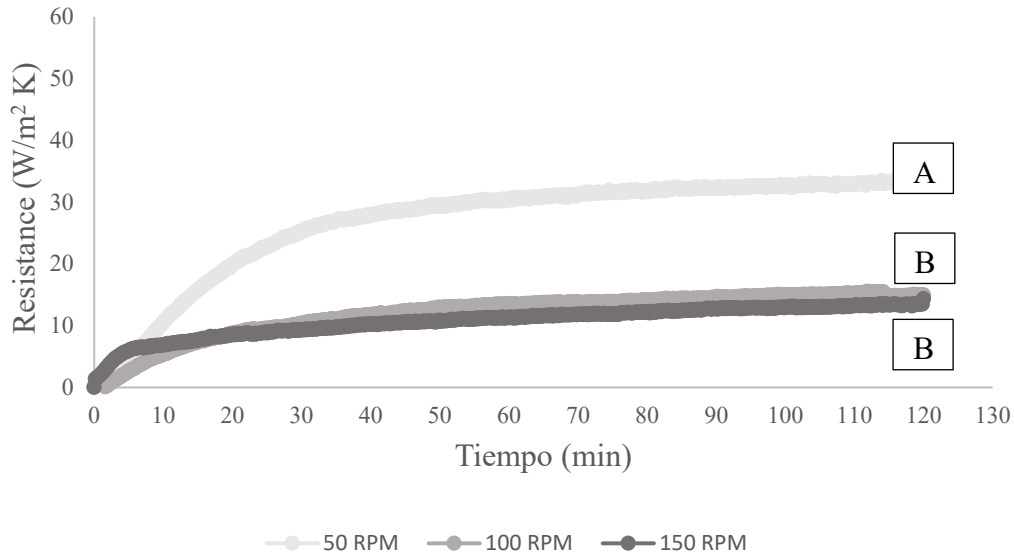


Figura 3. Resistencia del crecimiento de los depósitos adheridos al disco (Cizalla)

^{A-B} Curvas con diferente letra son estadísticamente diferente ($P < 0.05$).

La reducción en la resistencia térmica (Figura 4) de los depósitos se debe a una transferencia de calor más eficiente. Esto es debido a que, a una velocidad de centrifugado más alta, la turbulencia aumenta. Además, a mayor turbulencia, el fluido es forzado contra el punto donde está ocurriendo el intercambio de calor y esto aumenta la fricción entre el fluido y la superficie del disco (Eckhardt 2018).

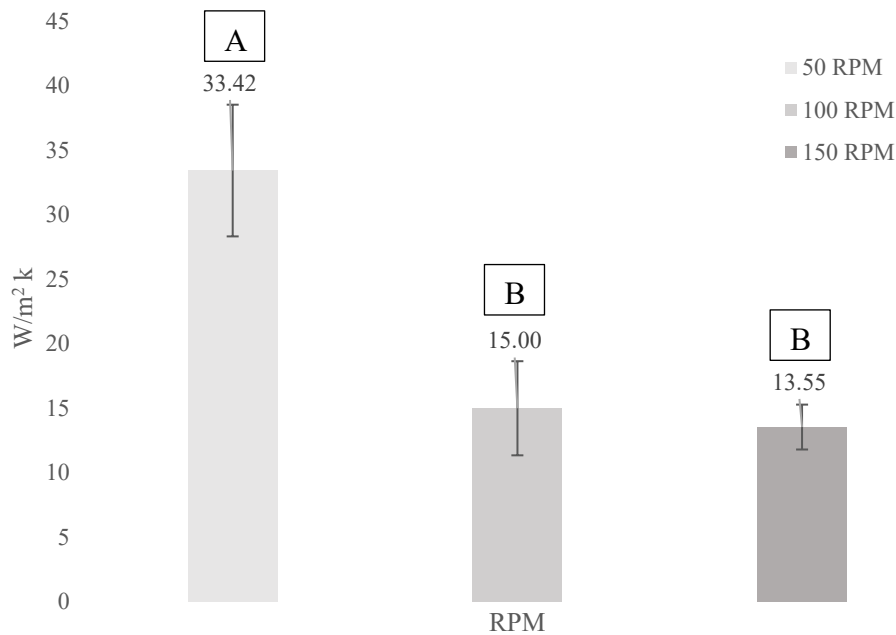


Figura 4. Resistencia final de los depósitos a los 120 min (Efecto de cizalla)

^{A-B} Promedios con diferente letra son estadísticamente diferente ($P < 0.05$).

Variables térmicas de la leche de camello.

El cuadro 3 muestra las variables U = coeficiente universal de transferencia de calor, T = temperatura de la superficie del disco, Q = flujo de calor. Estas variables muestran la misma tendencia que la resistencia final de los depósitos. Se estimó que 50 RPM es estadísticamente diferente ($P < 0.05$) en comparación con los de 100 y 150 RPM. Además de la explicación de la turbulencia, la temperatura de la superficie del disco también explica por qué la resistencia al depósito se redujo al aplicar 100 y 150 RPM. La temperatura dictada por los sensores a los 120 min fue de alrededor de 79 °C, esta temperatura está muy cerca de la temperatura de desnaturalización reportada por Felfoul *et al.* (2015), lo que significa que a cierta cantidad del tiempo la superficie no estaba lo suficientemente caliente como para que se diera el fenómeno de formación de depósitos en la superficie del disco. El flujo de calor (Q) también comprueba que la transferencia de calor fue más eficiente durante 100 y 150 RPM. En comparación con 50 RPM, los otros dos tratamientos fueron más del 33% eficiente en la transferencia de calor.

Cuadro 3. Variables térmicas (Cizalla).

Tratamientos	Variables térmicas		
	U	T	Q
50 RPM	0.018 ± 0.001 ^B	83.38 ± 1.26 ^B	0.499 ± 0.03 ^B
100 RPM	0.029 ± 0.003 ^A	79.48 ± 0.64 ^A	0.748 ± 0.07 ^A
150 RPM	0.031 ± 0.002 ^A	79.76 ± 0.20 ^A	0.794 ± 0.03 ^A
C.V. (%)	5.0	1.0	4.8

^{A-B-C} Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferente ($P < 0.05$).

U= coeficiente de transferencia de calor

T= temperatura

Q= flujo de calor

Efecto de la temperatura.

El efecto de la temperatura en la formación de depósitos sólidos lácteos se probó durante 120 min exponiendo la leche cruda de camello a temperaturas de 95, 105 y 115 °C en el SDA. La velocidad de giro se estableció a 50 RPM debido al hecho de que sufre un estrés cercano al estrés que sufre la leche cuando se pasteuriza en un intercambiador de calor de placas. La Figura 5 muestra cómo aumenta R_f , cuando aumentan las temperaturas del circulador. El fenómeno de los depósitos ha sido explicado como un fenómeno correlacionado directamente con la temperatura (Sadeghinezhad *et al.* 2013).

En el caso de la temperatura, el tratamiento base (95°C) fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) en comparación con los demás tratamientos. Esto se debe a la temperatura tratamiento base, apenas supera la temperatura de desnaturalización de la proteína de leche de camello de 78 °C en la superficie del disco. Aunque no hay diferencia de significancia entre 105 y 115 °C, el segundo presenta una ligera caída y la temperatura de la superficie del disco (T) lo explica. Dado que T es casi 100 °C, la proporción de proteínas y minerales en el depósito es diferente, cuanto más alta es la temperatura comienza la formación de depósitos incrustantes "tipo B" (Bansal y Chen 2006). La composición del "tipo A" es de 50 a 70% de proteínas, de 30 a 40% de minerales y de 4 a 8% de grasa.

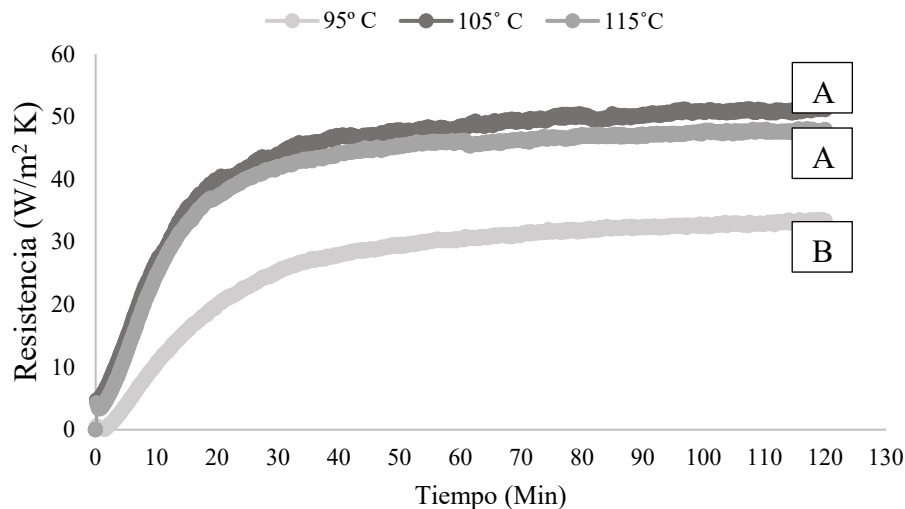


Figura 5. Resistencia del crecimiento de los depósitos adheridos al disco (Temperatura)
A-B Curvas con diferente letra son estadísticamente diferente ($P < 0.05$).

La variable Q en el cuadro 4 indica que cuando aumenta la cizalla, también aumenta la eficiencia de transferencia de calor. En esta fase del experimento, la cizalla fue la misma en los tres tratamientos y el flujo de calor no varió ($P < 0.05$) considerablemente. Por lo tanto, el principal responsable de estos depósitos sólidos lácteos es la temperatura a la que están expuestas las proteínas (Huang *et al.* 2012).

Cuadro 4. Variables térmicas (Temperatura).

Tratamientos	Variables térmicas		
	U	T	Q
95 °C	0.018 ± 0.001 ^A	83.38 ± 1.26 ^C	0.499 ± 0.029 ^B
105 °C	0.015 ± 0.001 ^A	92.52 ± 0.70 ^B	0.555 ± 0.040 ^B
115 °C	0.015 ± 0.001 ^A	99.49 ± 0.55 ^A	0.689 ± 0.027 ^A
C.V. (%)	0.9	0.8	4.6

^{A-B}Medias con diferente letra en la misma columna son estadísticamente diferente (P<0.05).

U= coeficiente de transferencia de calor

T= temperatura

Q= flujo de calor

4. CONCLUSIONES

- La formación de depósitos sólidos lácteos de leche de camello es incrementada por altas temperaturas y disminuida por altas tasas de cizallamiento. Es necesario el control sobre ambos factores para eficientizar los procesos térmicos en la leche de camello para lograr disminuir los depósitos sólidos lácteos.
- Los resultados obtenidos de este estudio respaldan claramente que la β -lactoglobulina no es la única proteína responsable de los depósitos sólidos lácteos durante la pasteurización de la leche de camello. La albúmina sérica de camello y la α -lactoalbúmina también actúan como promotores de depósitos en los tratamientos térmicos de la leche.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio para evaluar los depósitos tipo B adaptando el equipo a mayores niveles de temperatura.
- Evaluar la masa de los depósitos sólidos lácteos y correlacionar esos datos adquiridos con los resultados de resistencia térmica de este estudio para establecer esta metodología como una forma más rápida y precisa de estudiar este fenómeno.

6. LITERATURA CITADA

AL-Ayadhi L, Halepoto DM. 2017. Chapter 30 - Camel Milk as a Potential Nutritional Therapy in Autism. En: Watson RR, Collier RJ, Preedy VR, editores. *Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease*: Academic Press. p. 389–405.

Al-Juboori AT, Mohammed M, Rashid J, Kurian J, El Refaey S. 2013. Nutritional and medicinal value of camel (*Camelus dromedarius*) milk. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 170:221–232.

Ayadi MA, Benezech T, Chopard F, Berthou M. 2008. Thermal performance of a flat ohmic cell under non-fouling and whey protein fouling conditions. *LWT - Food Science and Technology*. 41(6):1073–1081. doi:10.1016/j.lwt.2007.06.022.

Azzurra A, Paola P, editores. 2009. Consumers' behaviours and attitudes toward healthy food products: The case of Organic and Functional foods.

Bansal B, Chen XD. 2006. A critical review of milk fouling in heat exchangers. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5(2):27–33.

Barish JA, Goddard JM. 2013. Anti-fouling surface modified stainless steel for food processing. *Food and Bioproducts Processing*. 91(4):352–361.

Belmar-Beiny MT, Fryer PJ. 1993. Preliminary stages of fouling from whey protein solutions. *Journal of Dairy Research*. 60(4):467–483. doi:10.1017/S0022029900027837

Dell'Orto V, Cattaneo D, Beretta E, Baldi A, Savoini EG. 2000. Effects of trace element supplementation on milk yield and composition in camels. *International Dairy Journal*. 10(12):873–879. doi:10.1016/S0958-6946(01)00023-1.

Eckhardt B. 2018. Transition to turbulence in shear flows. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 504:121–129.

Felfoul I, Lopez C, Gaucheron F, Attia H, Ayadi MA. 2015. Fouling behavior of camel and cow milks under different heat treatments. *Food and Bioprocess Technology*. 8(8):1771–1778. doi:10.1007/s11947-015-1529-5.

Hattem HE, Naeim MA, Sakr HS, Abouel-Einin EH. 2011. A study on the effect of thermal treatments on composition and some properties of camel milk. *Journal of Brewing and Distilling*. 2(4):50–54.

Huang J-Y, John Chew YM, Ian Wilson D. 2012. A spinning disc study of fouling of cold heat transfer surfaces by gel formation from model food fat solutions. *Journal of Food Engineering*. 109(1):49–61.

Kamal M, Karoui R. 2017. Monitoring of mild heat treatment of camel milk by front-face fluorescence spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*. 79:586–593. doi:10.1016/j.lwt.2016.11.013.

Khalesi M, Salami M, Moslehishad M, Winterburn J, Moosavi-Movahedi AA. 2017. Biomolecular content of camel milk: A traditional superfood towards future healthcare industry. *Trends in Food Science & Technology*. 62:49–58. doi:10.1016/j.tifs.2017.02.004.

Konuspayeva G, Faye B, Loiseau G. 2009. The composition of camel milk: A meta-analysis of the literature data. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22(2):95–101. doi:10.1016/j.jfca.2008.09.008.

Lajnaf R, Picart-Palmade L, Attia H, Marchesseau S, Ayadi MA. 2017. The effect of pH and heat treatments on the foaming properties of purified α -lactalbumin from camel milk. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 156:55–61. doi:10.1016/j.colsurfb.2017.05.002.

Nigo RY, Chew YMJ, Houghton NE, Paterson WR, Wilson DI. 2009. Experimental Studies of Freezing Fouling of Model Food Fat Solutions Using a Novel Spinning Disc Apparatus. *Energy & Fuels*. 23(12):6131–6145. doi:10.1021/ef900668f.

Rahman MS, Al-Hakmani H, Al-Alawi A, Al-Marhubi I. 2012. Thermal characteristics of freeze-dried camel milk and its major components. *Thermochimica Acta*. 549:116–123. doi:10.1016/j.tca.2012.09.005.

Sadeghinezhad E, Kazi SN, Badarudin A, Zubair MNM, Dehkordi BL, Oon CS. 2013. A review of milk fouling on heat exchanger surfaces. *Reviews in Chemical Engineering*. 29(3):169–188.

Sadeghinezhad E, Kazi SN, Dahari M, Safaei MR, Sadri R, Badarudin A. 2015. A comprehensive review of milk fouling on heated surfaces. *Critical reviews in food science and nutrition*. 55(12):1724–1743.

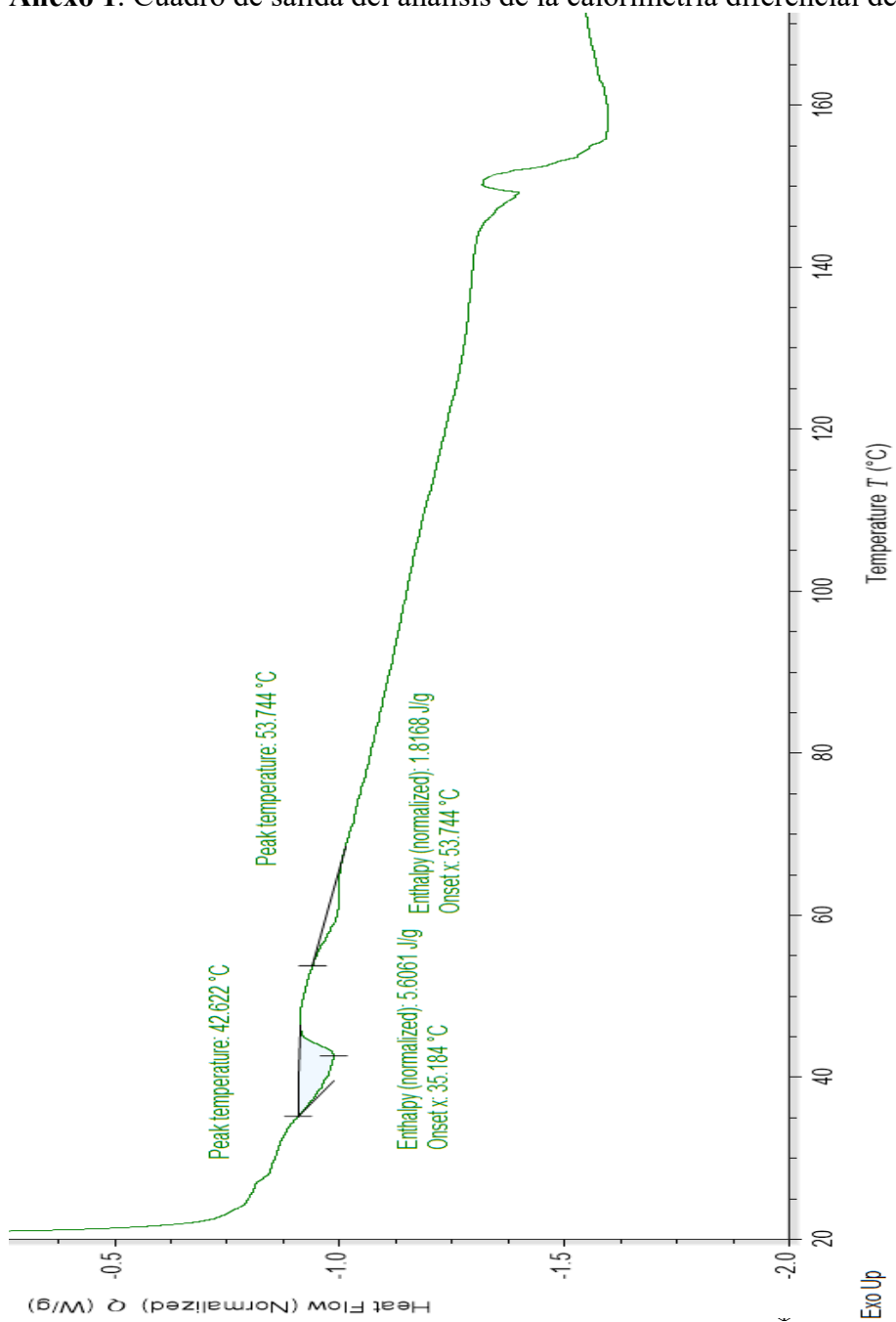
Watson RR, Collier RJ, Preedy VR. 2017. *Nutrients in Dairy and their Implications on Health and Disease: Chapter 30 - Camel Milk as a Potential Nutritional Therapy in Autism A2*. [sin lugar]: Academic Press. ISBN: 978-0-12-809762-5.

Yadav AK, Kumar R. 2015. Composition and medicinal properties of camel milk: A Review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 34(2):83–91.

Yang W, Li D, Chen XD, Mercade-Prieto R. 2018. Effect of calcium on the fouling of whey protein isolate on stainless steel using QCM-D. *Chemical Engineering Science*. 177:501–508.

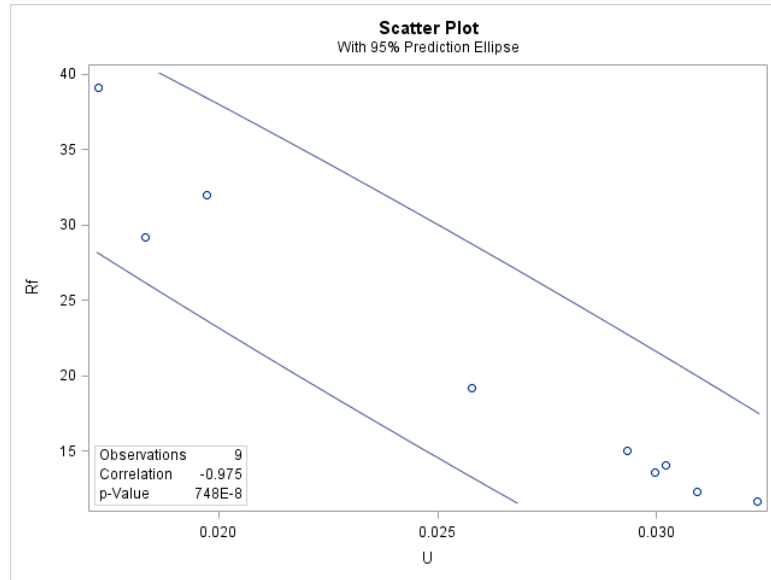
7. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de salida del análisis de la calorimetría diferencial de barrido

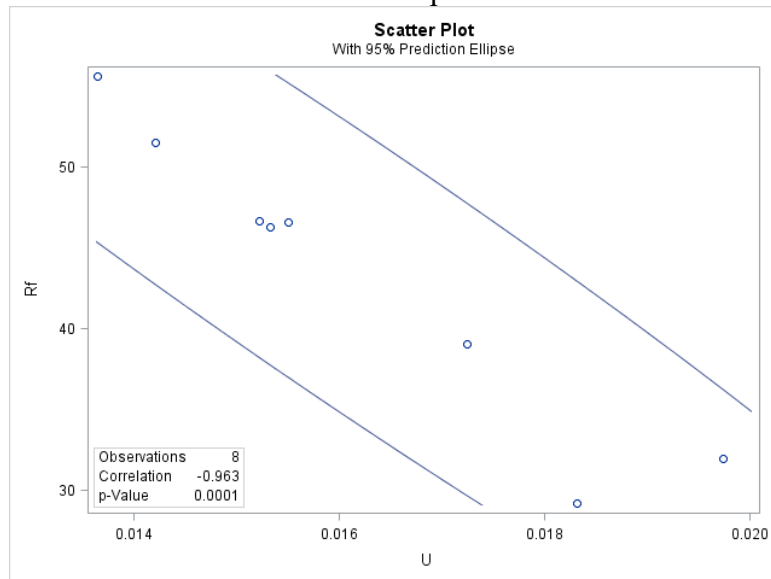


Anexo 2. Correlación entre resistencia de los depósitos y el coeficiente universal de transferencia de calor (Rf & U).

Efecto de cizalla

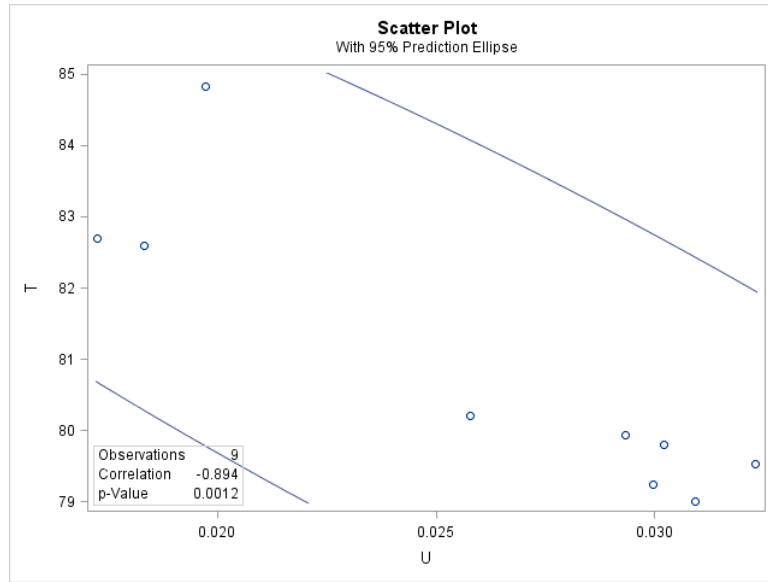


Efecto de temperatura

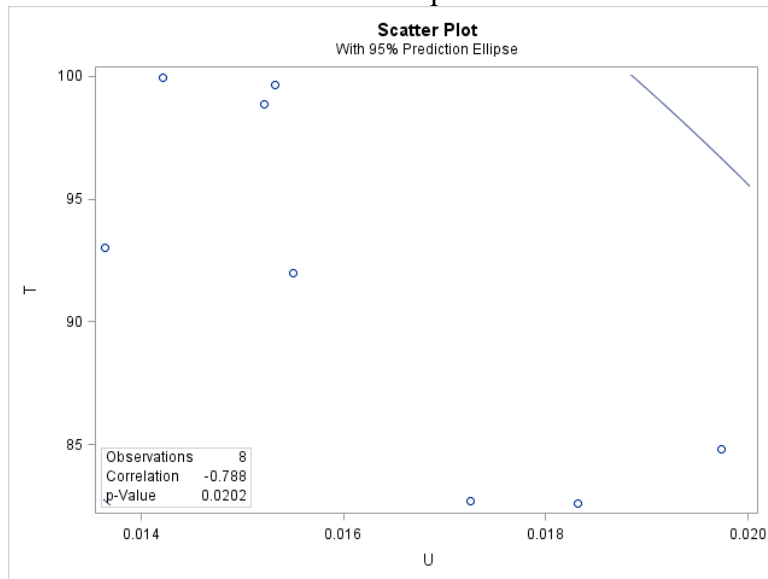


Anexo 3. Correlación entre temperatura y coeficiente universal de transferencia de calor (T & U).

Efecto de cizalla

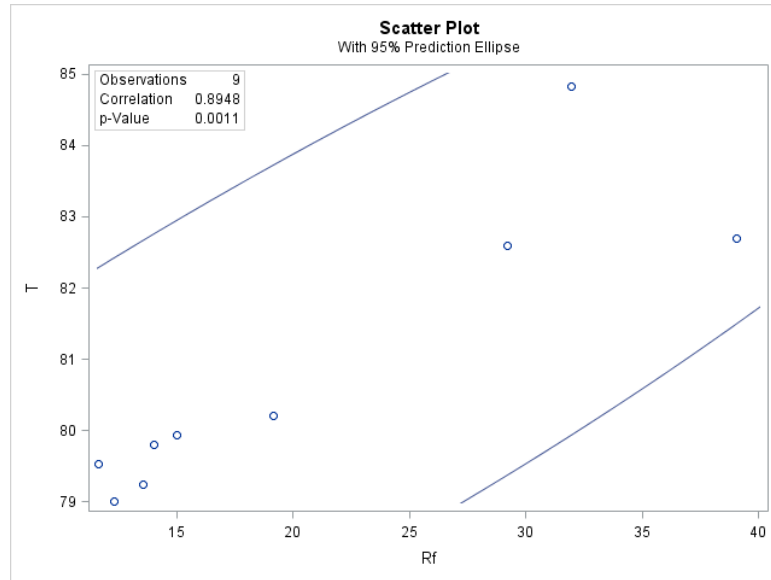


Efecto de temperatura

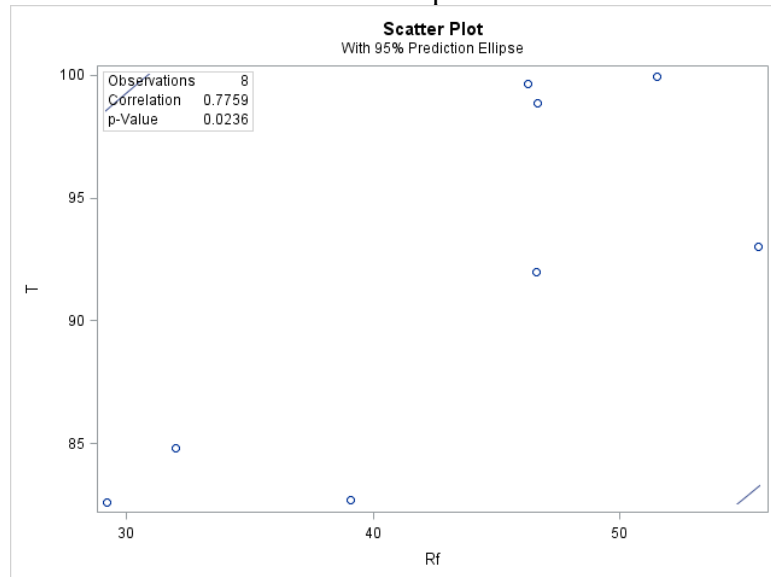


Anexo 4. Correlación entre temperatura y resistencia de los depósitos (T & Rf).

Efecto of cizalla

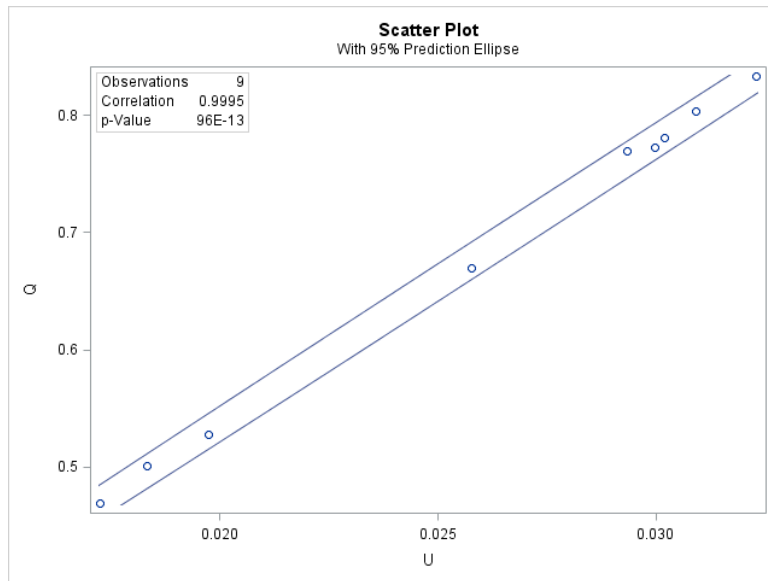


Efecto de temperatura

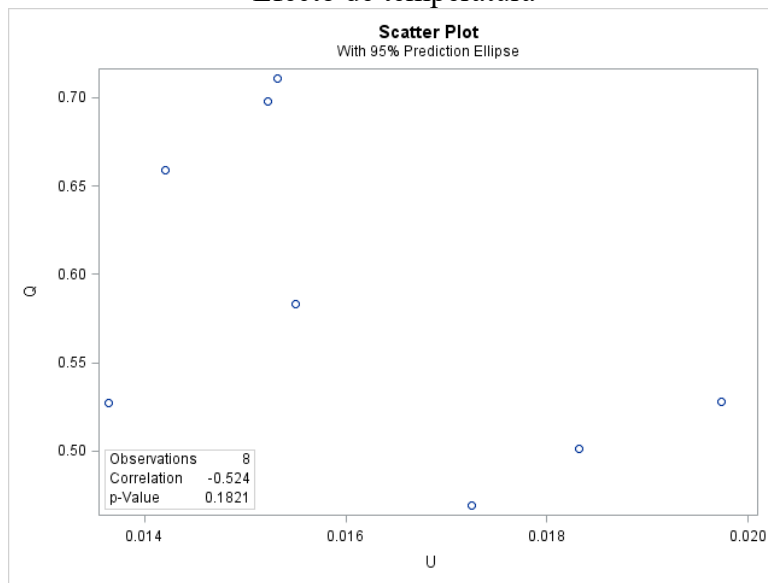


Anexo 5. Correlación entre flujo de calor y coeficiente universal de transferencia (Q & U).

Efecto de cizalla

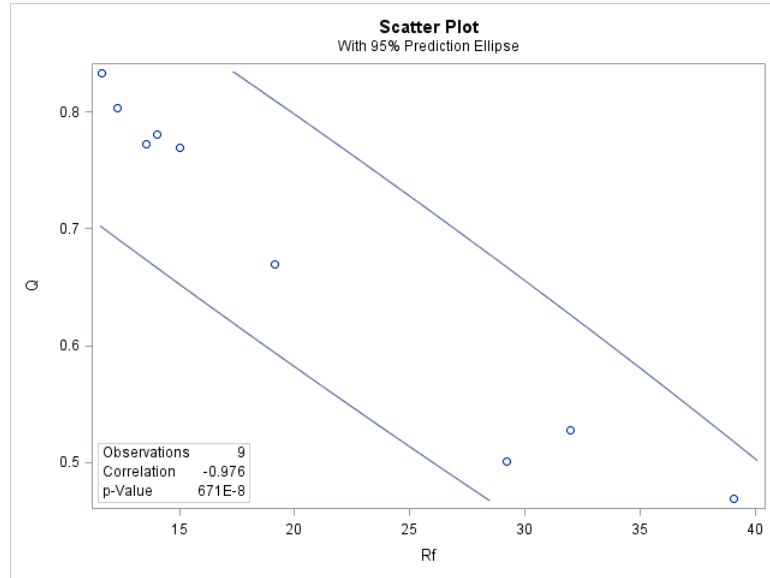


Efecto de temperatura

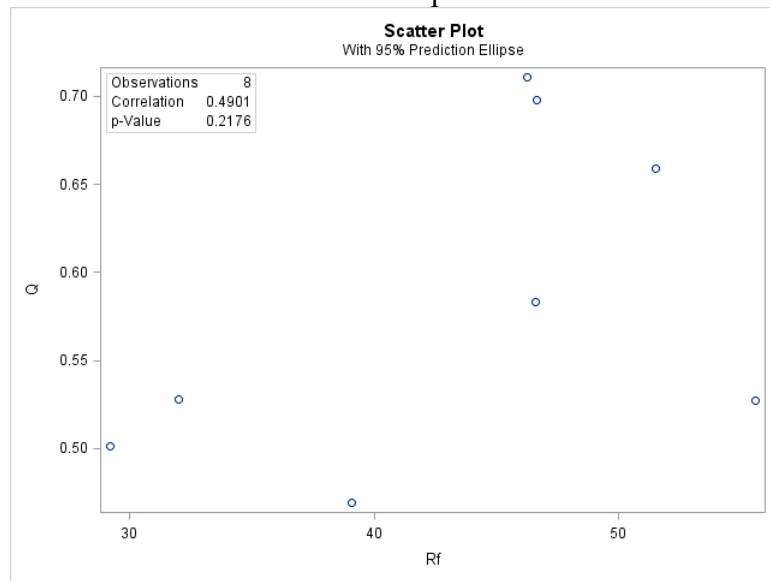


Anexo 6. Correlación entre flujo de calor y resistencia (Q & Rf).

Efecto de cizalla

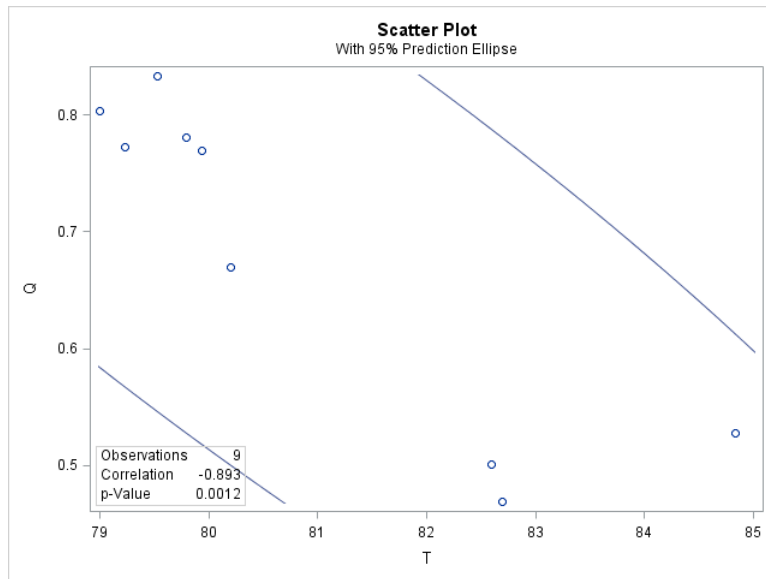


Efecto de temperatura



Anexo 7. Correlación entre flujo de calor y temperatura (Q & T).

Efecto de cizalla



Efecto de temperatura

