



Agroindustrial Science

Agroind Sci 4 (2014)

Escuela de Ingeniería
Agroindustrial

Universidad Nacional de Trujillo

Estudio de la transferencia de masa en la operación de lavado del queso para la elaboración del queso mantecoso

Study of the mass transfer in the curd's washing operation for making "mantecoso cheese"

Jesús A. Sánchez-González ^{a,*}, Luis Arana Fu ^b, Paul Cortijo Mendoza ^b, Ronald Haro Sánchez ^b, Irvin Olivares Hipólito ^b, Mayory Pérez Carrión ^b, Karla Polo Piminchumo ^b

a. Departamento de Ciencias Agroindustriales (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n Trujillo Perú

(* jsanchezg@unitru.edu.pe)

b. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo) Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Trujillo Perú

Recibido 30 Setiembre 2014; Aceptado 11 Diciembre 2014

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar de qué manera influye la operación de lavado del queso (después de la maduración) en la determinación de la difusividad efectiva de la acidez (DEA) para la elaboración del queso mantecoso, teniendo como variables de entrada el tiempo de lavado y proporción agua/quesillo. A través de una de las ecuaciones del modelo Fickiano de Crank (1964), considerando los pedazos de queso como una lámina semi-infinita, se determinó DEA para cada tratamiento del diseño compuesto central rotatable empleado (DCCR). Se halló que existen diferencias significativas entre el tiempo de lavado, así como de la interacción de las dos variables sobre la DEA ($p < 0.05$). El modelo que más se ajustó fue lineal, con un $R^2 = 0.86$ y un valor $p = 0.002$, prediciendo la DEA con un alto nivel de confiabilidad (un error máximo del 10 %). De ahí que el nivel óptimo de tiempo de lavado resultó ser de 12.2 horas, y una proporción de agua/queso de 23.2/1 ml/g., aunque, considerando el tiempo que los artesanos emplean en el lavado del queso, se obtendría un óptimo de 42 horas y con una relación agua/queso 86.8/1 ml/g. Se puede concluir que se encontró un nivel óptimo en las variables estudiadas para la desacidificación del queso, lo cual asegura la disminución en el contenido de ácido láctico, lo que podría repercutir en la textura y las características sensoriales del producto final; de ahí, la importancia del estudio de la operación de lavado.

Palabras clave: Queso, mantecoso, difusividad, lavado, Crank.

ABSTRACT

The aim of this study was to assess how the washing operation influences the curd (after ripening) in determining the effective diffusivity of acidity (EDA) for the preparation of soft cheese, taking as input variables the washing time and water / curd proportion. Through one of the equations of the model Fickiano Crank (1964), considering the curd - pieces as a semi-infinite slab, EDA was determined for each treatment of the rotatable central composite design employed (RCCD). It was found significant differences between the washing time and the interaction of the two variables on EDA ($p < 0.05$). The model that was the best adjusted was a linear one, with an $R^2 = 0.86$ and p -value = 0.002, predicting the EDA with a high level of reliability (a maximum error of 10%). Therefore, the optimal level of washing time was 12.2 hours and a water / cheese proportion of 23.2 / 1 ml / g. Nevertheless, considering the time crafters spend in curd's washing, it would get an optimal of 42 hours and with a water / cheese rate of 86.8 / 1 ml / g. It can be concluded that an optimal level found in the studied variables for curd's deacidifying, ensuring the decrease in lactic acid content, which may affect the texture and sensory characteristics of the final product; so that is the importance of studying the washing operation.

Keywords: Cheese, mantecoso, diffusivity, washing, Crank

1. Introducción

Se entiende por queso al producto blando, semiduro, duro y extra duro, maduro o no maduro y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche (FAO/WHO, 2006).

Según (Código Alimentario Español, 2012) se entiende por Queso el producto fresco o madurado que se obtiene por separación parcial del suero de la leche o leche reconstituida (entera, parcial o totalmente descremada), o de sueros lácteos, coagulados por la acción física, del cuajo, de enzimas específicas, de bacterias específicas, de ácidos orgánicos, solos o combinados, todos de calidad apta para uso alimentario; con o sin el agregado de sustancias alimenticias y/o especias y/o condimentos, aditivos específicamente indicados, sustancias aromatizantes y materiales colorantes.

Los quesos se clasifican de acuerdo a ciertos criterios (GONZALES, 2002): de acuerdo al contenido de humedad se clasifican en quesos duros, semiduros y blandos, de acuerdo al método de coagulación de la caseína, se clasifican en quesos al cuajo (enzimáticos), queso de coagulación láctica (ácido láctico), y finalmente de acuerdo a los microorganismos utilizados en la maduración y la textura del queso, se clasifican en quesos de ojos redondeados, granulares y quesos de textura cerrada.

(Código Alimentario Argentino, 2010) Indica que los quesos se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios: En función del contenido de materia grasa del extracto seco de la pasta, los quesos se clasifican en: doble crema (>60%), grasos (40-

60%), semi-grasos (25-40%), magros (10-25%) y descremados (<10%). Según el tiempo de maduración y el contenido de agua de la pasta, se clasifican en: pasta blanda o quesos frescos (45% a 55%), pasta semidura (36% al 44%) y pasta dura (27% al 35%).

El queso comparte casi las mismas propiedades nutricionales con la leche, excepto porque contiene más grasas y proteínas concentradas. Además de ser fuente proteica de alto valor biológico, se destaca por ser una fuente importante de calcio y fósforo, necesarios para la remineralización ósea.

Con respecto al tipo de grasas que nos aportan, es importante volver a señalar que se trata de grasas de origen animal, y por consiguiente son saturadas, las cuales influyen muy negativamente ante enfermedades cardiovasculares y la obesidad o sobrepeso.

En cuanto a las vitaminas, el queso es un alimento rico en vitaminas A, D y del grupo B.

Gracias a todos los nutrientes importantes que el queso nos aporta, debe estar presente en una dieta sana y equilibrada, aunque deberá ser consumido con moderación.

Las personas con intolerancia a la lactosa o alérgicas, deben tener especial cuidado, restringiendo su consumo, o tomando solo aquellos que su organismo tolera sin generar reacciones adversas.

(Torres Egas, 2001) El valor de acidez condiciona mucho el éxito en la etapa de la maduración del queso:

Acidez demasiado baja en la cuajada: si no se alcanza la acidez necesaria porque se interrumpe la acción de las bacterias antes de tiempo el queso

perderá mucho más suero y no conseguirá hacer corteza quedando un queso demasiado húmedo. Para corregirlo bastaría con dejar más tiempo actuar a las bacterias ácidos lácticas en caso de haberlas usado, en caso contrario usarlas la próxima vez.

Acidez demasiado alta en la cuajada: quedará un queso demasiado blando y en vez de madurar seguirá fermentando desarrollando un sabor más ácido. Si se desea reducir la acidez de una cuajada se puede "lavar" con agua templada. Se puede repetir el lavado las veces que sea necesario hasta ajustar el valor.

(Ocho Martínez *et al*, 2005) La mayoría de las situaciones prácticas de difusión son en estado NO estacionario. El flujo y el gradiente de concentración varían con el tiempo por lo que se genera acumulación o agotamiento de las sustancias que difunden. La ecuación que se utiliza para describir esta situación es la segunda ley de Fick, conocida como la ley de la difusión de Fick.

El modelo de Crank consiste en un grupo de soluciones de la ley de difusión de Fick para diferentes geometrías, condiciones límite y condiciones iniciales desarrolladas por Crank.

Este modelo ha sido empleado por muchos autores ya que es el modelo fenomenológico más conocido para representar el mecanismo difusional (Giraldo *et al.*, 2003)

Con el modelo de Crank, se estiman la difusividad efectiva (D_e) del agua y del soluto, simulando los experimentos con condiciones límites y resolviendo las ecuaciones analítica o numéricamente, pero las suposiciones que se hacen no siempre

son fáciles de lograr lo que implica grandes limitaciones (Paijoko *et al.*, 1996).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar de qué manera influye la operación de lavado del quesillo (después de la maduración) en la determinación de la difusividad efectiva de la acidez para la elaboración de queso mantecoso, teniendo como variables de entrada el tiempo de lavado y proporción agua-queso, para lo cual se utilizó el modelo de Crank.

2. Materiales y métodos

Proceso de Elaboración de Queso Mantecoso

Para el análisis del proceso de lavado del queso mantecoso se siguió como primer procedimiento el control de calidad de la leche, en donde se determinó la acidez titulable por el método establecido por la AOAC 947.05, 1990, la densidad o peso específico por método establecido por la AOAC 928.08, 1990 y el pH por el método de CAA 13.10, 1989. Luego de este análisis fisicoquímico, se procedió a pasteurizar mediante agitación continua a 65°C durante 30 minutos, para después bajar la temperatura a 40°C aproximadamente (pre maduración) y adicionar el inóculo a una concentración entre 1 a 2 g por cada 100 L de leche a esta temperatura constante. Seguidamente, la leche se coaguló debido a la acción de un preparado enzimático (cuajo) de la marca "Tres muñecas" - CHR HANSEN, en el cual fue agregado a cantidades de 2 g por 100 L. así como el Cloruro de Sodio (CaCl_2) en cantidades de 20 g por 100 L para que pueda formar el cuajo óptimamente. Una vez obtenida el cuajado de la leche se procedió a cortarlo con la

finalidad de ayudar a evacuar el suero de la red proteica y precipitarlo, hasta realizar el agitado al suero y llegar al punto de despicado, en donde la actividad de la enzima finaliza. En seguida se realizó el desuerado en drenado para obtener el queso fresco o quesillo y poder madurar en refrigeración a 16.5°C a 17°C durante 4 días. Una vez madurado la masa del quesillo, se troceó en pequeñas láminas de 2,5 x 2,5 cm² de área y 3 mm de espesor. A continuación, se acondicionó el quesillo en pequeños trozos para desaguar en volúmenes de agua a temperatura ambiental con el fin de disminuir la concentración y también la estructura del quesillo. Luego, el quesillo desaguado en las láminas se dejó orear durante unos minutos para eliminar el excedente de agua. Y finalmente, se procedió a sumergir las láminas de quesillo en los depósitos con agua según los tiempos y proporciones agua – queso especificado en la metodología, para luego realizar la medición de la acidez titulable y calcular posteriormente, la difusividad efectiva de la acidez para cada tratamiento por los modelos matemáticos correspondientes.

Determinación de la Difusividad efectiva de la acidez del quesillo

La difusividad efectiva de la acidez puede ser determinada de muchas maneras a través de modelos Fickianos e hidrodinámicos. Para el caso de este trabajo se utilizó el modelo de Crank en el que a partir de la segunda ley de Fick, para estado no estacionario:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots (1)$$

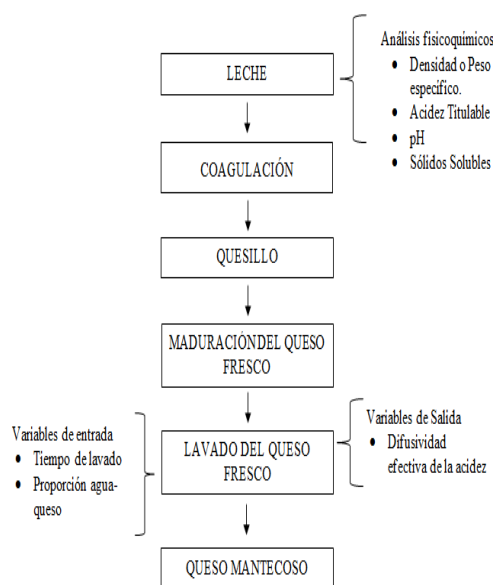


Figura 1. Esquema Experimental del proyecto

Donde C es la concentración, D_e es el coeficiente de difusividad efectiva, x es la trayectoria difusiva y t es el tiempo. A partir de la expresión 1, se obtienen diferentes soluciones para el cálculo de D_e de las cuales se diferencian, atendiendo a las diferentes geometrías que pudiesen presentarse (Crank, 1975).

En el presente estudio, se consideró la ecuación de Crank una lámina semi-infinita para tiempos muy cortos y volúmenes de medio líquido muy grandes (agua potable hervida).

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 2 \left(Fo \right)^{0.5} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \operatorname{erfc} \left(\frac{n}{Fo} \right) \right] \dots (2)$$

Donde:

$$Y = \left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right)$$

M₀^j = Concentración de acidez inicial del queso.

M_t^j = Concentración de acidez a cada tiempo determinado.

M_∞^j = concentración mínima

Al aproximar el Número de Fourier considerándose los sumandos $n = 1, 2$ y 3 se logró reducir la expresión (2) a una más sencilla. Luego, teniendo en cuenta que:

$$Fo = \frac{De*t}{e^2} \dots (3)$$

Se obtiene:

$$Y = 2 \left(\sqrt{\frac{De}{\pi * e^2}} \right) * \sqrt{t} \dots (4)$$

A partir de esta ecuación se realiza una regresión lineal tomando como x a \sqrt{t} , según esto la pendiente de la recta obtenida sirve para determinar la difusividad efectiva de la acidez para cada tratamiento del DCCR.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR); siguiendo un diseño experimental para dos

variables independientes (tiempo de lavado y relación agua-queso).

Así, para este trabajo de investigación se utilizó: $2^2 + 2(2)$ puntos axiales + 3 puntos centrales = 11 ensayos

En el Tabla 1 se presentan los niveles y sus correspondientes valores (máximos y mínimos) originales que se utilizaron en el DCCR para dos factores.

Tabla 1. Valores de las variables independientes utilizadas en el DCCR.

Variables independientes	Niveles				
	-1.4142	-1	0	1	1.4142
X ₁ : Tiempo de lavado	6	12.2	27	41.8	48
X ₂ : Proporción agua-queso	10	23.2	55.0	86.8	100

Tabla 2. Respuestas de la matriz con datos reales y codificados de DCCR para la difusividad efectiva.

tratamientos	Valores codificados		Valores Reales		Difusividad efectiva
	Tiempo de lavado	Proporción agua-queso	Tiempo de lavado	Proporción agua-queso	
1	-1	-1	12.2	23.2	5.8669E-11
2	1	-1	41.8	23.2	2.2063E-11
3	-1	1	12.2	86.8	4.2539E-11
4	1	1	41.8	86.8	4.4608E-11
5	-1.4142	0	6	55	5.9215E-11
6	1.4142	0	48	55	3.9567E-11
7	0	-1.4142	27	10	4.4937E-11
8	0	1.4142	27	100	5.1447E-11
9	0	0	27	55	4.0125E-11
10	0	0	27	55	4.7625E-11
11	0	0	27	55	4.9095E-11

El análisis experimental continuó con el diseño factorial completo 2^2 , más 4 puntos axiales y tres repeticiones en el punto central para la variable respuesta, el cual es presentado en el siguiente cuadro.

Para el análisis de regresión, se utilizó los datos de los resultados de las variables independientes y el software STATISTIC 7.0, se determinaron los coeficientes de regresión identificando los parámetros

significativos, con lo cual se obtuvo posteriormente un modelo polinómico.

Finalmente, para el análisis de varianza el sistema ANVA para verificar si el modelo es significativo ($p < 0.05$) y el R^2 . La significancia del modelo y valores $R^2 \approx 1$ indicaron la concordancia entre los valores experimentales previstos para el modelo. Finalmente se logró construir superficies de respuesta para definir regiones de interés y obtener los parámetros fisicoquímicos del queso y sensoriales del queso mantecoso, en la presente investigación (Anzaldúa – Morales, 1994).

3. Resultados y Discusiones

Por otro lado, (**Tabla 3**) los coeficientes de regresión para la media, el tiempo de lavado, la

Tabla 3. Coeficientes de regresión lineal para la difusividad efectiva

	Regressn Coeff.	Std.Err.	t(7)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
Mean/Interc.	8.68E-11	8.43E-12	10.28976	0.000018	6.68E-11	1.07E-10
(1)Tiempo de lavado(L)	-1.66E-12	2.90E-13	-5.70892	0.000729	-2.34E-12	-9.70E-13
(2)Prop. agua-queso(L)	-4.93E-13	1.41E-13	-3.49031	0.010124	-8.28E-13	-1.59E-13
1L by 2L	2.05E-14	4.88E-15	4.20893	0.003991	9.00E-15	3.21E-14

Esto se puede deber a que no se llegó a un nivel de saturación de ácido en el medio líquido, por lo que no se detectó diferencias significativas; aunque también se debe tener en cuenta que sí existe una alta significancia de la interacción de ambas variables; es decir, si bien es cierto que por sí sola la relación agua/queso no posee un efecto significativo, cuando esta es analizada en simultáneo con el tiempo de lavado, sí existen diferencias significativas sobre la Difusividad efectiva de la acidez del queso. Por

proporción agua/quesillo y la interacción entre las dos variables tienen un efecto significativo sobre la DEA ($p < 0.05$). Teniendo en cuenta los coeficientes de regresión lineal, se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$Y = 8.68 * 10^{-11} - 1.66 * 10^{-12} * T - 4.93 * 10^{-13} * P + 2.05 * 10^{-14} * T * P \dots (4)$$

Dónde:

T: Tiempo de lavado.

P: proporción agua-queso.

En la **tabla 4**, se muestra que sí hay un efecto significativo del tiempo de lavado ($p < 0.05$), mas no de la proporción agua/quesillo.

otra parte, no ha sido posible comparar los valores de difusividad reportados en la literatura debido a los diferentes métodos de estimación, a los modelos utilizados y a la diversidad de condiciones sobre las que se ha efectuado la experimentación. Se conocen, pues, muy pocos trabajos donde se estudie la difusividad efectiva de la acidez para el queso en la elaboración del queso mantecoso, que puedan llevar a concluir acerca de un mejor ajuste del modelo obtenido mediante MSR.

Tabla 4. Análisis de Anova para la difusividad efectiva.

		SS	df	MS	F	p
(1)Tiempo lavado(L)	de	4.85E-22	1	4.85E-22	20.97337	0.001978
(2)Prop. queso(L)	agua-	3.05E-23	1	3.05E-23	1.31790	0.268380
1L by 2L		3.74E-22	1	3.74E-22	16.15812	0.003991
Error		1.48E-22	7	2.11E-23		
Total SS		1.04E-21	10			

Según Santapaola et al., (2013) al estudiar los coeficientes de difusión de NaCl decaen hasta un tiempo de 100 minutos, y a partir de ahí, se mantiene casi constante hasta un tiempo de 1800 minutos (30 horas). Esto muestra que los coeficientes de difusión disminuyen con relación al tiempo. No así en el caso de la difusividad de la acidez, pues, se observa que por el contrario, la difusividad aumenta a medida que aumenta el tiempo de lavado. Por todo esto, la complejidad de las variables a controlar podría ser una causante de la poca experimentación del efecto del tiempo de lavado en la Difusividad efectiva de la acidez.

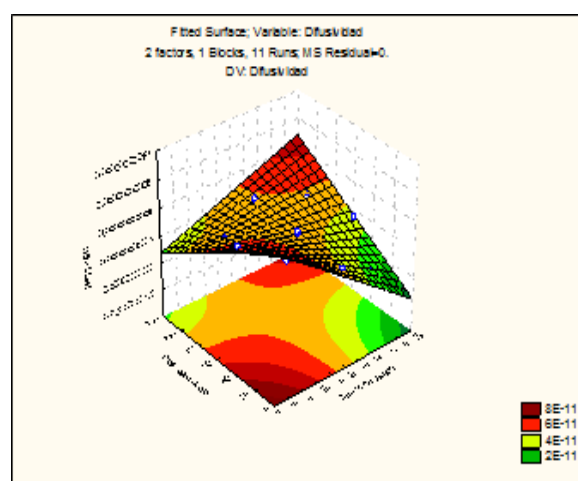
Según Valera et al., (2005) la proporción alimento/solución sí reporta una diferencia significativa sobre la ganancia de soluto y ganancia de agua en la deshidratación osmótica de mango en cilindros, por lo que tomando como analogía esta referencia se podría afirmar que de manera similar ocurre este fenómeno en la desacidificación del quesillo en la operación de lavado al observarse que sí presenta un alto efecto significativo la proporción agua/quesillo en la DEA.

Partiendo de la **Tabla 5**, se validó el modelo, arrojando un valor $p = 0.002393$, lo cual indica que el modelo (4) es adecuado para la predicción de la DEA. Las SS y los MS son pasos intermedios que no representan un

objetivo por sí mismo. El valor R^2 es de 0.858. Aunque no se obtuvo un valor R^2 muy alto, esto no quiere que el error sea necesariamente elevado; sino que podría indicar una falta de ajuste.

Tabla 5. Validación del modelo matemático.

	SS	df	MS	F	P
Modelo matemático	8.90E-22	3	2.97E-22	14.05079	0.002393
Residuos	1.48E-22	7	2.11E-23		
Total	1.04E-21	10			
R²	0.857591				

**Figura 2.** Superficie de respuesta para la variable Difusividad Efectiva.

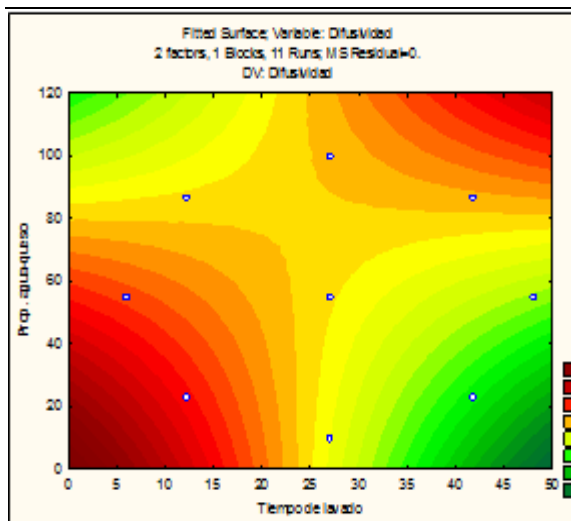


Figura 3. Gráfico de Contorno para la variable Difusividad Efectiva.

La superficie de respuesta y la gráfica de contorno permiten hallar condiciones óptimas para el tiempo de lavado y la proporción agua/quesillo. De la figura 2 y 3, se obtiene que a un tiempo de lavado de 12.2 horas, y una proporción de agua/queso de 23.2/1 ml/g. Sin embargo, debido a que los productores artesanales de queso mantecoso lavan el quesillo durante 48 horas, se puede decir que el tiempo óptimo más cercano a este (para obtener la máxima DEA), es de 42 horas y con una relación agua/queso 86.8/1 ml/g.

El queso mantecoso es uno de los productos de mayor aceptabilidad en el público consumidor, por lo que el estado ha apoyado sellos de calidad para este tipo de quesos. Se ha logrado consolidar las gestiones ante el INDECOPI y se ha inscrito la Marca Colectiva de la Asociación de productores de Derivados lácteos de Cajamarca (APDL), para darle un Sello de Calidad a cinco productos: queso mantecoso, queso tipo suizo, manjar blanco, mantequilla y yogurt (Escrura, 2001).

En un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia, para el caso del queso Edam, una caracterización físico-química y textural

fue realizada. Los resultados arrojaron que propiedades fisicoquímicas contenido de grasa, proteína y humedad también son dependientes del tiempo, siendo estos cambios los responsables de las modificaciones de las propiedades texturales. Se llegó a la conclusión que el queso Edam es un producto cuyo comportamiento fisicoquímico y textural es altamente dependiente del tiempo (Osorio et al., 2004).

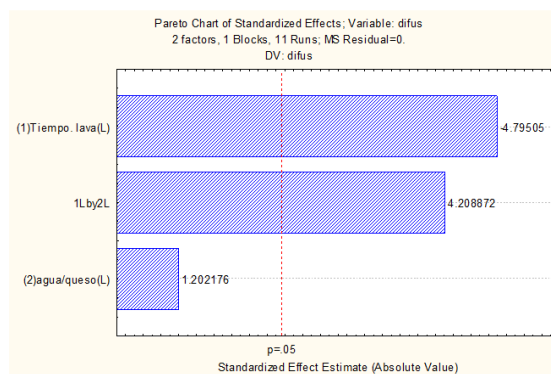


Figura 4. Gráfico de Pareto de los efectos estandarizados.

La figura 4 muestra la alta significancia del tiempo de lavado y de la interacción de esta con la proporción agua/quesillo, mas no así de esta última analizada aisladamente. Se nota claramente que no hay diferencia estadística alguna sobre la variable de salida.

4. Conclusiones

Se logró determinar la optimización, (mediante MSR) del tiempo de lavado del quesillo y la proporción de agua/quesillo en las características fisicoquímicas del queso mantecoso: 12.2 horas y proporción de agua/queso de 23.2/1 ml/g.

Se logró obtener valores de difusividad efectiva de la acidez (DEA) para cada tratamiento del DCCR; aunque, no ha sido posible comparar valores de Difusividad por que no se encontraron reportes en la literatura debido a que no

se realizaron muchos estudios correspondientes al tema.

gobierno. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1528.2012.pdf>

5. Referencias

Código Alimentario Español. (2012). Madrid. España.

Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (Clarendon Press, Oxford, UK).

Escurre E. (2001). Situación de la ganadería lechera en Cajamarca. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. V.12:2

FAO/WHO. (2006). CODEX STAN 283-1978-Norma General del Codex para el Queso, Codex Alimentarius.

Giraldo, G.; Talens, P.; Fito, P.; Cliralt, A. (2003). *Journal of Food Engineering* 58: 33-43.

Gonzales, M. (2002). *Tecnología para la elaboración de queso blanco, amarillo y yogurt*. Ciencia y Tecnologías de alimntos. Secretaria Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación . Veraguas, Panamá.

Norma general para quesos no madurados. Instituto Ecuatoriano de Normalización (IEN). República del Ecuador Edicto del

Ocho, C.; Ayala, A. (2005). *Modelos Matemáticos de Transferencia de Masa en Deshidratación Osmótica*. IV edición.

Osorio J.; Ciro, H.; Mejía, L. (2004). Caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. Vol.57:1.

Paijoko, K. A.; Rabman, M.; Buckle, K. A.; Perera, C. O. (1996). Cinética osmótica de secamiento de las cuñas de piña que utilizan azúcar de palma. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 29: 452-459.

Santapaola, J.; Maldonado, S.; Medina, J. L. (2013). NaCl diffusion kinetics in dry salting of goat cheese. *Journal of Food Engineering*. 118: 172 – 177.

Torres, H. A. (2001). *El Queso Maduro y sus Secretos*. Editorial Prodar. Lima, Perú.

Valera, A.; Zambrano, J.; Materano, W.; Quintero, I. (2005). Efectos de la concentración de soluto y la relación fruta / jarabe sobre la deshidratación osmótica de mango en cilindros. *Agronomía Trop.* 55 (1): 117-132.

