



Influencia de la presión y temperatura en el proceso de clarificación de jugo de kiwi (*Actinidia deliciosa*) por filtración al vacío

Influence of pressure and temperature in the clarification process of kiwifruit juice (*Actinidia deliciosa*) by vacuum filtration

Alexis Monzón Llempén, Claudia Palomino Cedeño, Asthry Quezada Moncada, Jhoan Saavedra Sarovio, Jorge Sánchez Rodríguez, José Villacorta Chávez, Jesús A. Sánchez-González

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

Recibido el 24 de Julio del 2012, aceptado el 21 de Agosto del 2012

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó el efecto de la presión y temperatura de filtrado en la resistencia de la torta y medio filtrante, así como en la transmitancia y aceptabilidad en el consumo de jugo clarificado por filtración al vacío; para ello se empleó un filtro a vacío, papel filtro estándar, constituido principalmente por celulosa y amilosa; y jugo de kiwi (*Actinidia deliciosa*).

El jugo de kiwi fue tratado a temperaturas de 25°C a 55°C con diferenciales de presiones de -0.2 bar; -0.3 bar; -0.5 bar; -0.7 bar y -0.8 bar, utilizando un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR), obteniendo como resultados que entre temperaturas de 35°C y 52.5°C a presiones de vacío de -0.4 bar a -0.7 bar en la filtración de jugo de kiwi a concentración constante presentó una tendencia a una baja resistencia de la torta, por otro lado entre temperaturas de 48°C y 55°C a presiones de vacío de -0.4 bar a -0.7 bar en las mismas condiciones anteriores presentaron una tendencia de baja resistencia del medio filtrante conforme aumenta la temperatura inicial de la muestra y el vacío aplicado en el sistema; además que entre temperaturas de 25°C y 37.5°C bajo una presión de vacío de -0.8 bar ó mayor en el proceso, muestran una transmitancia aceptable para el jugo obtenido.

Palabras clave: filtración, resistencia de torta, resistencia de medio filtrante, transmitancia.

ABSTRACT

In the present work of investigation there was evaluated the effect of the pressure and temperature in the filter cake resistance and filter medium and in the transmittance and acceptability in the clarified juice consumption by vacuum filtration; for it we used a filter vacuum, standard filter paper consists mainly of cellulose and amylase, and kiwi juice.

Kiwi juice was treated at temperatures from 29°C to 51°C with pressure differentials -0.2 bar, -0.3 bar, -0.5 bar, -0.7 bar and -0.8 bar, using a Central Composite Rotational Design (CCRD), obtaining as results that at 35 °C to 52.5 °C with a negative pressure of -0.4×10^5 Pa at -0.7 bar in the filtration of kiwi juice at constant concentration showed a tendency towards a low resistance of the cake, on the other hand the temperatures of 48°C to 55°C with a negative pressure of -0.4 to -0.7 bar in the same conditions above, showed a tendency toward a low resistance filter media with increasing initial temperature of the sample and the vacuum applied in the system in addition to temperatures 25°C to 37.5°C under a negative pressure of -0.8 bar or more in the process show a transmittance acceptable for the juice.

Keywords: filtration resistance of cake, filter medium resistance, transmittance.

1. Introducción

Disponemos de bebidas nutritivas, que además de calmar la sed contribuyen a nutrir el organismo por el contenido variable en energía y ciertos nutrientes.

Es el caso de los néctares de frutas que aportan energía en forma de azúcares procedentes de la fruta (fructosa principalmente), vitaminas (vitamina C y carotenos mayoritariamente) y sales

minerales (potasio, fósforo). Los néctares comerciales constituyen hoy en día una importante fuente de nutrientes, ya que los avances conseguidos en sus procesos de elaboración permiten conservar casi todos los nutrientes de la fruta fresca en unas proporciones prácticamente semejantes. (Camacho, 1994).

Entre el abanico de posibilidades a la hora de tomar una bebida nutritiva, se considera al kiwi como un alto aporte de vitamina C, E y alto contenido en fibra. Es baja en colesterol. Produce efectos anticancerígenos, tiene capacidad antioxidante y anti-inflamatoria, mejora el sistema inmunológico y aumenta las defensas en el organismo. Contiene dos veces más vitamina C que la naranja, al mismo tiempo que es una fruta rica en betacaroteno y en potasio (Aranceta, 2006), un mineral esencial para el organismo, cuya deficiencia puede producir problemas de tensión arterial, depresión, cansancio y desórdenes digestivos. También ayuda a combatir el estreñimiento (Hernández, 2010).

Por otro lado, la filtración es una operación básica, muy utilizada en la industria química, para la clarificación de jugos de frutas. Consistente en la separación de partículas sólidas de una suspensión mediante un medio filtrante que deja pasar el líquido y retiene el sólido. Se basa en el fraccionamiento que experimentan especies de diferentes tamaños moleculares al atravesar una membrana semipermeable sobre la que se aplica presión (Cheryan, 1998). La clave para el traslado exitoso de uno de estos procesos a la industria es la optimización del flujo de filtrado y por ende del tamaño del equipo o del

tiempo de operación (Castro y Gerla, 2005).

En este trabajo se aplicó la filtración al vacío de jugo de kiwi, utilizando a la temperatura y a la presión como variables independientes en el proceso, buscando evaluar si estos tienen efectos en la clarificación del producto final, logrando así determinar los valores óptimos de estas variables, que representará una opción técnica y económica en la elaboración de jugo de kiwi, y como referencia para la elaboración de otros jugos, incentivando así el consumo de esta fruta de características tan nutritivas e importantes para nuestra salud convirtiéndolo en un alto potencial comercial.

2. Materiales y métodos

Muestra: kiwi (*Actinidia deliciosa*)

Materiales: Espectrofotómetro molecular HP 8452A con arreglos de diodos, celda de 1 cm de paso óptico, longitud de onda 550 nm. Exactitud de longitud +/- 1nm. Exactitud fotométrica 0.003^a, bomba de vacío marca "Vacuubrand" (Membran-Vakuumpumpe/Diaphragm Vacuum Pump) modelo MZ 2C, embudo Buchner 10 cm de diámetro, estufa marca "Mettler", balanza analítica Sartorius +/- 0.0001, vasos de precipitación, papel filtro.

Elaboración de jugo de kiwi clarificado

Esquema Experimental



Figura 1. Esquema experimental para la clarificación de jugo de kiwi.

La recepción del kiwi se realizó en un mercado de abastos en la ciudad de

Trujillo. Se seleccionaron los kiwis exentos de signos de contaminación y/o magulladuras. Se procedió a lavarlos con agua potable con el fin de remover partículas de polvo. Posteriormente se removió la cáscara mediante pelado manual, dejando la pulpa libre. Se trozó y licuó con agua en una proporción de 1:3 p/p. El volumen final de licuado fue de 300ml.

Con el fin de facilitar el posterior proceso, se efectuó un colado de tal manera que se eliminó parte del porcentaje de las pepas del fruto. Las muestras de jugo fueron sometidas a calentamiento con el fin de alcanzar temperaturas entre 25 a 55°C. Se filtró a presiones negativas (0.3 bar, 0.5 bar, 0.7 bar, 0.2 bar, 0.8 bar), usando papel filtrante con un diámetro de poro de tamaño estándar. Se calculó la humedad de cada torta colocándola en la estufa a 105°C por 4 horas.

$$\%H = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde: %H = Porcentaje de humedad; W₁=Peso de muestra (g) y W₂=Peso de muestra seca (g).

Posteriormente se midió el pH introduciendo papel pH-metro en 20 ml de jugo filtrado. Según Sánchez (2003) para la mayoría de los néctares el porcentaje estándar es de 12°Brix, por ende se estandarizó cada tratamiento a 12°Brix con la adición de azúcar refinada. Y por último se sometió a cada muestra a un tratamiento térmico de

pasteurización a 80°C por un período de 10 min (Espinel, 2000).

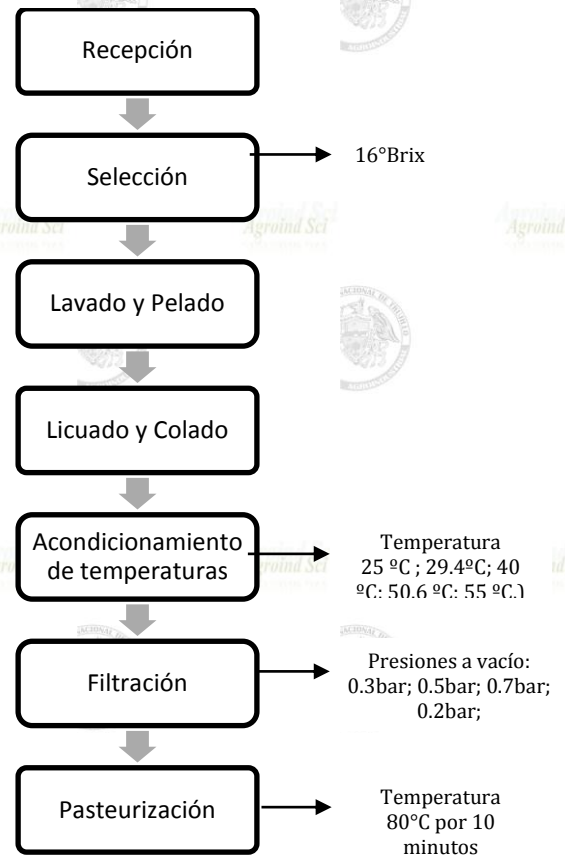


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de preparación de jugo de kiwi clarificado.

Evaluación de la aceptabilidad general del jugo de kiwi filtrado

Para la evaluación de la aceptabilidad de los trozos, se realizó a través de una prueba sensorial constituida por un panel de degustación inexperto (25 personas) que evaluaron una muestra de cada tratamiento, estableciendo diferencias respecto al sabor.

Prueba Sensorial de Escala Hedónica de 20 cm
Producto: jugo de kiwi
 Para cada una de las muestras evalúe el sabor, colocando una pequeña línea vertical en la línea adjunta.

0 10

←-----|-----→

Me disgusta Me gusta mucho

Figura 3. Ficha de evaluación sensorial utilizada para determinar la aceptabilidad del jugo de kiwi

Diseño y Análisis Estadístico

Se propuso un diseño compuesto central rotacional (DCCR), tomando un planteamiento factorial: $2^k + 2K + 3$ ($K=2$).

En la fase inicial del estudio de una superficie de respuesta se trata de identificar la región de respuesta más óptima y para ello se utilizan experimentos factoriales completos 2^k con el fin de estimar las respuestas medias para un modelo lineal o de primer orden.

Para la aproximación a una superficie de segundo orden se escogió un diseño rotacional central compuesto, considerando una propiedad deseable consistente en que la varianza de los valores estimados sea constante en puntos equidistantes del centro del diseño. Esta propiedad llamada rotabilidad se logra estableciendo $\alpha = (2^k)^{1/4}$. Así el valor α para el presente diseño con dos factores fue $\alpha = 1.41$

Tabla 1. Niveles de los factores estudiados.

Componentes	Niveles				
	-1.41	-1	0	1	1.41
Temperatura (°C)	25	29.4	40	50.6	55
Presión de vacío (Bar)	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.8

Con el análisis de varianza se determinó el efecto de los factores y sus interacciones sobre la variable de respuesta; el resumen de análisis ANOVA fue llevado a cabo en el paquete estadístico Statistica 7.0.

Obtenido el modelo estadístico, representados por una regresión lineal (línea recta) con el indicado coeficiente de correlación fue útil para graficar la superficie de respuesta, con la cual se visualizó de una manera global el efecto de los factores, además para encontrar la región en la que se encontró el punto óptimo dentro del intervalo experimental.

3. Resultados y discusiones

3.1 Caracterización del jugo de kiwi

En la Tabla 2 se muestran algunas características fisicoquímicas del kiwi determinada en esta investigación.

Tabla 2. Características fisicoquímicas del kiwi.

Características	Valor	Unidades
Humedad	85.70	%
Sólidos solubles	4.5	°Brix
pH	4	-

Uno de los datos obtenidos del fruto kiwi fue de 85.70% de contenido de humedad, resultado similar al reportado por Pincay (2011) el cual alcanza un 83% de humedad promedio, si bien es cierto no menciona la variedad, pero el contenido de humedad obtenido fue muy cercano al obtenido en el experimento. Por otro lado en cuanto a los sólidos solubles fue tomado cuando se le mezcló con agua a una proporción de 1:3, por tal motivo, el resultado fue aproximadamente 4 veces menor que el reportado por Burdon *et al.* (2004), 16°Brix. Según Crisosto y Crisosto (2001) el kiwi tiene un contenido promedio de sólido solubles de 15°Brix, estas medidas varían en cuanto lo hace el estado madurez.

3.2. Evaluación del efecto de la presión y temperatura.

Tabla 3. Valores de los Coeficientes de determinación para los modelos de las variables dependientes.

Fuente de variables	R ²	R ² ajustado
Resistencia de la torta	0.89962	0.8599
Resistencia del medio filtrante	0.96508	93.017
Aceptabilidad	0.90922	0.81844
Transmitancia	0.90088	0.80177

En la Tabla 3 se puede verificar que los coeficientes de correlación (R²) son

mayores a 0.89 (89%), lo cual indica una buena correlación entre las variables independientes (Temperatura y Presión de vacío) y las variables dependientes (resistencia de la torta y medio filtrante) según el modelo cuadrático de ajuste de tendencia. Se puede considerar que los modelos obtenidos en cuanto a la resistencia de la torta y la resistencia del medio filtrante son válidos para experimentos futuros.

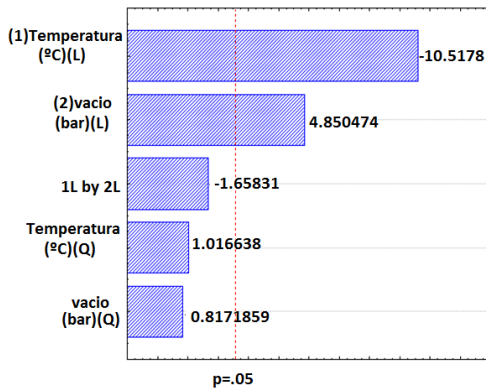


Fig 4. Efecto de la presión y temperatura sobre la resistencia del medio filtrante

Como se observa en la Figura 4, la variable que ejerce un mayor efecto significativo sobre la resistencia del medio filtrante, según los datos reportados, es la temperatura de filtración ya que es la única que pasa el nivel de significancia. Para cada variación de la temperatura de la muestra que se trabaje, la resistencia que presentará el medio filtrante disminuirá (Ver ecuación 2). Efecto positivo para el proceso de filtración.

La Tabla 4 muestra los coeficientes del modelo tanto para la resistencia de la torta, resistencia del medio filtrante, aceptabilidad y transmitancia. Se aprecia que para la resistencia de la torta, sólo se consideraron el coeficiente de la Temperatura (Q) y a la presión de vacío del proceso (L) por tener un valor “p” menor a 0,05. Para la resistencia del medio filtrante sólo se consideró que fue significativa la Temperatura, puesto que este resultado presenta un valor “p” menor a 0,05. Para aceptabilidad se consideró significativa solo la Temperatura (Q).

Tabla 4. Coeficientes de regresión para los modelos de las variables dependientes

Factor	Resistencia de la torta (Y ₁)		Resistencia del medio Filtrante (Y ₂)		Aceptabilidad (Y ₃)		Transmitancia (Y ₄)	
	Coef. de Regresión	P	Coef. de Regresión	P	Coef. de Regresión	P	Coef. de Regresión	P
Intercepto	2.2x10 ¹⁴	3.3x10 ⁻³	1.8x10 ¹³	2.9x10 ⁻³	-1.3	5.6x10 ⁻¹	-1.4x10 ⁻¹	4.0x10 ⁻²
(1)Temperatura(L)	-6.9x10 ¹²	8.8x10 ⁻³	-3.4x10 ¹¹	4.7x10 ⁻²	3.5x10 ⁻¹	8.2x10 ⁻³	8.9x10 ⁻³	7.2x10 ⁻³
Temperatura(Q)	7.9x10 ¹⁰	9.3x10 ⁻³	1.5x10 ⁹	3.6x10 ⁻¹	-4.9x10 ⁻³	3.6x10 ⁻³	-1.0x10 ⁻⁴	7.2x10 ⁻³
(2)Vacío(L)	2.8x10 ¹⁴	1.0x10 ⁻³	1.3x10 ¹³	6.6x10 ⁻²	-4.4	2.6x10 ⁻¹	-1.2x10 ⁻¹	2.2x10 ⁻³
Vacío(Q)	2.5x10 ¹⁴	3.8x10 ⁻³	3.1x10 ¹²	4.5x10 ⁻¹	-4.0	1.6x10 ⁻¹	1.8x10 ⁻²	7.8x10 ⁻¹
1L by 2L	-2.3x10 ¹¹	8.6x10 ⁻³	-1.5x10 ¹¹	1.6x10 ⁻¹	-1.1x10 ⁻²	8.7x10 ⁻¹	2.9x10 ⁻³	2.3x10 ⁻¹

Para la transmitancia se consideró la Temperatura (L) y la interacción entre la presión aplicada y la temperatura del proceso. De este modo los modelos matemáticos obtenidos fueron:

$$Y_1 = 2.24 \times 10^{14} + 6.90 \times 10^{12} \alpha + 7.89 \times 10^{10} \alpha^2 - 2.76 \times 10^{14} \beta + 2.49 \times 10^{14} \beta^2 + 2.28 \times 10^{11} \alpha \beta \quad (\text{ec. 1})$$

$$Y_2 = 1.78 \times 10^{13} - 3.37 \times 10^{11} \alpha - 1.51 \times 10^9 \alpha^2 - 1.26 \times 10^{13} \beta + 3.10 \times 10^{12} \beta^2 - 1.54 \times 10^{11} \alpha \beta \quad (\text{ec. 2})$$

$$Y_3 = -1.31 + 3.49 \times 10^{-1} \alpha + 4.90 \times 10^{-3} \alpha^2 - 4.35 \beta - 4.02 \beta^2 - 1.06 \times 10^{-2} \alpha \beta \quad (\text{ec. 3})$$

$$Y_4 = -1.44 \times 10^{-1} + 8.95 \times 10^{-3} \alpha + 1.04 \times 10^{-4} \alpha^2 - 1.21 \times 10^{-1} \beta + 1.82 \times 10^{-2} \beta^2 + 2.95 \times 10^{-3} \alpha \beta \quad (\text{ec. 4})$$

Donde:

α : Temperatura de la muestra (°C)

β : Presión de vacío aplicada en el proceso (bar)

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para el modelo de las variables dependientes

Variables	Fuente	GL	MSS	Fcal	Ftab	GL
Resistencia de la torta	Regresión	1.42x10 ²⁷	5	1.42x10 ²⁷	54.849	5.0503
	residuos	1.296E+26	5	2.59x10 ²⁵		
	total	1.55x10 ²⁷	10			
Resistencia del medio filtrante	Regresión	2.16x10 ²⁵	5	2.16x10 ²⁵	138.602	5.0503
	residuos	7.79x10 ²³	5	1.56x10 ²³		
	total	2.24x10 ²⁵	10			
Aceptabilidad	Regresión	3.365262	5	3.3652625	52.8306	5.0503
	residuos	0.318496	5	0.0636992		
	total	3.683758	10			
Transmitancia	Regresión	0.00167200	5	0.0016720	42.3223	5.0503
	residuos	0.00019753	5	0.0000395		
	total	0.00186953	10			

En la Tabla 5, se muestra el ANOVA para el modelo de variables dependientes, de donde se observa que los valores del F calculado son al menos once veces mayor que los valores tabulados, por lo que se puede afirmar que la prueba es altamente significativa, lo que no sucedió en el caso del sabor, ya que, como se dijo anteriormente, esta prueba fue muy subjetiva al no haber contado con un panel entrenado.

En la Figura 5, se observa que entre las temperaturas de 35°C a 52.5°C con una presión de vacío de -0.4 bar a -0.7 bar en la filtración del jugo de kiwi a concentración constante se presentó una tendencia a una baja resistencia de la torta. Lo cual coincide Earle (1988), quien señala que muestras a temperaturas elevadas poseen una menor viscosidad y por tanto un mejor paso a través del medio filtrante; así mismo la resistencia específica varía con la caída de presión producida a medida que ésta se deposita, esto se explica porque la torta se va haciendo más densa a medida que la presión se hace mayor y dispone por ello de menos pasadizos con un tamaño menor para que pase el flujo, aumentando el tiempo de filtración. Este fenómeno fue perceptible conforme la muestra disminuía en su temperatura inicial, y

por tanto aumentaba su viscosidad y la aglomeración de sólidos en la torta.

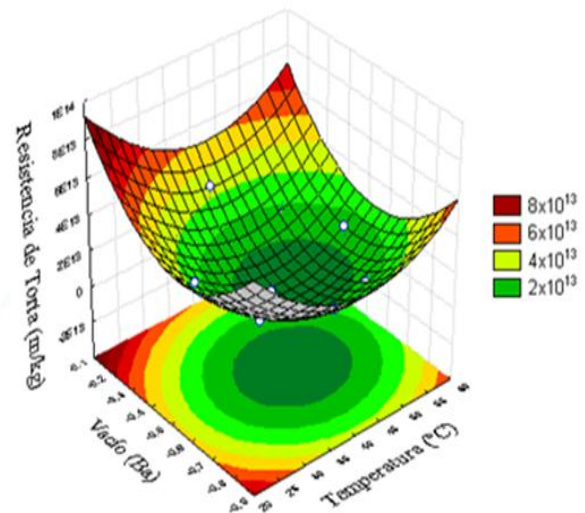


Figura 5. Superficie de respuesta para la resistencia de la torta durante la filtración al vacío de jugo de kiwi en función de la temperatura y la presión.

En la Figura 6 se observa que a una temperatura de 58°C a 60°C con una presión de vacío de -0.4 bar a -0.7 bar en la filtración de jugo de kiwi a concentración constante presentó una tendencia a una baja resistencia del medio filtrante. Conforme aumenta la temperatura inicial de la muestra y el vacío aplicado en el sistema. Lo que coincide (Warren *et al.*, 1991), quien señala que la resistencia del medio filtrante depende de la naturaleza del

filtro, así, un filtro constituido principalmente por celulosa y amilasa como él usado en el experimento es influenciado por la temperatura inicial de la muestra, en su estructura y resistividad.

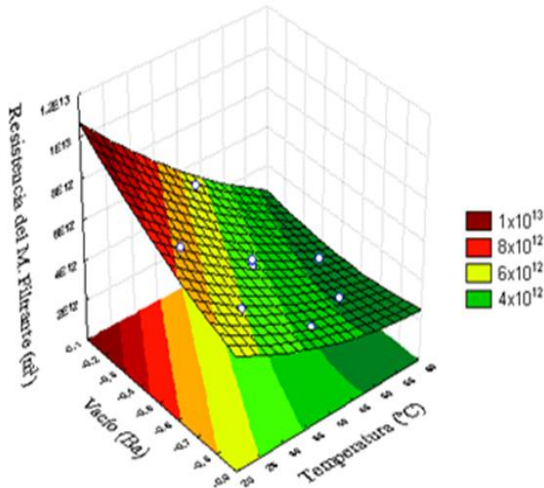


Figura 6. Superficie de respuesta para la resistencia del medio filtrante durante la filtración al vacío de jugo de kiwi en función la temperatura y la presión.

Así mismo, Maldonado (2000), señala que el tipo de filtro a usar depende de la calidad de filtración que se desea obtener, señalando al papel filtro como el más aceptable para procesos de clarificación con muestras de bajo volumen.

Las Figura 7 muestra que en cualquier valor de concentración de la solución que se encuentre en el rango de 30°C a 42°C y una presión de vacío de -0.4 bar a -0.7 bar en el proceso, presenta una mayor preferencia en el sabor. Si bien es cierto, el sabor es el parámetro más importante que determina la aceptación que tendrá un producto alimenticio; sin embargo, este es muy subjetivo y depende de la cantidad de personas del panel sensorial y si están entrenados o no.

Para esta evaluación no se contó con un panel entrenado. Otro factor que otorgó una mayor aceptabilidad por parte del panel fue la estandarización a 12°Brix

de todas las muestras y el proceso de pasteurización a la que fue sometido por un periodo de 10 min a 85°C.

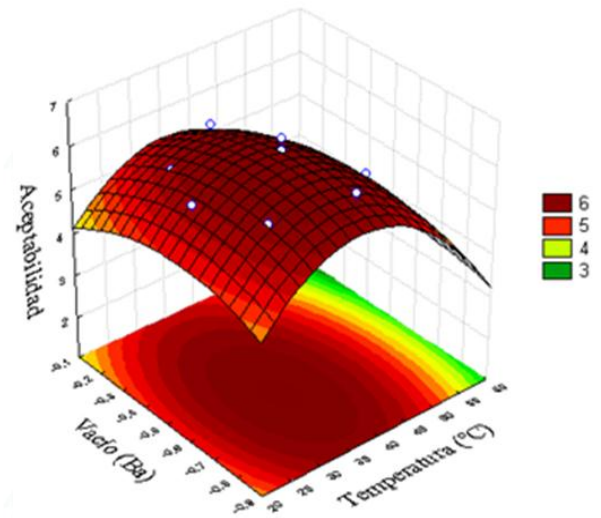


Figura 7. Superficie de respuesta para la aceptabilidad durante la filtración al vacío de jugo de kiwi en función la temperatura y la presión.

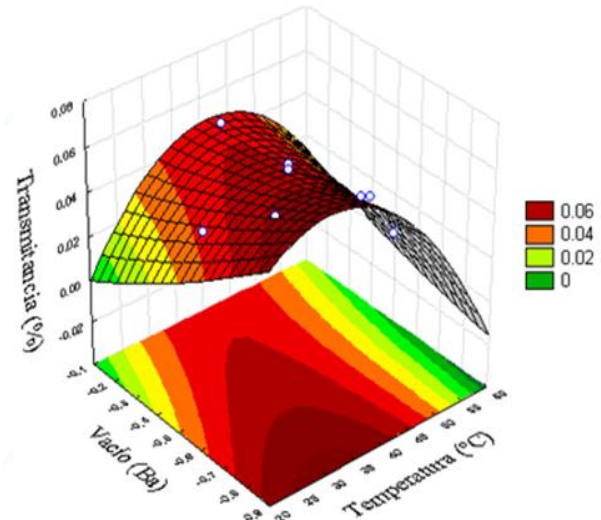


Figura 8. Superficie de respuesta para la transmitancia luego de concluida la filtración al vacío de jugo de kiwi en función la temperatura y la presión.

En la Figura 8 se aprecia que entre las temperaturas de 25°C a 37.5°C bajo presiones de vacío de -0.8 bar o mayor en el proceso muestran una transmitancia aceptable para el jugo. Eso da una noción de la turbidez del

jugo, puesto que a mayor cantidad de luz retenida en el jugo, mayor presencia de sólidos. Así, la transmitancia de un jugo debe ser 0.05 a 0.08. Sin embargo, no se debe olvidar que en jugos la presencia de sólidos beneficiosos es muy importante para su calidad tanto físicoquímica como sensorial, debido a los compuestos propios de la fruta. Por tanto, para jugos comerciales se requiere una transmitancia no menor de 0.07.

4. Conclusiones

Se encontró que a las presiones comprendidas entre -0.4 bar a -0.7 bar y a Temperaturas de 35°C a 53°C, se obtuvo una menor resistencia de la torta.

A la mayor temperatura (55°C) y presión (-0.8 bar), se obtuvo la menor resistencia del medio filtrante.

A temperaturas entre 30°C y 42°C y presiones de vacío de -0.4 bar a -0.7 bar se presentó la mayor aceptabilidad general.

A temperaturas entre 25°C y 37.5°C y a la mayor presión (-0.8 bar) se presentó una mayor transmitancia.

5. Referencias Bibliográficas

Aranceta, J. 2006. Frutas Verduras y salud. Edición N°3. Editorial Masson S.A Barcelona España.

Burdon, J.; McLeod, D.; Lallu, N.; Gamble, J.; Petley, M.; Gunson, A. 2004. Evaluación del consumidor.

Castro, B. y Gerla, P. 2005. Por membrana y ultrafiltración de suero de queso: Resistencias reducidas al mínimo. Manual de Ingeniería de Alimentos.

Camacho, O. 1994. Conferencia sobre Obtención y conservación de Néctares de Frutas. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Cheryan, M. 1998. Manual de Microfiltración y Ultrafiltración. Contenido de materia seca de kiwi de diferentes cosechas. Biología y Tecnología de Postcosecha.

Crisosto, C. H.; Crisosto, G. M. 2001. Understanding consumer acceptance de precosecha "Hayward" kiwifruit. Biología y Tecnología de Postcosecha.

Earle, R.L. 1988. Unit Operations in Food Processing. 2ª Ed. Pergamon Press. Oxford.

Espinel, J. 2000. Néctares de frutas. Edición N°1. Editorial Miraflores Perú.

Hernández, A. 2010. Tratado de nutrición. Edición N°2. Editorial medica panamericana.

Maldonado, V. 2000. Filtración. Consultado el 21 de agosto de 2009, página web de la biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, disponible en: <http://www.cepis.ops.oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoII/nueve.pdf>.

Mc Cabe, W; Smith, J; Harriott ,P. 1991. Operaciones unitarias en ingeniería química. Cuarta edición. McGraw-Hill. España.

Pincay, G. 2011. Descripción del proceso de elaboración de néctar de kiwi. Guayaquil. Ecuador.

Sánchez, M.T. 2003. Proceso de elaboración de alimentos y bebidas. Edición N°1. Editorial Mundi-Prensa. Páginas 54-58-69-102-122-204

Warren L., Julian C., Peter Harriott. 1991. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química". Cuarta edición. España-Madrid.