

Viscosidad cinemática y turbidez optimizadas en jugo mixto de "poro poro" y "caña de azúcar"

Kinematics viscosity and turbidity optimized in "poro poro" and "sugar cane" mixed juice

MENDÍVEZ VÁSQUEZ, Claudia¹; MINCHÓN MEDINA, Carlos².

RESUMEN

El objetivo del estudio fue optimizar la viscosidad cinemática y turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar por efecto de la concentración de biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación en el proceso de clarificación enzimática. Mediante computadora se obtuvo un diseño central compuesto de segundo orden, con tres factores y dos respuestas, y un total de 17 corridas. Se empleó la metodología de superficies de respuesta: estimación de ecuaciones, análisis de varianza, prueba de no falta de ajuste y análisis canónico, usando Statistica 7. La multirespuesta fue analizada con funciones de deseabilidad en Minitab 15. Las superficies de respuestas estimadas presentaron R^2 de 96,3 y 87,5% para la viscosidad y turbidez, respectivamente. Se recomienda procesar el jugo mixto a una concentración de Biopectinasa L de 52,4481 ppm e incubarse con tiempo de 86,2727 minutos y temperatura de 42,2061°C, para obtener aproximadamente 1,2 CST de viscosidad y 230,5 UJT de turbidez.

Palabras clave: Jugo mixto, viscosidad, turbidez, optimización

ABSTRACT

The objective of this study was to optimize the kinematics viscosity and turbidity in "poro poro" and sugar cane mixed juice by effect of biopectinase L concentration, time and temperature of incubation in the enzymatic clarification process. By computer was obtained a central composite design of second order, with three factors and two responses, and a total of 17 runs. We used the methodology of response surfaces: estimating equations, analysis of variance, no lack of fit and canonical analysis, using Statistica 7. The multi-response was analyzed using desirability functions in Minitab 15. The estimated response surface had R^2 of 96,3 and 87,5% for the viscosity and turbidity, respectively. It is recommended to process the mixed juice to a concentration of biopectinase L 52,4481 ppm and time of 86,2727 minutes and temperature of 42,2061 °C of incubation to obtain about 1,2 CST viscosity and UJT 230,5 turbidity.

Key words: Mixed juice, viscosity, turbidity, optimization

¹ Ingeniero en Industrias Alimentarias, egresada de la Universidad Privada Antenor Orrego, ceci_lia_2003@hotmail.com

² MSc Ciencias, docente de la Universidad Nacional de Trujillo, cminchonm@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El consumo de jugos y néctares de frutas se ha incrementado en el mundo debido a las recomendaciones para una mejor nutrición y una alimentación más saludable, representando un importante segmento de la industria de bebidas¹. Los jugos de frutas tienen un gran potencial en el mercado de los productos alimenticios debido al incremento del consumo de bebidas que proporcionan vitaminas y minerales², entendiéndose por jugo (zumo) de fruta al líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha³.

En el mundo existe una gran variedad de frutas utilizadas para elaborar jugos y néctares, basta con revisar el CODEX STAN 247³, siendo varios los factores que influyen en las preferencias de los consumidores, derivada enteramente sobre las bases de la percepción sensorial, considerándose en primer lugar las características de apariencia con inclusión del color, forma, tamaño, integridad, transparencia u opacidad, brillo, y viscosidad o consistencia⁴. Por ello, los procesos de elaboración de jugos deben mantener sus características físicas, químicas y nutricionales esenciales, con color, aroma y sabor característicos de las frutas de las que provienen³. De acuerdo a la norma técnica peruana para jugos, néctares y bebidas de fruta, los jugos (zumos) de frutas deben contener una cantidad de sólidos solubles (° Brix) entre 12 y 18%, un pH entre 3,4 y 4,0 y una acidez titulable (expresada en ácido cítrico anhidro g/100 cm³) entre 0,4 y 0,6⁵.

Un jugo de un solo tipo es el que se obtienen de un solo tipo de fruta, conociéndose estudios sobre elaboración de jugos a base de plátano^{6,7}, zapote⁸ y carambola⁹, así como maracuyá¹⁰ y plátano¹¹. La elaboración de jugos en nuestro país, donde la producción de frutales es considerable y diversificada, como consecuencia de los factores climáticos y geográficos, constituyendo su industrialización una alternativa para el deficiente transporte hacia los mercados de consumo².

Un jugo mixto es el que se obtiene mezclando dos o más jugos, o jugos y purés de diferentes tipos de frutas³. Los jugos naturales mixtos de frutas y vegetales son particularmente útiles, cada fruta y vegetal trae su propio complemento de minerales, elementos menores, vitaminas, y enzimas. La mezcla de frutas y vegetales no sólo se realiza en jugos sino en néctares. A diferencia de los jugos, los néctares de frutas se elaboran añadiendo agua a los jugos de frutas o una mezcla de ellos, con o sin adición de azúcares y/o jarabes y/o edulcorantes.

La *Passiflora tripartita*, poiret variedad Mollísima, conocido como "poro poro" o "tumbo serrano", es un fruto fragancioso y extraordinariamente rico en niacina y caroteno que crece en la sierra de La

Libertad, rico en vitaminas A, D, E y K, así como en vitamina C, conteniendo aproximadamente 61,71 mg. % del fruto y 33,64 mg% de fósforo¹². El poro poro es un producto con gran valor actual comercial o potencial al que se pretende encontrarle nuevos usos¹³. El jugo de caña, contiene hasta un 46% de azúcar, se emplea en la elaboración de jugos porque es una de las sustancias más nutritivas que existe¹⁴. Un néctar mixto a base de jugo de caña de azúcar y extracto de poro poro fue elaborado para que actúe como agente vitamínico potente y la absorción de esta vitamina sea mayor a la de un néctar convencional, habiéndose evaluado parámetros fisicoquímicos, micro lógicos y sensoriales teniendo mayor aceptación su elaboración a una temperatura de 95°C y 10 minutos de pasteurización².

Cuando se trata de la calidad de jugos de frutas, los criterios de calidad son la viscosidad y color, aroma y sabor natural, y en algunos casos amargor, así como los parámetros químicos⁴. Los jugos de frutas extraídos son generalmente turbios, debido a las partículas de plantas que son insolubles en agua y macrocélulas coloides, las cuales dependiendo del producto terminado deben ser totalmente eliminadas para evitar la adicional turbidez y la precipitación y para mejorar los atributos sensoriales (sabor, olor y color)¹. El enturbiamiento es originado por la presencia de pectina y agentes enturbiantes, por lo que es necesario una clarificación¹⁵.

La clarificación de jugo puede ser realizado por métodos fisicoquímicos, procedimientos mecánicos (como la centrifugación), y sus combinaciones. Las enzimas pécticas se utilizan en la clarificación de jugos de frutas y vegetales para obtener jugo de alto rendimiento y claros, y la turbidez de jugos de fruta fresca se puede disminuir con el tratamiento de pectinasa debido a la eliminación de los depósitos de la pectina con carga negativa en las partículas, dando como resultado la coagulación de los materiales que causan la turbidez¹.

Hay diversos estudios sobre la optimización del pretratamiento con enzimas para la clarificación de jugos de frutas siendo reportados especialmente para zumos de frutas tropicales, cuyo tratamiento enzimático es influido por factores como la concentración de enzimas, tiempo y temperatura de incubación, los cuales influyen en los mecanismos de acción de la actividad enzimática en el jugo⁴. En estos casos, se emplea la metodología de superficie de respuesta para optimizar el proceso^{7,8,9}, y se puede extender para la elaboración de jugos mixtos.

El objetivo del estudio fue optimizar la viscosidad cinemática y turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar por efecto de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación en el proceso de clarificación enzimática.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación corresponde a un estudio experimental, realizado en el laboratorio de Ciencia de los Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la

Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo y en el Laboratorio de Análisis por Instrumentación de la Facultad de Química de la Universidad Nacional de Trujillo.

Factores y niveles: Se empleó tres factores, cuyos niveles altos y bajos son:

		Alto	Bajo
Concentración de Biopectinasa L (ppm)	X_1	70	30
Tiempo (min)	X_2	100	70
Temperatura (°C)	X_3	50	30

Variables respuesta:

- Viscosidad cinemática (CST)
- Turbidez (UJT)

Diseño experimental:

Superficie de respuesta con diseño compuesto central compuesto de segundo orden, cuyo modelo es como sigue¹⁶:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon$$

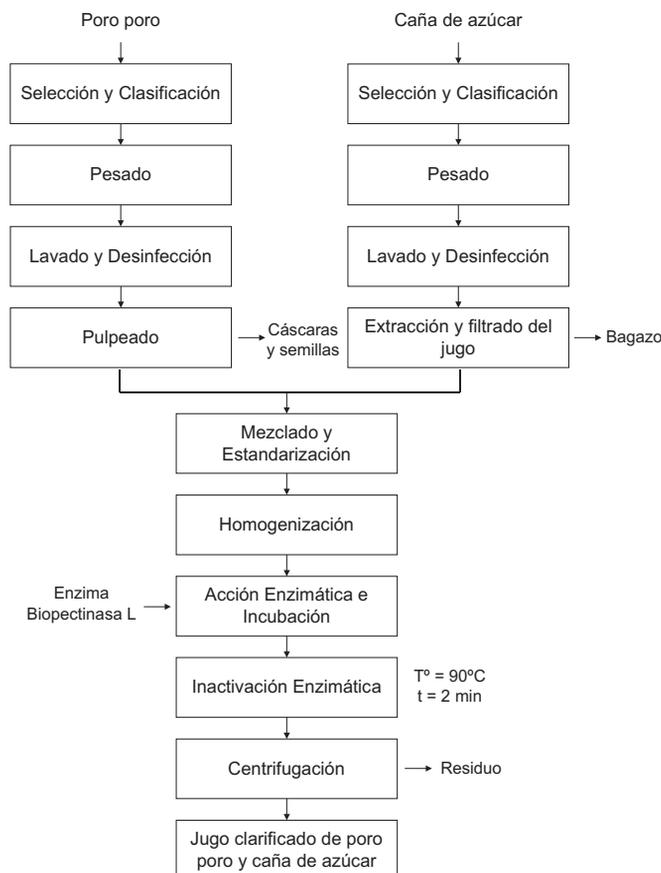
La siguiente composición del diseño fue simulado por computadora utilizando el programa Statistica, versión 7, con la siguiente composición:

Diseño factorial $2^3 + 6$ puntos axiales + 3 puntos centrales

Materia prima e insumos. El poro poro (*Passiflora tripartita*) procede de Chacabamba, Distrito de Usquil, Provincia de Otuzco. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) de Laredo. Se

empleó la enzima pectolítica Biopectinasa L con una actividad pectinasa mínima de 30000 AJDU/g, hidróxido de sodio (0,10N); fenoltaleína al 1% en solución alcohólica, y agua destilada.

Procedimiento experimental del jugo clarificado de poro poro y caña de azúcar:



Equipos e instrumentos de laboratorio:

Viscosímetro capilar, espectrofotómetro molecular, centrífuga, refractómetro, pH-metro, micropipeta digital, estufa, baño maría, balanza electrónica, pulpeadora, molino coloidal, marmita, termómetro digital, pipetas de 10 mL, matraces de 250 mL y cronómetro.

VARIABLES RESPUESTAS

La viscosidad cinemática se midió como el tiempo de flujo del jugo mixto en el viscosímetro capilar Cannon-Fenske con 7 mL, a temperatura constante de 28°C¹⁷. La turbidez, como las absorbancias de las muestras en espectrofotómetro molecular con arreglo de diodos, convertidas a porcentaje de transmitancia y luego transformadas a valores de turbidez (UJT)¹⁸.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos experimentales fueron ingresados en una base de datos en Statistica, versión 7, para estimar las superficies de respuestas y realizar el análisis de varianza. Incluye la prueba de no falta de ajuste. Fueron eliminados los términos que no alcanzaron la significancia estadística al 5%, y se volvió a estimar el modelo. El análisis canónico de la superficie estimada se empleó para determinar los puntos óptimos para la viscosidad cinemática y la turbidez. Las superficies de respuesta fueron graficadas en los puntos óptimos.

Finalmente se realizó un análisis de multirespuesta para determinar el óptimo conjunto de la viscosidad y turbidez, empleando las funciones de deseabilidad en Minitab, versión 15¹⁶.

RESULTADOS**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS**

Las características fisicoquímicas de los componentes y del jugo mixto de poro poro y caña

de azúcar, incluyendo el rendimiento de la pulpa como del jugo, se muestran en la Tabla 1, expresadas en sus respectivas unidades.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar.

Características fisicoquímicas	Fruto del poro poro	Jugo de la caña de azúcar	Jugo mixto de poro poro y caña de azúcar
Rendimiento pulpa/fruta (%)	52,00		
Rendimiento jugo/fruta (%)	36,00		
Índice de madurez	10,50		
Sólidos solubles (° Brix)	12,50	20,00	17,00
Acidez total (% de ácido cítrico)	1,19	0,03	0,43
pH	3,16	5,31	3,50
Viscosidad cinemática (CST)			2,52
Turbidez (UJT)			455,00

DATOS EXPERIMENTALES

Los datos experimentales de los factores, obtenidos a partir de los generados por computadora, como de las variables respuesta

viscosidad cinemática y turbidez del jugo mixto se muestran en la Tabla 2. Las corridas fueron realizadas en el orden aleatorio generado por Statistica.

Tabla 2. Viscosidad cinemática y turbidez en el jugo mixto de poro poro y caña de azúcar clarificado a diferentes concentraciones, tiempo y temperatura.

Ensayo	Concentración (ppm)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (CST)	Turbidez (UJT)
1	30	70	30	1,800	420
2	30	70	50	1,680	312
3	30	100	30	1,800	410
4	30	100	50	1,800	319
5	70	70	30	1,890	355
6	70	70	50	1,725	354
7	70	100	30	1,785	350
8	70	100	50	1,800	302
9	16,4	85	40	1,680	365
10	83,6	85	40	1,725	300
11	50	59,8	40	1,710	385
12	50	110,2	40	1,725	338
13	50	85	23,2	1,725	360
14	50	85	56,8	1,755	322
15	50	85	40	1,245	245
16	50	85	40	1,200	252
17	50	85	40	1,125	210

VISCOSIDAD CINEMÁTICA

El efecto de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación sobre la viscosidad cinemática se muestra en la Tabla 3,

dividida en dos partes: la evaluación de los coeficientes de regresión y el análisis de varianza realizado sobre el efecto de los factores.

Tabla 3. Análisis de superficie de respuesta de la viscosidad cinemática del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar por efecto de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación.

Factor		Coeficiente de regresión	Error estándar	T	P	IC: 95%	
						LI	LS
Intercepto		11,79615	0,74807	15,769	0.004	8,577	15,015
Concentración	(L)	-0,04641	0,00459	-10,116	0.010	-0,066	-0,027
	(Q)	0,00047	0,00005	10,440	0.009	0,000	0,001
Tiempo	(L)	-0,14584	0,01368	-10,658	0.009	-0,205	-0,087
	(Q)	0,00086	0,00008	10,734	0.009	0,001	0,001
Temperatura	(L)	-0,16298	0,01453	-11,213	0.008	-0,226	-0,100
	(Q)	0,00202	0,00018	11,174	0.008	0,001	0,003

Factor		Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Concentración	(L)	0,0028	1	0,0028	0,7629	0,4745
	(Q)	0,4006	1	0,4006	109,0022	0,0090
Tiempo	(L)	0,0010	1	0,0010	0,2645	0,6582
	(Q)	0,4234	1	0,4234	115,2111	0,0086
Temperatura	(L)	0,0035	1	0,0035	0,9602	0,4305
	(Q)	0,4589	1	0,4589	124,8628	0,0079
Falta de ajuste		0,0243	8	0,0030	0,8259	0,6528
Error puro		0,0074	2	0,0037		
Total		0,8461	16			

La superficie de respuesta estimada para la viscosidad cinemática es:

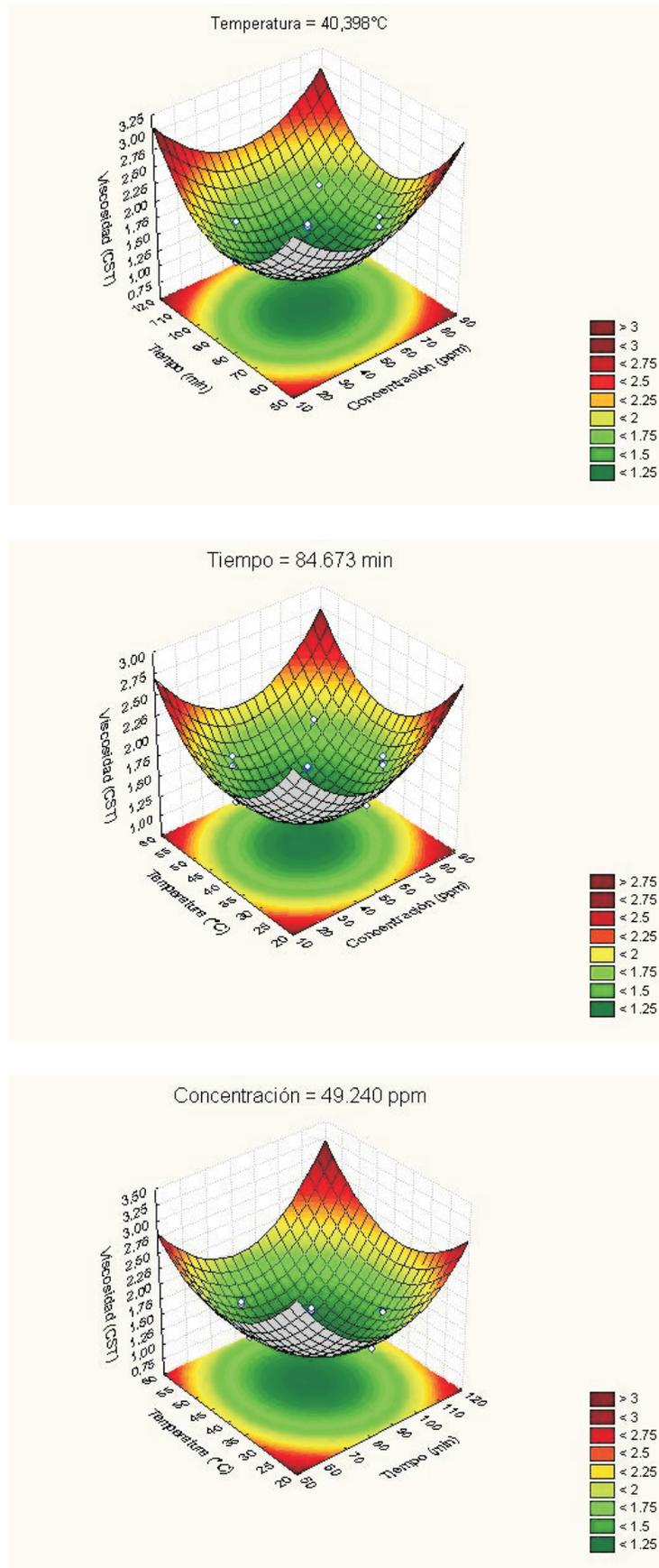
$$\hat{y} = 11,79615 - 0,04641X_1 - 0,14584X_2 - 0,16298X_3 + 0,00047X_1^2 + 0,00086X_2^2 + 0,00202X_3^2$$

Coefficiente de determinación (R^2)= 0,963 Error de estimación = 0,004

La superficie de respuesta no contiene los efectos interactivos de los factores. Explica el 96,3% de la variabilidad de la viscosidad cinemática,

presentando un error de 0,004CST en la estimación, y no presenta evidencia de falta de ajuste.

Figura 1. Superficies de respuesta de la viscosidad cinemática del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar y la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación en las combinaciones óptimas.



Las superficies de respuesta mostradas en el Gráfico 1, corresponden a las superficies de respuestas para dos factores y la viscosidad cinemática, manteniendo constante el factor restante en su valor óptimo. La forma cóncava de la superficie revela que el óptimo corresponde a la viscosidad mínima. A la derecha de cada superficie está la leyenda, los colores verdes indican menor viscosidad y los rojos mayor viscosidad, la intensidad de los colores indican también valores diferentes de viscosidad. Proyectada en el plano bidimensional se tiene el gráfico de contornos. Al

centro se encuentra la viscosidad mínima y los valores óptimos se obtienen proyectándose hacia los ejes. El análisis canónico permite determinar numéricamente los valores óptimos.

TURBIDEZ

El efecto de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación sobre la turbidez se muestra en la Tabla 4, en forma similar se eliminaron las componentes interactivas debido a que no fueron estadísticamente significativos. La superficie estimada fue:

$$\hat{y} = 2674,595 - 9,388X_1 - 34,475X_2 - 32,271X_3 + 0,086X_1^2 + 0,199X_2^2 + 0,375X_3^2$$

Coefficiente de determinación (R^2)= 0,875 Error de estimación = 506,333

El modelo explica el 87,5% de la variabilidad de la turbidez y el error de estimación es de 506,333 UJT. Al igual, que en la viscosidad cinemática, la

superficie de respuesta no presenta evidencia de falta de ajuste.

Tabla 4. Análisis de superficie de respuesta de la turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar por efecto de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación.

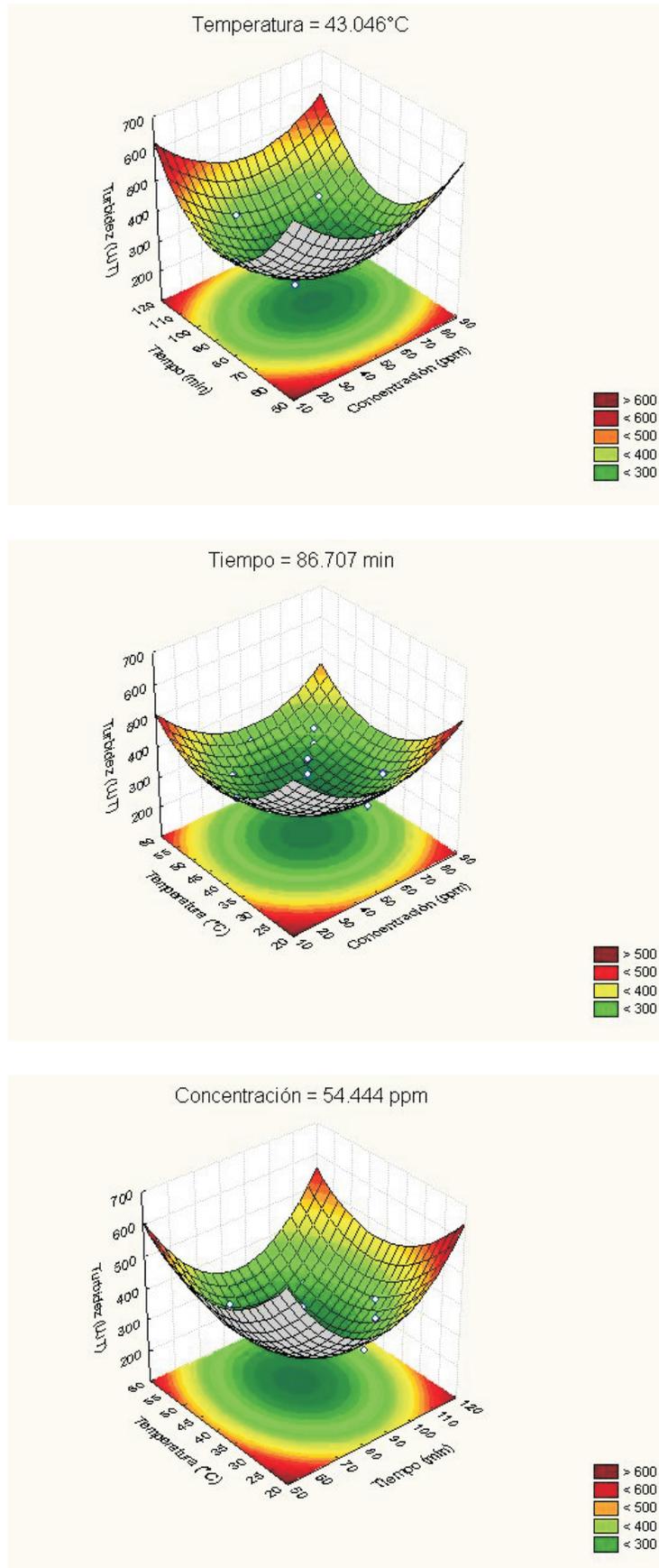
Factor	Coeficiente de regresión	Error estándar	T	p	IC: 95%		
					LI	LS	
Intercepto	2674,595	277,671	9,632	0,011	1479,873	3869,317	
Concentración	(L)	-9,388	1,703	-5,513	0,031	-16,715	-2,061
	(Q)	0,086	0,017	5,146	0,036	0,014	0,158
Tiempo	(L)	-34,475	5,079	-6,788	0,021	-56,328	-12,622
	(Q)	0,199	0,030	6,676	0,022	0,071	0,327
Temperatura	(L)	-32,271	5,395	-5,982	0,027	-55,484	-9,059
	(Q)	0,375	0,067	5,594	0,030	0,087	0,663

Factor		Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Concentración	(L)	3208,166	1	3208,166	6,336	0,128
	(Q)	13408,265	1	13408,265	26,481	0,036
Tiempo	(L)	1415,702	1	1415,702	2,796	0,236
	(Q)	22563,842	1	22563,842	44,563	0,022
Temperatura	(L)	7123,285	1	7123,285	14,068	0,064
	(Q)	15845,547	1	15845,547	31,295	0,030
Falta de ajuste		5385,478	8	673,185	1,330	0,498
Error puro		1012,667	2	506,333		
Total		51209,882	16			

En forma similar a la viscosidad cinemática, la superficie de respuesta revela que el óptimo de la turbidez corresponde a un mínimo. Pero, como veremos, los valores de la concentración de

Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación que minimizan la turbidez no son los mismos que minimizan la viscosidad.

Figura 2. Superficies de respuesta de la turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar y la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación en las combinaciones óptimas.



PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

El análisis canónico realizado en Statistica para determinar la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación que minimizan la viscosidad cinemática y la turbidez, por separado, se proporcionan en la Tabla 5. La viscosidad cinemática mínima estimada es de

1,187 CST, obtenida con la combinación de 49,240 ppm, 84,673 min y 40,398°C. Asimismo, la turbidez mínima estimada es 229,883UJT y se obtiene con 54,444 ppm, 86,707 min y 43,046°C. Las combinaciones de los factores que minimizan la viscosidad cinemática y la turbidez no son las mismas.

Tabla 5. Valores óptimos de viscosidad cinemática y turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar y la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación en las combinaciones óptimas.

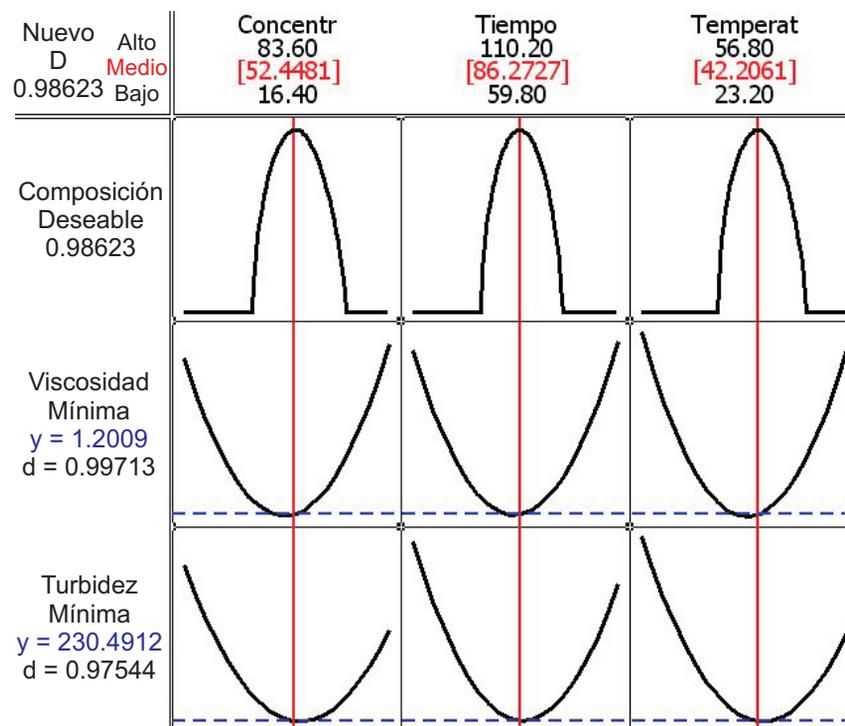
Factor	Viscosidad cinemática (CST)	Turbidez (UJT)
Concentración de Biopectinasa L (ppm)	49,240	54,444
Tiempo (min)	84,673	86,707
Temperatura (°C)	40,398	43,046
Óptimo (mínimo)	1,187	229,883

ANÁLISIS DE MULTIRESPUESTA

Las funciones de deseabilidad reportan que los óptimos para viscosidad cinemática y turbidez se obtienen con una concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación de 52,4481 ppm, 86,2727 min y 42,2061°C, produciendo

mínimos de 1,2009 CST y 230,4912UJT, respectivamente, cifras ligeramente superiores a los mínimos individuales. La deseabilidad en este punto es de 0,98623 sobre un máximo de 1, y las correspondientes a la viscosidad de 0,99713 y a la turbidez de 0,97544.

Figura 3. Funciones de deseabilidad para la viscosidad cinemática y la turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar por efecto de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación.



DISCUSIÓN

El rendimiento de la pulpa en relación al fruto entero fue de 52% y el rendimiento de jugo a partir de la fruta del 36%. El índice de madurez del poro poro fue de 10,50, superior al mostrado en el néctar mixto con caña de azúcar²; como se sabe la

madurez y los índices de madurez son de suma importancia en la transformación de la fruta ya que las características de calidad de los productos en base a fruta dependen de la calidad de la fruta⁴. Los sólidos solubles en poro poro y caña de azúcar

fueron de 12,50 y 20°Brix, respectivamente, promediándose a 17°Brix en el jugo mixto, mayor a lo reportado para diversos jugos de frutas: 0,13-11,50¹ y también a los 8, 15 y 13°Brix obtenidos en la elaboración del néctar mixto con estos productos². La acidez total, fue de 1,19 y 0,03%, respectivamente, con un promedio en el jugo mixto de 0,43%, inferiores a las cifras correspondientes al néctar con 2,1 y 0,13%, en cada producto por separado, y 1,56% en el néctar mixto². Finalmente, el pH fue respectivamente de 3,16 y 5,31, bajando a 3,5 en el jugo mixto, cuyo valor está dentro del promedio para otros jugos de frutas: 2,43-6,32¹ y muy similar al néctar mixto de estos productos, cuyo pH fue de 3,3². El jugo mixto muestra características de acuerdo a la norma técnica en cuanto a sólidos solubles de 17°Brix (12-18°Brix), pH de 3,5 (3,4-4,0) y acidez total de 4,43% (4-6%)⁵.

El poro poro procede de Chaclapampa (Usquil) y la caña de azúcar de Laredo, siendo del mismo lugar y especie que los empleados en elaborar el néctar mixto, las diferencias mostradas se explican por el alto índice de madurez del poro poro empleado en elaborar el jugo mixto y al tratamiento térmico recibido diferente a la acción enzimática en baños maría aquí empleados.

Antes del tratamiento enzimático con Biopectinasa L, la viscosidad cinemática fue de 2,52 CST y la turbidez de 455 UJT, valores que posteriormente debieran disminuir con el tratamiento. La viscosidad reportada para el jugo mixto es superior a las mostradas por otros jugos de frutas, las que están en el rango: 0,94-1,36 cP¹.

En los jugos de frutas clarificados, la claridad y la uniformidad son dos características importantes, las cuales se logran con la remoción total de todos los sólidos en suspensión. Los sólidos en suspensión son mayormente polisacáridos (pectina, celulosa, hemicelulosa, lignina y almidón), proteínas, taninos, metales y microorganismos⁸.

En relación al efecto de la concentración de enzima, tiempo y temperatura de incubación sobre la viscosidad y turbidez es importante destacar algunas diferencias con los trabajos realizados en plátano, zapote y carambola. En estos trabajos el análisis estadístico se realizó empleando el programa con ECHIP, versión 6. En el presente estudio se utilizó Statistica y Minitab, los cuales evalúan los coeficientes de regresión, realizan el ANVA y calculan R², como con ECHIP. No se incluye la prueba de no falta de ajuste, ni la estimación del modelo con los coeficientes significativos en estos trabajos, por lo que no se evidencia la validez de las superficies de respuesta estimadas.

En relación a la viscosidad cinemática, la concentración de enzima, tiempo y temperatura de incubación mostraron tanto efecto lineal como cuadrático estadísticamente significativo (p<0,05), pero no efecto interactivo (p<0,05), con R²=96,3%. El efecto de estos factores también fue evaluado en la elaboración de otros jugos, como plátano⁷, zapote⁸ y carambola⁹, con algunos

resultados similares.

En el caso del jugo de plátano, sobre la viscosidad los factores tuvieron tanto efecto lineal (p<0,05) como cuadrático (p<0,05), pero efecto interactivo sólo la concentración de enzima con la temperatura (p<0,05), con R²=95,9%⁷. Asimismo, en el jugo de zapote sólo se obtuvo efectos lineales de la concentración (p<0,001) y el tiempo (p<0,05), R²=95,9%, pero con una superficie cóncava⁸. En el jugo de fruta de carambola clarificado con enzima comercial, se encontró únicamente efecto interactivo del tiempo de incubación con la concentración de enzima (p<0,01), y ningún tipo de efecto la temperatura, por ello R² fue 77,9%, pero con superficie cóncava⁹. En relación a estos estudios, el R² obtenido muestra mejores atributos. Los análisis de varianza fueron significativos en todos los casos.

En el presente trabajo es notoria la concavidad de la superficie de respuesta de la viscosidad, como en el caso de la clarificación del plátano, pero no en la clarificación del zapote ni de la carambola. Los valores óptimos de la viscosidad obtenidos por el análisis canónico fueron elaborar el jugo mixto de poro poro y caña de azúcar con la combinación: 49,240 ppm de Biopectinasa L, 84,673 minutos de fermentación a 40,398°C de temperatura, con la cual se obtendrá una viscosidad mínima de 1,187 CST,

La degradación de la pectina por la enzima condujo a una reducción de la capacidad de retención de agua y por lo tanto, el agua libre fue liberada hacia el sistema para reducir aún más la viscosidad^{7,8,9}. El descenso de la viscosidad de los jugos de fruta debido a la hidrólisis enzimática de la pectina ha sido reportado por Urlaub⁸, siendo preferible el jugo con menor viscosidad en la clarificación enzimática de jugo.

La turbidez en los zumos de fruta puede ser positivo o negativo dependiendo de la expectativa de los consumidores, siendo inaceptable para jugos de fruta clarificados, un jugo que tiene una nube inestable o cuya turbidez se considera "lodo"⁸.

También es notoria la concavidad de la superficie de respuesta de turbidez, como en el caso del plátano y del zapote, pero no de la carambola, lo cual asegura la producción de un jugo mixto clarificado. En forma similar que sobre la viscosidad, los factores tuvieron efecto lineal (p<0,05) y cuadrático (p<0,05), pero no interactivo (p>0,05) en la turbidez, con R²=0,875 e igualmente el modelo no muestra falta de ajuste (p=0,498>0,05).

A diferencia de estos resultados, en plátano⁷ y en zapote⁸, encontraron efecto significativo lineal (p<0,001 en ambos casos) y cuadrático (p<0,01 y p<0,001) de la concentración, lineal del tiempo de incubación (p<0,05 y p<0,001) e interactivo de la concentración y el tiempo (p<0,001 en ambos casos), y únicamente en el zapote efectos interactivos de la concentración con la temperatura (p<0,01) y del tiempo con la temperatura (p<0,01); con R²=96,5% y 99,6%, respectivamente. En el caso de la carambola⁹, la

concentración presenta efecto significativo lineal ($p < 0,01$) y cuadrático ($p < 0,05$), el tiempo sólo efecto interactivo con la concentración ($p < 0,01$) y la temperatura únicamente efecto cuadrático ($p < 0,05$), con $R^2 = 88\%$, problemas con la concavidad.

Asimismo, los valores óptimos de la turbidez obtenidos por el análisis canónico fueron elaborar el jugo mixto de poro poro y caña de azúcar con la combinación: 54,444ppm de Biopectinasa L, 86,707 minutos de fermentación a 43,046°C de temperatura, con la cual se obtendrá una turbidez mínima de 229,883 UJT.

Finalmente, los valores óptimos obtenidos por separado para la viscosidad cinemática son diferentes a los óptimos obtenidos para la turbidez. Sin embargo, si el interés es producir un jugo mixto bajo en niveles de viscosidad y turbidez simultáneamente, el proceso de optimización con las funciones de deseabilidad indica un procesamiento con una concentración de 52,4481

ppm, con 86,2727 minutos de incubación a una temperatura de 42,2061°C, para obtener un mínimo de 1,2009 CST en viscosidad y 230,4912 UJT en turbidez. El procedimiento de optimización empleado en las referencias fue la superposición de los gráficos de contornos para todas las respuestas, esto también puede realizarse en Minitab, pero es mejor hacerlo numéricamente.

La metodología de superficie de respuesta se utilizó para optimizar la viscosidad cinemática y turbidez del jugo mixto de poro poro y caña de azúcar por acción de la concentración de Biopectinasa L, tiempo y temperatura de incubación en el proceso de clarificación enzimática, los cuales tienen efecto estadísticamente significativo sobre las respuestas en estudio, debiendo procesarse el jugo mixto con una concentración de Biopectinasa L de 52,4481 ppm e incubarse con un tiempo de 86,2727 minutos con una temperatura de 42,2061°C para obtener los óptimos establecidos.

No fueron encontrados conflictos de interés en este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hui Y. Handbook of fruits and fruit processing. USA: Blackwell Publishing; 2006.
- Cerna R. Efecto del tiempo y temperatura de pasteurización en las características sensoriales y fisicoquímicas del néctar mixto a base de jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y extracto de poro poro (*Passiflora tripartita*). [Tesis título de Ingeniero Agroindustrial]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo; 2008.
- Codex Alimentarius. Norma general de Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas. CODEX: 2005.
- Singhal R, Kulkarni P, Rege D. Handbook of indices of food quality and authenticity. England: Woodhead Publishing Limited; 1997.
- Indecopi. Jugos, néctares y bebidas de fruta. Requisitos. 1ª Edición. Perú: NTP 203.110; 2009
- Floribeth V, Celsa L, Cooke R. A study of the production of clarified banana juice using pectinolytic enzymes. Food Technology 1981; (16): 115-125.
- Lee W, Yusof S, Hamid N, Baharin B. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). Journal of Food Engineering 2005; (73): 55-63.
- Sin H, Yusof S, Abdul N, Rahman R. Optimization of enzymatic clarification of sapodilla juice using response surface methodology. Journal of Food Engineering 2005 (73): 313-319.
- Liew A, Sulaiman N, Aroua M, Megat M Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. Journal of Food Engineering 2007 (81) 2: 65-71.
- Calderón F. Efecto del tiempo-concentración de Biopectinasa CCM en la viscosidad cinemática aparente y transmitancia del jugo de maracuyá (*Passiflora edulis*) clarificado por centrifugación. [Tesis título de Ingeniero en Industrias Alimentarias]. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego; 2004.
- Peláez P, Estrada L. Estudio del tratamiento enzimático y viscosidad de la pulpa de banano tipo Seda (*Musa sp.*) en la obtención de jarabe. [Tesis Magister]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2005.
- Cubas G. Parientes silvestres de las especies nativas utilizadas en la alimentación de poblados norteños. [Tesis título de Ingeniero Agroindustrial]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo; 1998.
- Ferro P, Ruiz M. Apuntes sobre Agrobiodiversidad. Conservación, biotecnología y conocimientos tradicionales. Perú: Lerma Gómez; 2005.
- Velásquez O. Reto Final del Agroazucarero Peruano. [Tesis]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Sociales; 1998.
- Arthey D. Procesado de frutas. Zaragoza; Editorial Acibia; 1997.
- Montgomery D. Design and analysis of experiments. 7th Edition. New Jersey: Wiley, John & Sons, Incorporated; 2008.
- Singh R, Heldman D. Introducción a la Ingeniería de Alimentos. 3th. San Diego: Academic Press; 2003.
- Lind O. Handbook of common methods in Limnology. USA: Kendal; 1974.

Recibido: 28 Febrero 2010 | Aceptado: 10 Mayo 2010