



Uso de biopectinasa y filtración al vacío para la clarificación de una mezcla diluida de pulpa de Sancayo (*Corryocactus brevistylus*) y tuna (*Opuntia ficus-indica*) a diferentes temperaturas.

Evaluation of the use of enzymes and vacuum filtration for clarification of a dilute mixture of pulp Sancayo (*Corryocactus brevistylus*) and pear (*Opuntia ficus-indica*) at different temperatures

Alejandro Arévalo Minchola<sup>a</sup>, Jhonatan García Vásquez<sup>a</sup>, Víctor Armas García<sup>a</sup>, Jorge Oswaldo Rodríguez Ávila<sup>a</sup>, Ricardo Iparraguirre Cortavitarte<sup>a</sup>, Luis Bartolo Rodríguez<sup>a</sup>, Pamela Rodríguez Revoredo<sup>a</sup>

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

Recibido el 02 de Julio del 2012, aceptado el 11 de Agosto del 2012

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la influencia de la temperatura (25°C a 55°C), la presión de vacío (0.2 bar a 0.8 bar) y la concentración de enzima biopectinasa (0g/300mL a 0.2g/300mL), en la resistencia de la torta (m/kg) y la resistencia del medio filtrante (m<sup>-1</sup>), utilizando un diseño compuesto central rotacional (DCCR), resultando en que la concentración de biopectinasa y la temperatura tienen efecto sobre la resistencia de la torta y del Medio Filtrante, además se halló que a partir de una temperatura de 50°C ésta no tuvo influencia sobre la Resistencia de la torta, además la mayor influencia de la temperatura en la resistencia de la torta se obtuvo entre 40°C y 45°C. También se obtuvo que las variables independientes estudiadas no afectan significativamente a la resistencia del medio filtrante.

**Palabras clave:** Sancayo, Tuna, Filtración, biopectinasa

## ABSTRACT

In the present study evaluated the influence of temperature (25 ° C to 55 ° C), vacuum pressure (0.2 bar to 0.8 bar) and the concentration of enzyme biopectinase (0g/300mL to 0.2g/300mL), the resistance of the filtration cake (m / kg) and the resistance of the filter medium, using a central composite design rotational (CCDR), resulting in that the biopectinase concentration and temperature have an effect on the resistance of the cake and the filter medium, also found that from a temperature of 50 ° C it did not influence the resistance of the filtration cake, The biggest influence of temperature on the cake resistance was obtained between 40 ° C and 45 ° C.. Also perceived that the independent variables do not significantly affect the resistance of the filter medium.

**Keywords:** Sancayo, pear, Filtration, Biopectinase

## 1. Introducción

En el Perú, las frutas cactáceas como las tunas y el sancayo tienen escasa utilidad comercial, y su aprovechamiento está limitado al consumo fresco debido a dificultades en el manejo post-cosecha y al desconocimiento de su potencial alimentario.

La pulpa de frutos de cactus puede ser utilizada para la elaboración de jugos.

Estos frutos se procesan porque son alimentos que proveen diversidad de pigmentos y promueven la salud.

Entre los pigmentos de algunas especies, se encuentran las betalainas, que poseen actividad antioxidante la cual en sinergia con otros compuestos como los fenólicos, se incrementa (Azeredo, 2009).

Entre los problemas que se presentan en la elaboración de jugos están la turbidez y la viscosidad (Ribeiro *et al.*, 2010). Flores *et al.* (1995) señala que el problema en la elaboración de jugos de cactus son los sedimentos. La adición de complejos enzimáticos puede mejorar el rendimiento en producción de jugos (Ribeiro *et al.*, 2010). El uso de enzimas para la clarificación de jugos de pulpa de cactus ha sido llevado a cabo exitosamente por Sáenz *et al.* (2006) probando una gran variedad de enzimas de diferente procedencia y obteniendo resultados significativos. El efecto de los procesos de filtración sobre la composición fisicoquímica de jugos de cactus, ha sido investigado para evaluar la influencia de los tratamientos de clarificación sobre el contenido de los principales parámetros (Cassano *et al.*, 2010). También el efecto de la pasteurización de jugo de cactus sobre el color y la estabilidad de las betalainas ha sido evaluado, determinándose que las pérdidas de betalainas y las alteraciones de las características de color fueron mínimas mediante el sistema de alta temperatura con breves periodos de tiempo (HTST).

## 2. Materiales y métodos

### Selección y tratamiento de las materias primas

Se seleccionaron 6 kg de tuna bajo los siguientes criterios: color rojo homogéneo y sin rastros de deterioro. Las tunas fueron originarias del Departamento de La Libertad (Otuzco), y fueron de un mismo lote de cultivo.

Se seleccionaron 6 kg de sancayo bajo los siguientes criterios: madurez de consumo, textura, y sin rastros de deterioro. Los sancayos fueron originarios del Departamento de Ayacucho, y pertenecieron a un mismo lote de cultivo.

Los frutos fueron lavados con agua potable, secados con papel absorbente en el Laboratorio de Biotecnología de los Productos Agroindustriales de la

Universidad Nacional de Trujillo, donde se guardaron a temperatura ambiente por 2 días.

### Análisis de materias primas

A la pulpa de cactus y la pulpa de sancayo se les realizaron análisis de pH con papel pH, grados Brix por refractometría (Padrón y Moreno, 2010). Luego se les determinó el porcentaje de Humedad en base húmeda mediante método de pérdida de peso con estufa

### Preparación de la mezcla de jugos

Las tunas fueron lavadas con agua, cortadas en trozos y despulpados manualmente. Los sancayos fueron cortados por la mitad y fueron despulpados manualmente.

Las pulpas de la tuna y el sancayo se mezclaron en una relación de 1:1 v/v respectivamente y se añadieron 200 mL de agua para completar un volumen de 300mL.

### Enzima utilizada

Se empleó la enzima biopectinasa fabricada por BIOCON ESPAÑOLA S.A. Las condiciones óptimas a la cual trabaja la enzima es de 25°C a 55°C y un pH de 3-5.

### Hidrólisis enzimática de la MJD

Las muestras de jugo diluido (MJD) se colocaron en vasos de precipitación de 1000 mL. Se controló la temperatura de 25°C a 55°C, utilizando un sensor de temperatura. Se dosificó la concentración de la enzima de 0 a 0.2g/300mL según el modelo estadístico utilizado (DCCR). El tiempo de incubado fue de 45 min para todos los tratamientos.

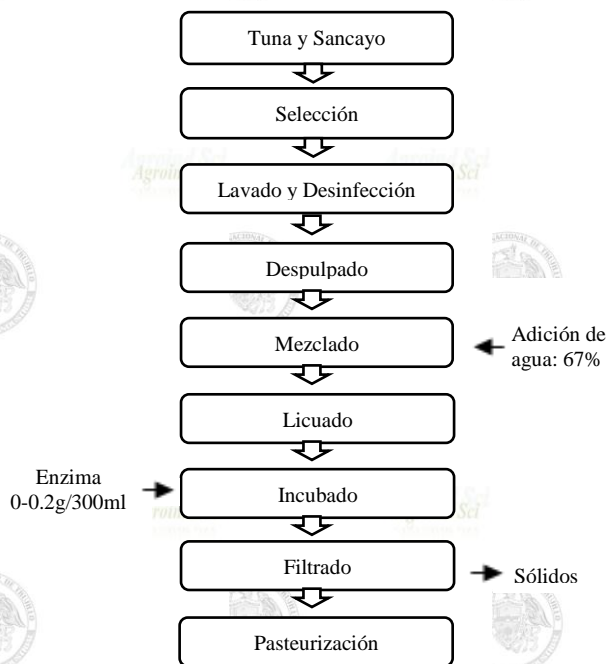
### Pruebas de filtración

Las muestras de Jugo diluido se filtraron por presiones de vacío (0.8 bar a 0.2 bar según el modelo estadístico) en un embudo Buchner empleando un papel filtro Whatman, de 20 a 25  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro (filtración rápida). Se midió el volumen de filtrado a diferentes

intervalos de tiempo y se graficaron en función del tiempo de filtración ( $V=f(t)$ ). Se calcularon las inversas de los flujos de filtrado  $1/F=t/V$  (donde:  $F$ = flujo del filtrado (mL/s);  $V$ =volumen del filtrado (mL) y  $t$ =tiempo de filtración (s)) y se graficaron.

### Pasteurización

Las muestras después de la filtración recibieron un proceso de pasteurización a una temperatura de 65°C por 10 minutos. (Padrón y Moreno, 2010)



**Figura 1.** Diagrama de flujo de la obtención de filtrado de jugo de tuna y sancayo.

### Diseño Estadístico

El diseño estadístico utilizado es el Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR). De tercer orden con resultados en Superficie de Respuesta y superficie de contornos (Herrera y Fermin, 2000). Se realizó un planeamiento factorial completo  $2^k$ , incluido 2.k puntos axiales y cuatro puntos centrales (en este caso  $k=3$  por ser tres variables independientes) totalizando 18 tratamientos.

En la tabla 1 se muestran los niveles de las variables independientes, tiempo y temperatura.

## 3. Resultados y discusión

### Caracterización de la materia prima

En la tabla 1, se aprecia que la concentración de sólidos solubles en la tuna es de 10,9 °Brix. Padrón y Moreno (2010) encontró una concentración de sólidos solubles de 8,60 °Brix, Luego se midió el pH de la tuna con la cual se trabajó y resultó 4,7. Padrón y Moreno (2010) encontró un pH de 4,7. Como se aprecia en algunas situaciones coincidieron las propiedades y en otras no, debido a las diferencia de características entre las tunas con las que se trabajó y las tunas de referencia.

**Tabla 1.** Caracterización de la tuna y el sancayo

	° Brix	Ph
<b>Tuna</b>	10,9	4,7
<b>Sancayo</b>	2,9	3,05

En la tabla 1 la concentración de solidos solubles en el sancayo fue de 2,9 °Brix. Matos *et al.* (2010) encontró una concentración de solidos solubles de 3,1°Brix

Luego se midió el pH del sancayo con el cual se trabajó y resultó 3,05. Matos *et al.* (2010) encontró un pH de 3,1 con esto podemos ver que se trabajó a condiciones estándar en referencia al sancayo.

### Resistencias de la torta y del medio filtrante

Luego de haber realizado los 18 tratamientos se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 2.

Las figuras 2 y 3 muestran que para temperaturas entre 40°C y 50°C se obtiene una resistencia de la torta de menor valor esto es debido a que la biopectinasa presenta dentro de ese rango de temperatura su actividad enzimática óptima.

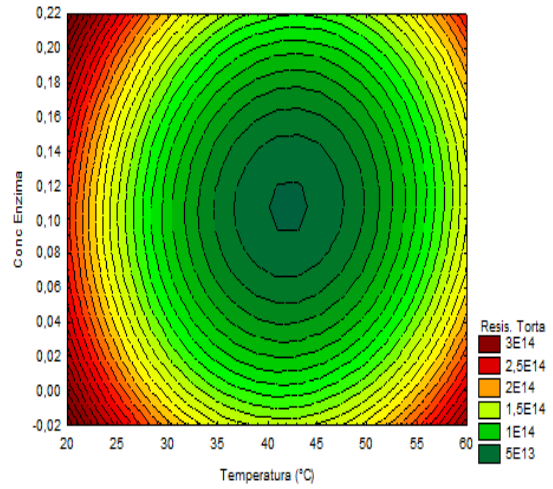
Para obtener un filtrado con mayor rapidez y optimizar el proceso de clarificación de los jugos, se tiene que realizar tratamientos a temperaturas entre

40°C y 43°C y a una concentración de enzima entre 0.09g/300mL y 0.12g/300mL.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos de los 18 tratamientos

Temp. (°C)	Presión de vacío (bar)	Cc. Enzima (g/300mL)	$\alpha$ (m/kg) $\times 10^{-14}$	Rf (1/m) $\times 10^{-12}$
X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
31,0	<b>0,68</b>	<b>0,04</b>	<b>1,25</b>	<b>8,06</b>
31,0	0,68	0,16	1,41	4,03
31,0	0,32	0,04	0,673	1,91
31,0	0,32	0,16	0,667	4,78
48,9	0,68	0,04	0,555	6,04
48,9	0,68	0,16	0,696	10,1
48,9	0,32	0,04	0,638	4,78
48,9	0,32	0,16	0,447	9,55
25,0	0,50	0,10	1,55	3,71
55,0	0,50	0,10	1,37	14,8
40,0	0,80	0,10	0,795	8,32
40,0	0,20	0,10	0,486	5,94
40,0	0,50	0,00	1,52	14,8
40,0	0,50	0,20	1,00	7,42
40,0	0,50	0,10	0,369	2,23
40,0	0,50	0,10	0,348	2,97
40,0	0,50	0,10	0,408	2,97
40,0	0,50	0,10	0,349	0,223

medio filtrante se ajustan en un bajo porcentaje al modelo DCCR.

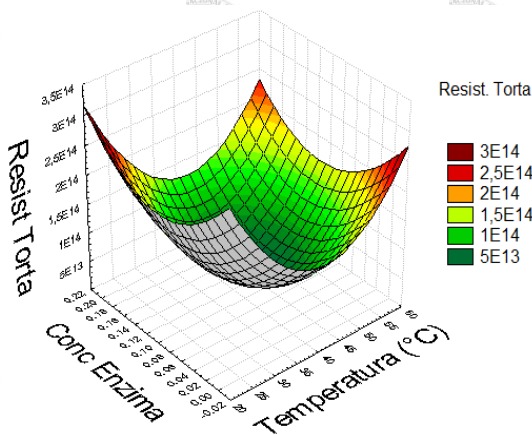


**Figura 3.** Superficie de contornos para la resistencia de la torta.

El número de tratamientos y de variables independientes afectan al valor del **R<sup>2</sup> ajustado** (Morales, 2011). Debido a tener 3 variables independientes y 18 muestras se puede justificar un **R<sup>2</sup> ajustado** bajo.

**Tabla 3.** Coeficientes de regresión para los modelos de ambas variables dependientes.

	$\alpha$ (m/kg)		Rm (m <sup>-1</sup> )	
	Coef. Regr	P	Coef. Regres	P
<b>Intercepto</b>	6E+14	4E-02*	4E+13	2E-01
<b>Temperatura (°C)(L)</b>	-3E+13	2E-02*	-2E+12	2E-01
<b>Temperatura (°C)(Q)</b>	4E+11	5E-03*	2E+10	1E-01
<b>(2)Presión Vacío (bar)(L)</b>	3E+14	4E-01	-7E+12	9E-01
<b>Presión Vacío (bar)(Q)</b>	5E+13	9E-01	3E+13	3E-01
<b>(3)Conc Enzima(L)</b>	-2E+15	2E-01	-2E+14	1E-01
<b>Conc Enzima(Q)</b>	7E+15	2E-02*	7E+14	3E-02*
<b>1L por 2L</b>	-9E+12	2E-01	-3E+11	7E-01
<b>1L por 3L</b>	-5E+12	8E-01	2E+12	3E-01
<b>2L por 3L</b>	6E+14	6E-01	-9E+13	5E-01



**Figura 2.** Superficie de respuesta para la resistencia de la torta.

El valor obtenido de **R<sup>2</sup> ajustado** es de 0.55, el cual indica que nuestro modelo tiene una débil consistencia en explicar el comportamiento de las variables, esto quiere decir que los datos obtenidos de la resistencia de la torta y la resistencia del

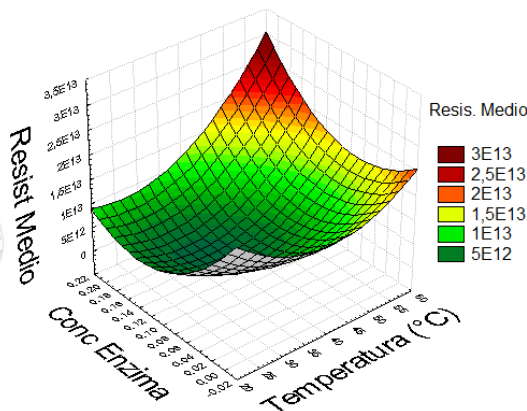
En la figura 4 y 5 se muestran las superficies de respuesta y de contornos respectivamente para la Resistencia del medio Filtrante, se puede observar que tienen un comportamiento parecido que



las figuras 2 y 3; la resistencia del medio Filtrante alcanza un mayor valor a temperaturas altas y concentraciones de enzimas elevadas esto es debido a que su actividad enzimática a esas temperaturas es deficiente, no influye en la disminución de la viscosidad como si lo hace cuando trabaja a temperaturas entre 40°C y 50°C disminuyendo la viscosidad del jugo.

La biopectinasa al ejercer su acción enzimática en el jugo, rompe cadenas de pectinas (BIOCON, 2012). Así reduce el diámetro de sus moléculas, y haciendo más fácil el filtrado mediante los poros del Medio filtrante.

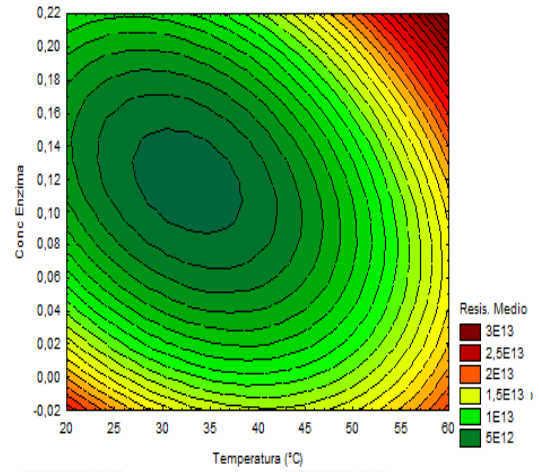
En la figura 4 y 5 se observa que la temperatura optima, es decir, donde se encuentra la menor resistencia del Medio Filtrante es de 30°C a 40°C y concentraciones de Enzima entre 0.8 y 0.14 (g/300mL)



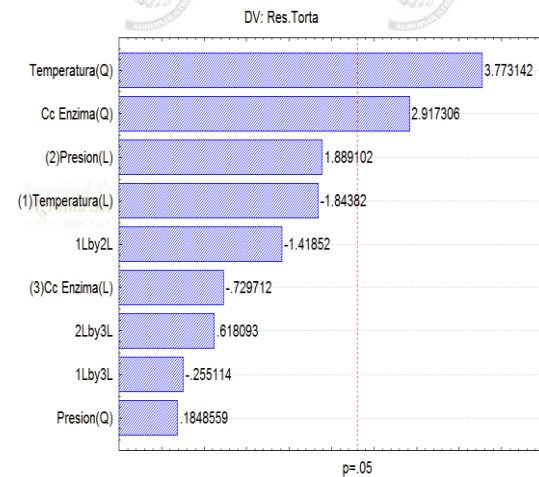
**Figura 4.** Superficie de respuesta para la resistencia del medio filtrante.

La tabla 3 muestra los coeficientes del modelo tanto para resistencia de la torta y la resistencia del medio filtrante. Se aprecia que para la resistencia de la torta ( $\alpha$ ), sólo se consideran los coeficientes de la temperatura lineal y cuadrática y concentración de enzima cuadrática, al igual que el intercepto, eso se debe a que estos ejercen un efecto significativo en las variables dependientes. Para la resistencia del medio filtrante, se tomaría la concentración de la enzima, por ser la

única variable que cumple con tener un valor de p menor a 0.05, lo que indica que tiene un valor de aceptabilidad mayor a 95%.



**Figura 5.** Superficie de contornos para la resistencia del medio filtrante.

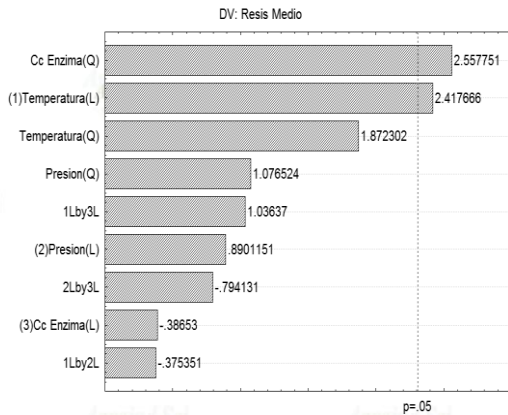


**Figura 6.** Grafica de Pareto para la Resistencia de la torta

Como se observa en la Figura 6 tienen efecto significativo los coeficientes cuadráticos de la Temperatura (3.773) y la concentración de biopectinasa (2.917) para la resistencia de la torta.

Cuando las tortas son incompresibles no se ven afectadas por la diferencia de presión (Coulson y Richardson, 1981). Como se puede observar en la Figura 6. La presión no ejerce efectos significativos sobre la torta esto quiere decir que la torta del Jugo diluido es Incompresible.

Como se observa en la Figura 7 al igual que la Figura 6. La concentración del coeficiente cuadrático de la biopectinasa (2.558) y el coeficiente lineal de la temperatura (2.418) tienen efecto significativo sobre la resistencia del medio filtrante.



**Figura 7.** Grafica de Pareto para la Resistencia del medio

La dependencia que tienen la resistencia de la torta y la resistencia del medio filtrante con la viscosidad es de gran importancia sobre todo si se considera que algunos de los fluidos alimenticios son no newtonianos (Cortázar *et al.*, 2005). Matos y Aguilar (2010) indicaron que la pulpa de tuna es un líquido no newtoniano teniendo un comportamiento pseudoplástico. Es por ello que en la Figura 7 se observa que la temperatura es significativa por ser muy ligada a la viscosidad. También en la Figura 6. Se observa que la concentración de enzimas es significativa debido que al romper los enlaces en la pectina reducen la viscosidad.

**Tabla 4.** Análisis de varianza.

	SS	gl	MS	Fcal	Ftab
Resistencia de la torta (m/kg)					
<b>Regresión</b>	2E+28	9	2E+27	2,0	4,4
<b>Error</b>	7E+27	8	8E+26		
<b>Total SS</b>	3E+28	17			
Resistencia del medio filtrante (m <sup>-1</sup> )					
<b>Regresión</b>	2E+26	9	3E+25	2,0	4,4
<b>Error</b>	9E+25	8	1E+25		
<b>Total SS</b>	3E+26	17			

En la Tabla 4 se muestran los análisis de varianza para ambos modelos, los cuales nos indican que el modelo de la resistencia de la torta y la resistencia del medio no son significativos por tener un valor F calculado menor al tabulado.

El modelo para la resistencia a la torta sería:

$$\alpha = 6 \times 10^{14} - 3 \times 10^{13}(T) + 4 \times 10^{11}(T^2) + 7 \times 10^{15}(C)$$

Dónde:

$\alpha$ : es la resistencia de la torta en m/kg,  
**T**: es la temperatura en °C,  
**C**: es la concentración de enzima en g/300mL.

El cual cuenta con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> de 0,789, el cual nos indica que las variables concentración de enzimas y temperatura, explican en un 78,9% la resistencia de torta. Esto nos dice, que el modelo no alcanza a predecir en un nivel significativo las variables dependientes.

**4. Conclusiones**

Se determinó que la temperatura optima de incubación y que mejor influencia tuvo sobre la resistencia de la torta se encontró entre 40°C y 45°C, por otro lado con respecto a la resistencia del medio filtrante obtuvimos que no presente influencia significativa.

la concentración de biopectinasa desde 0.10g/300ml hasta 0.12g/300ml, afecta positivamente en la disminución de la resistencia de la torta, mientras que en la resistencia del medio filtrante no hubo influencia significativa.

Para obtener mejor influencia con respecto a la resistencia de la torta y con ello obtener menores tiempos de filtrado, se debe tratar el jugo a una temperatura entre 40°C y 45°C y a una concentración entre 0.10 g/300ml y 0.12g/300ml

**5. Referencias Bibliográficas**

Azeredo, H.M.C. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability-a review. International Journal of Food Science and Technology. vol. 44. n°. 12. p. 2365-2376

- BIOCON. 2012. Biopectinasa. Revista informativa. BIOCON ESPAÑOLA S.A. España.
- Cassano, Alfredo; Conidi, Carmela; Drioli, Enrico. 2010. Physicochemical parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice clarified by microfiltration and ultrafiltration processes. *Desalination*. vol. 250. n°. 3. p. 1101- 1104
- Coulson, John; Richardson, John. 1981. *Ingeniería Química Operaciones Básicas*. Tomo II. Editorial Reverte S.A. España.
- Cortázar, Laura; Meléndez, Rosalía; Zambrano, María. 2005. Efecto de la viscosidad durante la filtración de un modelo CMC y ayuda filtro. Tomo I. Libro de artículos en extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Flores, Claudio; De Luna, Juan; Ramírez, Pedro; Corrales, Joel; Ponce, Pedro. 1995. *Mercado Mundial de la Tuna*. Chapingo, México.
- Herrera, Raúl; Fermín, Wilmer. 2000. Comparación Teórica y Práctica del Diseño Factorial con el Diseño de Superficie de Respuesta Compuesto Central Rotable. *Universidad De Oriente, Venezuela*. vol. 12. n° 1. p. 60-65
- Matos, Alfredo; Aguilar, Danny. 2010. Influencia de la Temperatura y Concentración sobre el comportamiento Reológico de la Pulpa de la Tuna (*Opuntia ficus Indica*). *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*. Perú. Vol. 1. n° 1. p. 58-65.
- Matos, Alfredo; Paredes, Julio; González, Luisa. 2010. Determinación de la Capacidad Antioxidante de los Compuestos Fenólicos del Sancayo (*Corryocactus brevistylus*). *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*. Perú. Vol. 1. n° 1. p. 66-71.
- Morales, Pedro. 2011. *Correlación y regresión, simple y múltiple*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- Padrón, Carlos; Moreno, Mario. 2010. Enzimas y Filtración por Gravedad para la Clarificación de una Mezcla Diluida de Pulpa de Frutos de Cactus (*Opuntia boldinghii Britton & Rose*), jugos de naranja y toronja. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, Colombia*. vol. 63. n°. 1. p. 5429- 5439.
- Ribeiro, D.S; Henrique, S.M.B; Oliveira, L.S; Macedo G.A; Fleuri, L.F. 2010. Enzymes in juice processing: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. vol. 45. n° 4. p. 635-641.
- Sáenz, C. H.; Berger, J.; Corrales, L.; Galletti, V.; García, I.; Higuera, C.; Mondragón, A.; Rodríguez, Félix; Sepúlveda, E.; Varnero, M. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*, p. 162-168.