

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
ESCUELA DE AGRONOMIA**

**EFFECTO DEL CATION CALCIO SOBRE LAS CARACTERISTICAS  
REOLOGICAS DE GOMA DE SEMILLA DE ALGARROBO  
(*Prosopis chilensis (Mol.) Stuntz*)**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero Agrónomo.  
Mención: Tecnología de los Alimentos.

**MARIA PAZ CAROLINA LIRA TORO**

**PROFESORES GUIAS**

**Calificaciones**

Sra. Berta Escobar A.  
Profesora de Química y Ciencias Naturales

6,8

Sra. Carmen Sáenz H.  
Químico Farmacéutico, Dr.

6,8

**PROFESORES CONSEJEROS**

Sra. Ana María Estévez A.  
Ingeniero Agrónomo, M.S.

6,9

Sr. Italo Chiffelle G.  
Bioquímico, Dr.

6,2

**COLABORADOR**

Srta. Gipsy Tabilo M..  
Ingeniero en Alimentos, Ph. D.

Santiago, Chile. 2005

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco por la realización de esta memoria a Dios y a mi madre. También el apoyo de mi familia.

Agradezco la ayuda y guía de mis profesores guías, las señoras Carmen Sáenz y Berta Escobar, y a mis profesores consejeros, señora Ana María Estévez y señor Italo Chiffelle, así como la colaboración de la señorita Gipsy Tabilo.

Agradezco de una manera especial la ayuda incondicional y amistad del profesor Ian Homer.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>SUMMARY</b>	2
<b>INTRODUCCION</b>	3
<b>MATERIALES Y METODO</b>	6
Materiales	6
Método	6
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	7
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	8
Caracterización del comportamiento reológico	8
Perfiles de temperatura	10
Elección de una temperatura para determinar el efecto del ión calcio sobre las características reológicas de la goma de algarrobo	18
<b>CONCLUSIONES</b>	23
<b>ANEXOS</b>	
Anexo 1	24
Anexo 2	28
Anexo 3	32
Anexo 4	33
Anexo 5	34
<b>LITERATURA CITADA</b>	35

## RESUMEN

Se estudió la influencia del ión calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) en el comportamiento reológico de dispersiones de goma de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz) proveniente de extracción ácida a concentraciones de 0,4 y 0,6% p/v.

Se analizó el comportamiento reológico en un perfil de temperatura (5, 10, 20, 40, 60 y 80°C) y se determinó que las dispersiones de goma de algarrobo a todas las concentraciones, temperaturas, con o sin adición de calcio se ajustaron al modelo matemático de Herschel-Bulkley con coeficientes de correlación del 0,98 a 0,99, lo cual indica que presenta un flujo no newtoniano del tipo pseudoplástico ( $\tau_0 > 0$ ;  $k > 0$  y  $0 < n < 1$ ).

A los 20°C, para ambas concentraciones en los tratamientos con calcio, existe un quiebre en la tendencia de disminuir el índice de consistencia (K) y aumentar el índice de flujo (n) con el aumento de la temperatura, por lo tanto se eligió esta temperatura para verificar la influencia del ión calcio.

La adición de calcio a la concentración de 0,4% p/v no provoca diferencias significativas en el umbral de fluencia ( $\tau_0$ ), índice de consistencia (K) ni en el índice de flujo (n); en cambio a la concentración de 0,6% p/v el calcio produce un aumento significativo en el umbral de fluencia ( $\tau_0$ ), no así en el índice de consistencia (K) e índice de flujo (n).

El efecto mayor sobre el comportamiento reológico de las dispersiones de goma de algarrobo se debe al aumento de la concentración, lo que incrementa el índice de consistencia (K) ( $p < 0,05$ ) y disminuye el índice de flujo (n), aumentando así la pseudoplasticidad. En cambio, el calcio no afecta de manera significativa estas características reológicas de las dispersiones de goma de algarrobo, a ninguna de las concentraciones estudiadas.

Palabras clave: *Prosopis*, reología, hidrocoloides, fluidos pseudoplásticos.

## SUMMARY

The influence of calcium ion ( $\text{Ca}^{+2}$ ) in the rheological behavior of algarrobo seed gum dispersions (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz) obtained from acid extraction at 0,4 and 0,6% w/v concentration was studied.

It was analyzed the rheological behavior in a temperature profile (5, 10, 20, 40, 60 and 80°C) and it was determined that algarrobo seed gum dispersions at all concentrations, temperatures, with or without calcium addition was adjusted to the mathematical model of Herschel-Bulkley with correlation coefficients of 0,98 to 0,99, which indicates that the dispersions show a non-newtonian flow of pseudoplastic type ( $\tau_0 > 0$ ;  $K > 0$  and  $0 < n < 1$ ).

At 20°C, for both concentrations in treatments with calcium, there exist a break in the tendency to decrease the consistency index (K) and to increase the flow behavior index (n) with the temperature increase, therefore, this temperature was chosen to verify the calcium ion influence.

The calcium addition at 0,4% w/v concentration does not make significative differences in the yield stress ( $\tau_0$ ), consistency index (K) or flow behavior index (n); whereas, at 0,6% w/v concentration calcium made a significative increase in yield stress ( $\tau_0$ ), not affecting the consistency index (K) or flow behavior index (n).

The major effect about the rheological behavior in algarrobo seed gum dispersions it is caused for concentration increase, that enlarges the consistency index (K) ( $p < 0,05$ ) and decrease the flow behavior index (n), increasing the pseudoplasticity. On the other hand, calcium does not affect, in a significant way, this rheological properties of algarrobo seed gum dispersions, at any of the concentrations studied.

Key words: *Prosopis*, rheology, hydrocolloids, pseudoplastic fluids.

## INTRODUCCION

El algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz) es un árbol de amplia distribución en Sudamérica, se encuentra en las zonas áridas cálidas del sur de Bolivia, Argentina y la zona centro-norte de Chile, alejado de la influencia marina. Se caracteriza por ser resistente a la sequía y salinidad, a la alta radiación lumínica y escasa humedad atmosférica. Por otra parte, requiere suelos con buen drenaje. En Chile, existen aproximadamente 26200 ha de este cultivo, siendo la Región Metropolitana la que reúne la mayor cantidad de hectáreas del país (Barros y Wrann, 1992 citados por Fuentes, 1998). El rendimiento de frutos es variable, en Chile se ha estimado entre 10 y 200 kg de frutos por árbol. Perteneció a la familia Fabaceae y al género *Prosopis* y es un árbol espinoso de corteza gris-rojiza y flores de amarillo fuerte dispuestas en largos racimos. Su fruto es una legumbre indehiscente de semillas café-amarillentas de cuyo endosperma se extrae una goma o hidrocoloide (FAO, 1997).

Las gomas o hidrocoloides pueden ser definidos como polisacáridos complejos solubles en agua, que poseen la capacidad de incrementar la viscosidad en solución y/o de formar geles. De uso generalizado en tecnología alimentaria son los galactomananos provenientes de semillas de guar y garrofin, los exudados de goma arábiga y tragacanto, los de algas, carragenanos y alginatos (Fennema, 1993) y el exudado de la bacteria *Xanthomonas campestris*, la goma xantano (Speers y Tung, 1986). Estos agentes se utilizan especialmente para aumentar la viscosidad de soluciones, suspensiones y emulsiones, así como estabilizadores de espumas, cuya fase dispersante sea acuosa (Cheftel *et al.*, 1989).

Al momento de seleccionar una goma para su aplicación, se deben tener en cuenta aquellos factores que afectan su viscosidad tales como: método de extracción, concentración, pH, presencia de cationes, temperatura, así como también, el comportamiento reológico que presenta.

Estévez *et al.* (2004) extrajeron por diversos métodos goma de semilla de algarrobo, obteniendo por extracción con  $H_2SO_4$  (72% p/v) un rendimiento de 17,7% con un 0,19% de ión  $Ca^{+2}$  (% peso seco). La goma extraída con NaOH (0,5% p/v) por Escobar *et al.* (1987), dependiendo de la zona de procedencia de las semillas, presentaron entre 1,3% y 1,4% (g/100 g bms) de fibra cruda. Estudios realizados en otras especies del género *Prosopis*, como son *Prosopis juliflora* y *Prosopis pallida*, determinaron la presencia en el endosperma, el cual corresponde a la goma, de pequeñas cantidades de sustancias pécticas, así como también de otros monosacáridos como arabinosa y xilosa (Cruz, 1999). Sin embargo el polisacárido es neutro y no contiene ácidos urónicos y proteínas (Presle *et al.*, 2003).

Se encontró que el polisacárido de semilla de algarrobo está formado por manosa y galactosa, en la relación 7:5. En base a los análisis de los espectros de RMN mono- y bidimensionales se puede indicar que son galactomananos constituidos por una cadena de manosa con uniones  $\beta(1-4)$ , parcialmente sustituida en la posición 6 por residuos  $\alpha$ -D-galactopiranosilos (Presle *et al.*, 2003). Similar resultado obtuvieron Frez *et al.* (1999) en goma obtenida por método alcalino húmedo, en que a través de cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masa encontraron una proporción manosa:galactosa para la goma purificada de algarrobo entre 6:5 y 8:5 de acuerdo al lugar de procedencia de las semillas.

La goma de algarrobo se dispersa formando dispersiones estables y con propiedades viscosantes intermedias entre la goma guar y garrofin (Frez *et al.*, 1999), aún en concentraciones inferiores al 1% (Espinoza, 2002).

La viscosidad de la goma de semilla de algarrobo depende de varios factores, tales como el tipo de extracción, pues al extraer la goma con ácido sulfúrico se obtienen mayores valores de viscosidad en las dispersiones, lo que se debería a la formación de puentes de hidrógeno entre las moléculas. Como es de esperar la viscosidad de las dispersiones de goma de semilla de algarrobo se incrementa al aumentar la concentración debido a una mayor presencia de soluto en la dispersión. Se ha observado que no existen diferencias significativas en los valores de viscosidad al variar los valores de pH entre los rangos de 3,0 y 5,0; lo que indicaría un comportamiento no-iónico de la goma (Espinoza, 2002). El ión sodio no afecta significativamente la viscosidad, en cambio, el ión calcio presenta variaciones moderadas en la viscosidad a las concentraciones de 15, 123 y 246 mg/100mL de  $\text{Ca}^{+2}$ , excepto en la concentración 69 mg/100 mL en que aumenta significativamente debido a la posible presencia de grupos carboxílicos en la goma con carga negativa al pH de la solución (pH 6), permitiendo la formación de enlaces salinos con el ión calcio a la concentración ya señalada (Romeo *et al.*, 1989).

En las dispersiones de goma de algarrobo, existe una relación inversa entre viscosidad y temperatura, por lo tanto, la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura independiente del método de extracción de la goma, de la concentración y del pH. Este comportamiento podría deberse a una expansión de la molécula provocada por el aumento de la temperatura. Este factor es importante para escoger el tipo de alimento al cual se incorpora la goma y si el consumo será en caliente o frío (Espinoza, 2002).

En cuanto al comportamiento reológico, según Vásquez *et al.* (1988), para concentraciones iguales o inferiores a 0,20% p/v, el flujo de las dispersiones de goma de algarrobo tiene carácter newtoniano, y para concentraciones superiores, no newtoniano de tipo pseudoplástico, intermedio al presentado por las gomas guar y garrofin lo que indicaría, en principio que, podría utilizarse en reemplazo de éstas. Onogi *et al.* (1966, citado por Krumel y Sarkar, 1975) indicaron que existe una concentración crítica, la cual

refleja el momento en el que se produce en la dispersión, la aparición de una estructura reticular tridimensional, originada por la unión entre las moléculas del polímero. Cuando la concentración es superior a la crítica, el sistema tiene un flujo no-newtoniano, y si es inferior, newtoniano.

Es importante determinar si el calcio altera el comportamiento reológico de las dispersiones de algarrobo debido a que el calcio se encuentra presente tanto en algunos alimentos en los cuales se utilizan las gomas como espesantes o gelificantes (néctares, productos lácteos, entre otros), como en algunos aditivos utilizados en ellos por la industria de alimentos, como es el caso de las pectinas, las cuales presentan calcio en su composición.

### Hipótesis

La adición de calcio modifica el comportamiento de las dispersiones de algarrobo.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta memoria fue:

- Determinar la influencia del ión calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) sobre las características reológicas de dispersiones de goma de algarrobo de distintas concentraciones.

Esta Memoria se desarrolló como parte del Proyecto FONDECYT N° 1010245: “Hidrocoloides de especies de zonas áridas: extracción, caracterización y aplicaciones” y Proyecto Enlace-U. de Chile ENL 04/04.

## MATERIALES Y METODO

### Lugar de trabajo

Esta investigación se realizó en los laboratorios del Departamento de Agroindustria y Enología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile (Campus Antumapu).

### Materiales

#### Materias primas

- Goma de semillas de algarrobo provenientes de la Estación Experimental German Greve (Rinconada de Maipú) de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, extraída con ácido sulfúrico según lo descrito por Estévez *et al.*, (2004).
- CaCl<sub>2</sub> p.a.
- Acido clorhídrico 1N.

### Método

#### Tratamientos

1. Dispersión acuosa de goma de algarrobo de concentración 0,4% p/v procedente de extracción ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72 % p/v) con pH ajustado a 4,0.
  - 1.a. Sin calcio.
  - 1.b. Con 70mg/100mL de ión Ca<sup>+2</sup>.
2. Dispersión acuosa de goma de algarrobo de concentración 0,6% p/v procedente de extracción ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% p/v) con pH ajustado a 4,0.
  - 2.a. Sin calcio.
  - 2.b. Con 70mg/100mL de ión Ca<sup>+2</sup>.

### Preparación de las dispersiones

La goma de semilla de algarrobo se molió en un molino Arthur H. Thomas Co. (Scientific Apparatus, Philadelphia, U.S.A.) con tamiz número 60.

Se prepararon dispersiones acuosas a las concentraciones de 0,4% y 0,6% p/v, adicionando la goma al agua previamente calentada a 50°C. Cada suspensión se mantuvo 1 hora con agitación a dicha temperatura y luego, en el caso de las dispersiones con calcio, la temperatura se bajó a 20°C y se agregaron 70mg/100mL de ión  $\text{Ca}^{+2}$  como  $\text{CaCl}_2$ , agitándose por 5 minutos para lograr su total solubilización. Finalmente se ajustó el pH de las dispersiones a 4,0 con ácido clorhídrico 1N.

### Caracterización reológica

Para determinar las características reológicas se utilizó un reómetro marca Brookfield<sup>TM</sup>, modelo RHEO 2000, provisto de un baño termorregulado, utilizando la aguja CC45. El tiempo de medición fue de 120 segundos, se midieron 12 puntos por cada medición y se partió con gradiente de velocidad (D) de 0 y finalizó en 400  $\text{s}^{-1}$ .

A partir de cada dispersión se obtuvo una curva de flujo donde se graficaron el esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) v/s el gradiente de velocidad (D) de cada dispersión. Cada curva se ajustó al modelo matemático más adecuado y luego se obtuvieron los parámetros reológicos umbral de fluencia ( $\tau_0$ ), índice de consistencia (K) e índice de flujo (n).

Se analizó el comportamiento reológico en un perfil de temperatura a los 5, 10, 20, 40, 60 y 80°C con tres repeticiones para cada tratamiento y se seleccionó la temperatura que entregó un mejor ajuste al comportamiento pseudoplástico. Luego, a la temperatura seleccionada, se realizaron las mediciones con siete repeticiones para cada tratamiento, para determinar el efecto del ión calcio.

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, para cada concentración de goma (0,4% y 0,6% p/v) con dos tratamientos (con  $\text{Ca}^{+2}$  y sin  $\text{Ca}^{+2}$ ) y 7 repeticiones cada uno. La unidad experimental fue 100mL de dispersión de goma.

Los datos obtenidos en las mediciones se manejaron con el Software RHEO 2000, versión 2.6, proporcionado por Brookfield. Este software proporciona curvas de esfuerzo de cizalla v/s gradiente de deformación para cada muestra. Los valores obtenidos para cada una de dichas curvas se promediaron para disponer de una sola función por tratamiento.

Los resultados se analizaron por Análisis de Varianza (ANDEVA) y Test de Rango Múltiple de Duncan al existir diferencias significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Caracterización del comportamiento reológico

Las dispersiones de goma de algarrobo a todas las concentraciones, temperaturas, con o sin adición de calcio se ajustaron al modelo matemático de Herschel-Bulkley (ecc.1) con coeficientes de correlación del 0,98 a 0,99 (Anexo 1), lo que confirma el buen ajuste de los datos experimentales al modelo citado. Por lo tanto, las dispersiones pueden caracterizarse como pseudoplásticas con umbral de fluencia y pueden cuantificarse mediante los valores de las constantes de Herschel-Bulkley las cuales son: umbral de fluencia ( $\tau_0$ ), índice de consistencia (K) e índice de flujo (n). Vásquez *et al.* (1988) al estudiar el comportamiento reológico de goma de algarrobo obtenida por extracción básica, también la caracterizaron como pseudoplástica a concentraciones mayores al 0,20%, aunque con mejor ajuste al modelo de Ostwald-de Waele, lo que puede deberse al diferente método de extracción y a que, como afirma Espinoza (2002), la extracción ácida permite la formación de puentes de hidrógeno entre los monosacáridos constituyentes, lo que le otorgaría mayor viscosidad. A concentraciones menores o iguales a la ya mencionada, caracterizaron el flujo como newtoniano. Al realizar comparaciones con las gomas guar y garrofin, el flujo es no-newtoniano para la primera a partir de las concentraciones de 0,25% y para la segunda a partir del 0,4%. En cambio, Doublier y Launay (1981), al estudiar dichas gomas, las caracterizaron como no-newtonianas a partir de concentraciones del 0,17 y 0,07%, respectivamente. Krumel y Sarkar (1975) al comparar el comportamiento reológico de varias gomas naturales concluyeron que la goma guar muestra mayor viscosidad y pseudoplasticidad, la goma tragacanto muestra un comportamiento reológico similar, pero es menos pseudoplástica y la goma garrofin es también un eficiente viscosante, pero muestra flujo newtoniano al aumentar el gradiente de deformación luego de mostrar un comportamiento pseudoplástico.

A pesar de que en las dispersiones de goma de algarrobo al 0,4% p/v sin calcio, 0,4% p/v con calcio y 0,6% p/v sin calcio los umbrales de fluencia son muy bajos, el buen ajuste al modelo matemático ya citado y los valores de las constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley (ecc.1)  $\tau_0 > 0$ ;  $k > 0$  y  $0 < n < 1$ , permite caracterizarlas como pseudoplásticas con umbral de fluencia (Rha, 1978), al igual que las dispersiones al 0,6% p/v con calcio, las cuales tienen umbrales de fluencia significativamente más altos que los dos primeros tratamientos anteriormente mencionados.

$$\tau = \tau_0 + K * D^n \quad (\text{ecc. 1})$$

Donde:

$\tau$  : esfuerzo de cizalla (Pa)

$\tau_0$  : umbral de fluencia (Pa)

$K$  : índice de consistencia (Pa \* s<sup>n</sup>)

$n$  : índice de flujo (adimensional)

$D$  : gradiente de deformación (s<sup>-1</sup>)

### Perfiles de Temperatura

En el Cuadro 1 se observa que las dispersiones de goma de algarrobo a concentraciones de 0,4% p/v sin calcio, presentan umbrales de fluencia ( $\tau_0$ ) muy bajos, los cuales no presentan diferencias significativas con las dispersiones de goma de algarrobo a concentraciones de 0,4% p/v con calcio y 0,6% p/v sin calcio, que también presentan umbrales de fluencia muy bajos; pero sí presenta diferencia significativa con las dispersiones al 0,6% p/v con calcio, excepto a los 80°C. Las dispersiones de goma de algarrobo a concentraciones de 0,6% p/v sin calcio no presentan umbrales de fluencia ( $\tau_0$ ) más altos que en las dispersiones al 0,4% p/v sin calcio y con calcio, mientras que las dispersiones de goma de algarrobo a concentraciones de 0,6% p/v con calcio presentan umbrales de fluencia ( $\tau_0$ ) mayores que las dispersiones al 0,4% p/v sin calcio a los 5, 10, 20, 40 y 60°C, que las dispersiones al 0,4% p/v con calcio a los 10, 20, 40 y 60°C y que las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio a los 10°C. Puede observarse también, que los valores de los umbrales de fluencia no presentan una tendencia clara a disminuir al aumentar la temperatura.

Cuadro 1. Umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) de las dispersiones de goma de algarrobo (Pa).

Temperatura (°C)	Tratamientos							
	0,4% p/v sin Ca <sup>+2</sup>		0,4% p/v con Ca <sup>+2</sup>		0,6% p/v sin Ca <sup>+2</sup>		0,6% p/v con Ca <sup>+2</sup>	
5	0,48 ±	0,23 aA	1,30 ±	0,36 ab B	2,63 ±	0,90 abA	5,66 ±	4,81 bA
10	0,23 ±	0,18 aA	0,90 ±	0,18 a A	0,87 ±	1,14 a A	6,71 ±	4,52 bA
20	0,17 ±	0,15 aA	0,58 ±	0,69 a A	3,83 ±	2,66 abA	5,58 ±	2,92 bA
40	0,13 ±	0,16 aA	0,67 ±	0,32 a A	1,20 ±	0,76 abA	3,88 ±	2,96 bAB
60	0,21 ±	0,04 aA	0,20 ±	0,18 a A	0,95 ±	1,64 abA	2,01 ±	0,16 b B
80	0,47 ±	0,67 aA	0,48 ±	0,33 a A	1,19 ±	1,44 a A	1,22 ±	1,56 a B

Letras minúsculas diferentes en la misma y letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas para el Test de Duncan ( $p < 0,05$ ).

En cuanto al índice de consistencia (K), se observa en el Cuadro 2 que en el tratamiento todos los tratamientos éste disminuye moderadamente según aumenta la temperatura, aunque no de manera significativa. Las dispersiones con concentraciones de 0,4% p/v con calcio no presentan valores significativamente más altos que las dispersiones a la misma concentración sin calcio. En las dispersiones al 0,6% p/v con calcio tampoco es significativamente más alto que en las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio, excepto a los 5°C, cuyo valor es significativamente menor que el tratamiento sin calcio. En las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio, el índice de consistencia (K) es significativamente mayor que en las dispersiones con concentraciones al 0,4% p/v sin calcio a los 5, 10, 40 y

60°C, y las dispersiones al 0,6% con calcio K no son significativamente mayor que en las dispersiones al 0,4% p/v con calcio. Vásquez *et al.*(1988), en una de las pocas investigaciones conocidas, confirman estos resultados, ya que al estudiar las dispersiones acuosas de goma de algarrobo entre las concentraciones de 0,26 y 1,03% a 23°C aproximados, determinaron que al aumentar la concentración aumenta el índice de consistencia (K), lo cual indica que se vuelven más viscosas. Al comparar dichos resultados con las gomas guar y garrofin, se repite este comportamiento, es decir, el aumento de concentración implica un incremento en la viscosidad para ambas gomas. Estudios realizados en dispersiones de goma de *Prosopis pallida* y *Prosopis juliflora* obtenidas por extracción ácida permiten apreciar que dichas gomas también presentan un comportamiento pseudoplástico, el cual se ajusta de mejor manera al modelo de Ostwald-de Waele, y cuyos índices de consistencia aumentan con la concentración, al igual que en el presente estudio (Cruz, 1999).

Cerda (2004) al estudiar el comportamiento del índice de consistencia del mucílago de nopal, a concentraciones del 0,5 y 0,8%, verificó, al igual que en esta investigación, que disminuye según aumenta la temperatura y que es mayor al aumentar la concentración, lo cual indica que la viscosidad se incrementa con el aumento de concentración y disminuye con el aumento de la temperatura.

Cuadro 2. Índice de Consistencia (K) de las dispersiones de goma de algarrobo (Pas<sup>n</sup>).

Temperatura (°C)	Tratamientos							
	0,4% p/v sin Ca <sup>+2</sup>		0,4% p/v con Ca <sup>+2</sup>		0,6% p/v sin Ca <sup>+2</sup>		0,6% p/v con Ca <sup>+2</sup>	
5	0,21 ±	0,17 aA	0,25 ±	0,03 a A	1,10 ±	0,76 bA	0,54 ±	0,30 a A
10	0,19 ±	0,11 aA	0,21 ±	0,02 a A	1,00 ±	0,60 bA	0,69 ±	0,24 abA
20	0,16 ±	0,12 aA	0,34 ±	0,15 a A	0,50 ±	0,46 a AB	0,51 ±	0,23 a A
40	0,07 ±	0,04 aA	0,12 ±	0,02 abA	0,43 ±	0,16 b B	0,36 ±	0,23 b A
60	0,04 ±	0,02 aA	0,06 ±	0,006 a A	0,49 ±	0,35 bAB	0,35 ±	0,17 abA
80	0,01 ±	0,01 aA	0,01 ±	0,004 a A	0,37 ±	0,40 a B	0,27 ±	0,15 a A

Letras minúsculas diferentes en la misma fila y letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas para el Test de Duncan (p<0,05).

El índice de flujo (n), por su parte, como se puede observar en el Cuadro 3, se incrementa moderadamente al aumentar la temperatura, pero sin alcanzar diferencias significativas. En las dispersiones al 0,4% p/v con calcio no se presentan diferencias significativas en el índice de flujo con respecto a las dispersiones al 0,4% p/v sin calcio. Las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio tampoco presentan diferencias significativas con las dispersiones al 0,6% p/v con calcio. Sin embargo, las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio presentan valores significativamente más bajos que las dispersiones al 0,4% p/v sin calcio a

los 5, 10, 40, 60 y 80°C; y a su vez presenta valores significativamente más bajos que las dispersiones al 0,4% p/v con calcio a los 10, 60 y 80°C; estos valores menores que en las suspensiones al 0,4% p/v sin calcio y que las suspensiones al 0,4% p/v con calcio, indican que a esas temperaturas su comportamiento es más pseudoplástico que dichos tratamientos. En cambio las dispersiones al 0,6% p/v con calcio sus valores son significativamente menores que las dispersiones al 0,4% p/v sin calcio a los 10, 60 y 80°C; y significativamente menores que las dispersiones al 0,4% p/v con calcio a los 10, 60 y 80°C, por lo que las dispersiones al 0,4% p/v con y sin calcio se consideran con comportamiento más cercano al newtoniano que dicho tratamiento a esas temperaturas. El efecto de la concentración sobre el índice de flujo también fue verificado por Vásquez *et al.* (1988), el cual disminuye según aumenta la concentración de las dispersiones de goma de algarrobo, haciendo que a mayor concentración, éstas presenten un comportamiento más pseudoplástico, al igual que las gomas guar y garrofín, las cuales formaron parte del mismo estudio. También determinaron, al analizar la variación del índice de flujo y del índice de consistencia entre las concentraciones de 0,2 y 0,4%, a las que el flujo es pseudoplástico, la consistencia y la pseudoplasticidad de la goma de algarrobo son intermedias entre las de la goma guar y las de la goma garrofín; a concentración del 0,5% el flujo es similar a la goma guar y a concentración cercana al 1% la consistencia es similar a la goma garrofín y la pseudoplasticidad, es intermedia entre las de las gomas guar y garrofín. Cruz (1999) en las otras especies de *Prosopis*, obtuvo valores de índice de flujo mayores al aumentar la concentración y a 0,5% su valor se asemeja al de 0,6% sin calcio del presente estudio.

Cuadro 3. Índice de Flujo (n) de las dispersiones de goma de algarrobo.

Temperatura (°C)	Tratamientos			
	0,4% p/v sin Ca <sup>+2</sup>	0,4% p/v con Ca <sup>+2</sup>	0,6% p/v sin Ca <sup>+2</sup>	0,6% p/v con Ca <sup>+2</sup>
5	0,71 ± 0,08 aA	0,66 ± 0,03 abA	0,52 ± 0,05 bA	0,63 ± 0,12 abA
10	0,71 ± 0,06 aA	0,67 ± 0,01 a A	0,52 ± 0,05 bA	0,54 ± 0,07 bA
20	0,71 ± 0,07 aA	0,58 ± 0,08 a A	0,61 ± 0,10 a A	0,57 ± 0,05 a A
40	0,76 ± 0,05 aA	0,67 ± 0,04 abA	0,57 ± 0,04 bA	0,61 ± 0,14 abA
60	0,82 ± 0,06 aA	0,75 ± 0,001 a A	0,54 ± 0,09 bA	0,57 ± 0,07 bA
80	0,91 ± 0,09 aA	0,92 ± 0,07 a B	0,58 ± 0,18 bA	0,63 ± 0,10 bA

Letras minúsculas diferentes en la misma fila y letras mayúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas para el Test de Duncan ( $p < 0,05$ ).

Cerda (2004) al estudiar el mucílago de nopal a temperaturas entre 5 y 90°C, determinó que a concentraciones de 0,8% las dispersiones mostraron comportamiento pseudoplástico el cual era más acentuado a los 5°C con valor del Índice de flujo de 0,80 y

más cercano al newtoniano a los 90°C con Índice de flujo de 0,93; lo cual indica que dichas dispersiones a pesar de tener mayor concentración que las de algarrobo, presentan menos pseudoplasticidad que estas.

Dos excepciones se evidencian a las tendencias anteriormente citadas. La primera se presenta en las dispersiones al 0,4% p/v con calcio, en que a los 20°C el índice de consistencia (K) es moderadamente mayor, aunque no significativamente, que a todas las demás temperaturas y el índice de flujo es moderadamente menor, pero no en forma significativa, que en el resto de las temperaturas, lo que indica que a esa temperatura las suspensiones son más viscosas y con un comportamiento más pseudoplástico. La otra excepción se presenta en las dispersiones al 0,6% con calcio a los 10°C, ya que a dicha temperatura el índice de consistencia es moderadamente mayor, aunque no de manera significativa, que en el resto de las temperaturas, por lo que las suspensiones son más viscosas y el índice de flujo es moderadamente menor, tampoco de manera significativa, que en el resto de las temperaturas, por lo que se presenta el comportamiento más pseudoplástico que en el resto de las temperaturas. Un comportamiento similar se presenta a los 20°C aunque en menor magnitud. Este quiebre moderado, aunque no es significativo, en la tendencia del comportamiento de la goma de algarrobo a los 10 y 20°C, podría explicarse por la presencia de grupos carboxílicos en la goma de algarrobo, los cuales estarían con carga negativa a los pH estudiados, permitiendo la formación de enlaces salinos con el ión calcio, lo cual aumentaría la viscosidad (Romeo *et al.*, 1989). Matsuhira<sup>1</sup>, por su parte postula que la presencia de ácidos urónicos en las pectinas y hemicelulosa que componen la goma de algarrobo, al pH de la solución y a las temperaturas señaladas la molécula se presentaría más desplegada y permitiría una mejor formación de enlaces entre el ión calcio y los ácidos urónicos aumentando la viscosidad, lo cual se confirma en estudios que revelan que la biodisponibilidad de calcio en el ser humano disminuye por altos consumos de fibra, cuyos ácidos urónicos reaccionan con el calcio e impiden que este último sea absorbido por el intestino delgado y el colon (Anónimo, 2003). Como se debía realizar un nuevo ensayo a una sola temperatura para verificar el efecto del calcio sobre el comportamiento reológico de las dispersiones de goma de algarrobo, se utilizó los 20°C ya que los datos obtenidos en los Cuadros 2 y 3 en los tratamientos con calcio pudieron ser erróneos.

En la Figura 1, 2, 3 y 4 se presentan los reogramas de los distintos tratamientos en los cuales se observa la relación entre el esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) y el gradiente de deformación (D). En todos los reogramas se evidencia el comportamiento pseudoplástico,

---

<sup>1</sup> Betty Matsuhira. Dr. en Química y Biología y Profesora de la Facultad de Química y Biología. Universidad de Santiago de Chile. 2004. Comunicación personal.

ya que en ellos la relación  $\tau/D$  disminuye al aumentar el gradiente de deformación (Durán y Costell,1985).

La Figura 1 muestra comportamientos pseudoplásticos que se acentúan a las temperaturas menores (5, 10 y 20°C), mientras que a las temperaturas mayores (40, 60 y 80°C) se acercan más al comportamiento newtoniano, ya que la relación  $\tau/D$  disminuye en menor magnitud, asemejándose más a una recta, en lugar de a una parábola, lo que ocurre a las temperaturas más bajas. Esto se ve reflejado en el Cuadro 3, donde a los 40, 60 y 80°C los valores del índice de flujo (n) se acerca más a 1. Además, se observa que al aumentar la temperatura los esfuerzos de cizalla ( $\tau$ ) van disminuyendo para un mismo valor de gradiente de deformación (D).

El esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) a los 5°C (Anexo 2) para gradientes de deformación  $D < 41,38 \text{ s}^{-1}$  aumenta rápidamente, para seguir aumentando de manera más constante hasta los  $400 \text{ s}^{-1}$ . Esta situación se repite a los 10 y 20°C para gradientes de deformación  $D < 27,59$ ; sin embargo, este comportamiento no se evidencia a los 40, 60 y 80°C, en que la magnitud del aumento del esfuerzo de cizalla es más constante. Los valores de los esfuerzos de cizalla para todos los gradientes de deformación son más altos y semejantes a los 5, 10 y 20°C, y mucho menores y también semejantes entre sí a los 40, 60 y 80°C.

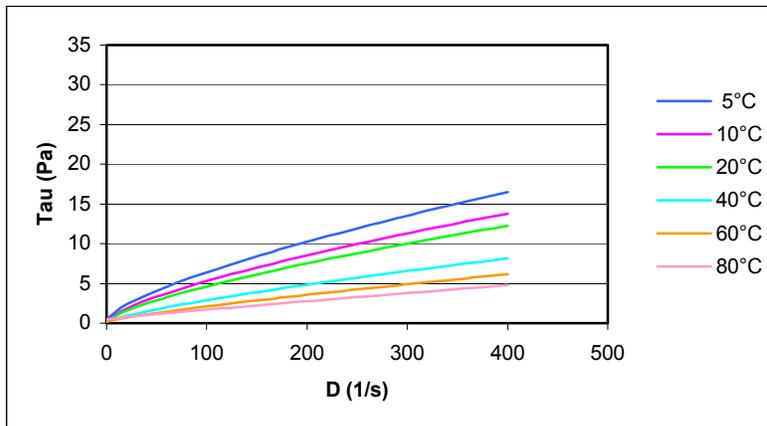


Figura 1. Reograma de dispersiones de goma de algarrobo al 0,4% p/v sin calcio a diferentes temperaturas.

La Figura 2 muestra para dispersiones al 0,4% p/v con calcio, resultados similares a los obtenidos sin calcio, donde también se presenta un comportamiento pseudoplástico el que se acentúa a las temperaturas menores (5, 10 y 20°C), mientras que a las temperaturas mayores (40, 60 y 80°C) se acerca más al comportamiento newtoniano, aunque los esfuerzos de cizalla para todas las temperaturas son notoriamente mayores que las dispersiones a la misma concentración sin calcio (Anexo 2). La magnitud de los aumentos de los esfuerzos de cizalla para los 5, 10 y 20°C es mayor para gradientes de deformación  $D < 68,97 \text{ s}^{-1}$ , y al igual que en el tratamiento anterior, este fenómeno no se repite a las temperaturas mayores.

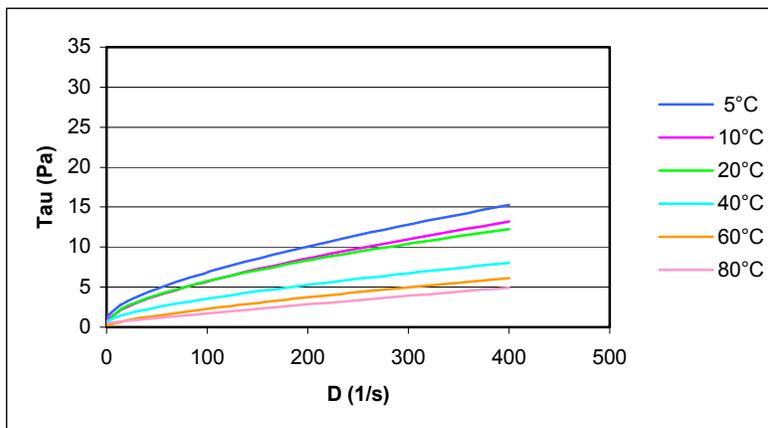


Figura 2. Reograma de dispersiones de mucilago de algarrobo 0,4% p/v con 70 mg/100mL de calcio.

La Figura 3 muestra, al igual que los tratamientos anteriores, un comportamiento pseudoplástico el que se acentúa a las temperaturas menores (5, 10 y 20°C), mientras que a las temperaturas mayores (40, 60 y 80°C) se acerca más al comportamiento newtoniano. Este reograma, al igual que los dos anteriores, muestra que al aumentar la temperatura los esfuerzos de cizalla ( $\tau$ ) van disminuyendo para un mismo valor de gradiente de deformación (D) aunque estos valores son mayores que las suspensiones al 0,4% p/v sin calcio y 0,4% con calcio, y muestran un carácter más pseudoplástico.

Los valores de esfuerzo de cizalla aumentan en mayor magnitud para gradientes de deformación  $D < 27,59 \text{ s}^{-1}$  a todas las temperaturas y luego aumentan de manera más constante.

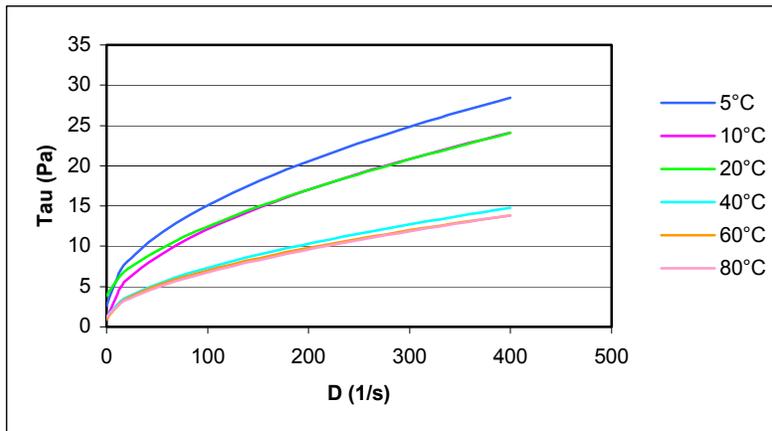


Figura 3. Reograma de dispersiones de goma de algarrobo al 0,6% p/v sin calcio.

En la Figura 4 se observa que se repite el comportamiento pseudoplástico del resto de los tratamientos, el que se acentúa a las temperaturas menores (5, 10, 20 y 40°C), mientras que a las temperaturas mayores (60 y 80°C) se acerca más al comportamiento newtoniano. Este reograma muestra que al aumentar la temperatura los esfuerzos de cizalla ( $\tau$ ) van disminuyendo para un mismo valor de gradiente de deformación (D) aunque estos valores son mayores que las suspensiones al 0,4% p/v sin calcio y 0,4% p/v con calcio y muestran un carácter más pseudoplástico, lo que se evidencia en el Cuadro 3 donde los valores del índice de flujo (n) son menores que en las suspensiones al 0,4% p/v con y sin calcio a todas las temperaturas con excepción de los 20°C, en cambio los valores de esfuerzo de cizalla son muy similares en las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio y con calcio a todas las temperaturas. Lo anterior se debe a que al aumentar la concentración se aumenta la cantidad de solutos disueltos, lo que acentúa las interacciones polímero-agua-calcio, aumentando la resistencia de la disolución que tiene un comportamiento de gel, otorgando una mayor firmeza y elasticidad, por lo tanto, a mayor temperatura y concentración las dispersiones se hacen más estables<sup>2</sup>. Al igual que en el tratamiento anterior, para gradientes de deformación  $D < 27,59 \text{ s}^{-1}$  la magnitud del aumento del esfuerzo de cizalla es alta, y se hace más constante hasta los  $400 \text{ s}^{-1}$ .

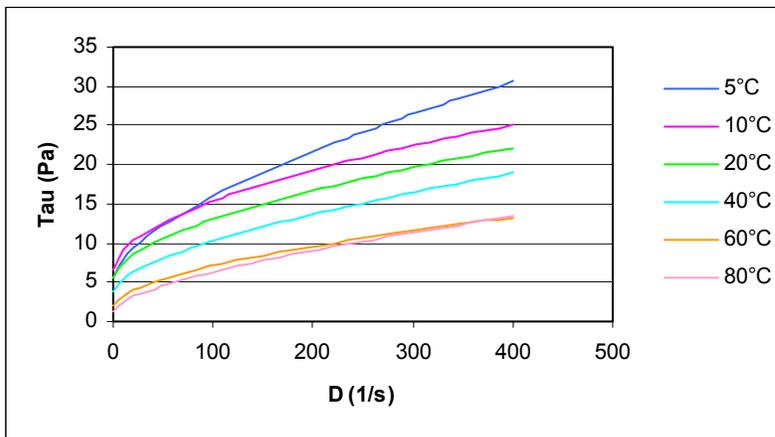


Figura 4. Reograma de dispersiones de goma de algarrobo al 0,6% p/v con 70 mg/100mL de calcio.

<sup>2</sup> Gipsy Tabilo M. Ingeniero en Alimentos. MSc. en Ing. En Alimentos. PhD. en Cs. De la Ingeniería. Fac. de Ciencias de la Salud y de los Alimentos. Universidad del Bío-Bío. Comunicación Personal.

Se puede apreciar que en este y otros estudios (Cerdeña, 2004; Cruz, 1999; Krumel y Sarkar, 1975 y Vásquez *et al.*, 1988), el comportamiento reológico general de los hidrocoloides estudiados es pseudoplástico, comportamiento que se repite en jugos de fruta como el de limón, sin clarificar. Este comportamiento se pierde al despectinizar estos jugos, por lo tanto, es posible deducir que, la presencia de partículas en las dispersiones es la que le confiere un cambio de comportamiento reológico, pasando de newtoniano en ausencia de partículas en suspensión a pseudoplástico en los líquidos que sí las poseen (Sáenz y Costell, 1986). Este efecto también ha sido observado en jugos concentrados de naranja con diferentes porcentajes de pulpa, por Vitali y Rao (1984, citados por Sáenz y Costell, 1986), García *et al.* (1974) también observan que varios purés de frutas tropicales se comportan como fluidos pseudoplásticos y al ser clarificados enzimáticamente se comportan como fluidos newtonianos.

#### Elección de una temperatura para determinar el efecto del ión calcio sobre las características reológicas de la goma de algarrobo

A partir de los resultados obtenidos en los perfiles de temperatura, de los cuales se obtuvieron las curvas de esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) v/s el gradiente de deformación (D) ajustadas al modelo matemático de Herschel-Bulkley, se eligió una temperatura en la cual las suspensiones de goma de algarrobo presentaran una mayor viscosidad y/o un mayor comportamiento pseudoplástico.

Como ya se comentó, en los ensayos realizados a la concentración 0,4% p/v con 70 mg/100 mL de ión calcio a la temperatura de 20 °C, el valor del índice de consistencia (K), no presentó una tendencia a disminuir al aumentar la temperatura, sino que aumentó moderadamente, aunque no de manera significativa, encontrándose que a esa temperatura las suspensiones presentaron la mayor viscosidad, para posteriormente seguir bajando al incrementarse la temperatura (Cuadro 2). De manera inversa, el valor del índice de flujo (n), en lugar de ir aumentando con la temperatura haciendo que las suspensiones presenten un comportamiento más cercano al newtoniano, a los 20°C presenta una disminución moderada, aunque no significativa, haciendo que a esa temperatura las suspensiones presenten el comportamiento más pseudoplástico (Cuadro 3). También fueron expuestos en los Cuadros 2 y 3 los valores de las suspensiones de goma de algarrobo a la concentración 0,6% p/v con 70mg/100 mL de ión calcio, el valor más alto del índice de consistencia (K) corresponde a 10°C, lo cual indica que a dicha temperatura se presenta la mayor

viscosidad. En el índice de flujo ( $n$ ), el valor menor se presenta también a los  $10^{\circ}\text{C}$  haciendo que a dicha temperatura se presente el mayor comportamiento pseudoplástico.

Por los resultados obtenidos, en el caso de los tratamientos con calcio, se rompe la tendencia a las temperaturas ya expuestas, por esa razón se realizó un nuevo ensayo para confirmar los valores obtenidos. Como se debía realizar una comparación con solamente una temperatura, se eligió utilizar la temperatura  $20^{\circ}\text{C}$  (temperatura ambiente) ya que en los dos tratamientos (0,4% p/v y 0,6% p/v) presentaba valores discordantes con respecto a la tendencia esperada. Además, al realizar el Test de Duncan se pudo apreciar que no existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los valores de los índices de consistencia y flujo para los tratamientos 0,4% p/v y 0,6% p/v con calcio a  $10^{\circ}$  y  $20^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. De esa forma, se repitió el ensayo a la temperatura señalada, utilizándose un mayor número de repeticiones (7 en lugar de las 3 anteriores), para de esa forma, confirmar dicho comportamiento.

El aumento de las repeticiones, se debe a que, como se pudo apreciar en los resultados mostrados, la variabilidad de los valores obtenidos en las tres repeticiones en todos los tratamientos es muy alta, debido a la sensibilidad del equipo y método de medición, de esa forma, con 7 repeticiones se tiende a disminuir el efecto de esa variabilidad. En el caso de este estudio, al igual que en un estudio similar en mucílago de café, el coeficiente de variación es alto (Anexo 1 y Anexo 3) pero se considera aceptable ya que se explica por la poca homogeneidad de las muestras (Oliveros y Gunasekaran, 1996). Esta falta de homogeneidad se debe a que el tamaño de las partículas de la goma de algarrobo no es homogéneo y el galactomanano contenido en la goma no fue extraído de éste, por lo tanto, en las suspensiones no sólo se encuentra el galactomanano, sino otras sustancias en pequeñas cantidades como posiblemente son fibras y pectinas, las cuales no se disolvieron totalmente en el agua. La importancia de las fibras en características reológicas se ve confirmada en la investigación de Grigelmo-Miguel *et al.* (1999), en reología de suspensiones de fibra dietaria de durazno, las cuales mostraron comportamiento pseudoplástico las cuales se ajustaron tanto al modelo de Herschel-Bulkley como al modelo de Ostwald-de Waele. En esa investigación se concluye que la concentración y las características de la fibra dietaria de durazno influye en las magnitudes de los parámetros reológicos.

Cuadro 4. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,4% con y sin calcio y 0,6% con y sin calcio.

Tratamiento 20°C	$\tau_0$ (Pa*s <sup>n</sup> )	K (Pa*s)	n
0,4% p/v sc	0,31 ± 0,52 a	0,16 ± 0,08 ab	0,69 ± 0,06 a
0,4% p/v cc	0,63 ± 0,64 a	0,16 ± 0,02 b	0,69 ± 0,02 a
0,6% p/v sc	2,08 ± 1,05 a	0,67 ± 0,27 c	0,55 ± 0,08 b
0,6% p/v cc	7,11 ± 2,84 b	0,59 ± 0,75 c	0,66 ± 0,19 ab

sc: sin calcio; cc: con calcio.

Letras diferentes en columnas indica que hay diferencias significativas para el test de Duncan con  $p < 0,05$ .

Como puede observarse en el Cuadro 4, en el tratamiento al 0,4% p/v con calcio no se repite el fenómeno de aumento del valor del índice de consistencia (K) a la temperatura de 20°C, sino que los valores se mantienen bajos y sin diferencias significativas en las dispersiones con respecto a las dispersiones al 0,4% p/v sin calcio. En dicho ensayo el valor encontrado correspondía a 0,34 (versus 0,16 del actual ensayo) (ver Anexo 1 y 3) compuesto por dos valores altos y uno más bajo de 0,16, así, el valor más bajo de los tres sería el que estaría mostrando la tendencia correcta y los otros dos serían los erróneos, por esa razón, este método de medición debería constar de varias repeticiones para disminuir esta posibilidad de error. Así mismo, los valores del índice de flujo (n) se asemejan al valor de la segunda repetición del perfil de temperatura, al igual como se mencionó anteriormente. De esta manera no se confirma que en las dispersiones de goma de algarrobo al 0,4% p/v con 70mg/100 mL de ión calcio exista un aumento de viscosidad ni se presenta un comportamiento más pseudoplástico que a las otras temperaturas probadas. Esta diferencia en los valores promedios puede deberse a un error experimental o a que debido a que los ensayos se realizan con suspensiones, los valores varían bastante debido a la presencia de partículas en suspensión las que aumentan de tamaño al hidratarse en el agua y al unirse ya hidratadas formando grumos que alteran los valores de esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) percibidos por la aguja del reómetro al girar en la dispersión. Debido a que no hay diferencias notorias entre los índices de consistencia (K) y flujo (n) para las dispersiones al 0,4% p/v sin y con calcio y para las dispersiones al 0,6% p/v sin y con calcio, puede decirse que el calcio no afecta ni la viscosidad ni el comportamiento pseudoplástico normal de las dispersiones de goma de algarrobo. La única diferencia es que las dispersiones al 0,6% p/v con calcio presentan un umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) significativamente más alto que las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio.

Comparando las dispersiones al 0,6% p/v con y sin calcio se puede observar que el índice de consistencia (K) es significativamente mayor en ambas que las dispersiones al 0,4% p/v con y sin calcio, pero no hay diferencias significativas entre ellas; así como no

hay diferencias significativas entre las dispersiones al 0,6% p/v con y sin calcio. En el caso del índice de flujo ( $n$ ) el valor es significativamente menor en las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio, con respecto a las dispersiones al 0,4% p/v con y sin calcio, no habiendo diferencias significativas con las dispersiones al 0,6% p/v con calcio, lo que indica que las dispersiones al 0,6% p/v sin calcio presentan mayor pseudoplasticidad que las dispersiones al 0,4% p/v con y sin calcio.

Los resultados presentados por Romeo *et al.* (1989) al estudiar la viscosidad de dispersiones de goma de algarrobo proveniente de extracción básica a una concentración de 0,3% p/v a 25°C, con la adición de 69 mg/100 mL de ión calcio provoca un aumento significativo en la viscosidad. En este ensayo a 20°C (Cuadro 4) el índice de consistencia (K) se mantiene con la adición de calcio, aunque no se puede asegurar que refleje cambios significativos en la viscosidad, pues no fue medida en ninguno de los ensayos. Cabe señalar que las diferencias en los métodos de extracción húmeda (ácida o básica) de la goma influyen en la viscosidad (Estévez *et al.*, 2004).

En el Anexo 1 y 3 se presenta la gran variabilidad de los valores del umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) el cual representa la magnitud de la plasticidad e indica la resistencia que el producto opone a deformarse permanentemente (Costell *et al.* 1982) en las diferentes repeticiones. En las dispersiones de hidrocoloides, el valor de este umbral al parecer está relacionado con la densidad de enlaces de hidrógeno entre moléculas largas (Robinson y Rha, 1981 citados por Costell *et al.* 1982), pero como en este caso se trata de dispersiones con gran cantidad de partículas suspendidas hay que tomar en cuenta la posible incidencia de la interacción entre ellas. En el caso del puré de damasco, el valor del umbral depende principalmente del porcentaje de pulpa, del tamaño medio de las partículas, del porcentaje de células rotas, de la acidez y del contenido en pectinas. Los tres primeros factores influyen en el grado de interacción interparticular, mientras que los dos últimos inciden en la formación de enlaces intermoleculares (Costell *et al.* 1982). Las sustancias pécticas imparten pseudoplasticidad al suero de los derivados de fruta (Mizrahi, 1970 citados por Carbonell *et al.*, 1990) y aumentan su viscosidad (Rao *et al.*, 1986), aunque la mayor contribución de este tipo de macromoléculas se debe a su interacción con la fase dispersa, ya que la pectina contribuye a atrapar el agua en el interior de la pared celular aumentando la resistencia al flujo (Carbonell *et al.*, 1990). En el caso de los derivados de fruta, este tipo de partículas son del tipo “bolsa”, lo que les permite ocluir grandes volúmenes de agua; lo que da lugar a valores del umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) mayores que los que se consiguen con muchos hidrocoloides que, a pesar de tener gran capacidad de inmovilización de agua, no dan lugar a una oclusión física de la misma (Rha, 1978).

Con el fin de verificar si la heterogeneidad del tamaño de partículas influye en la gran variabilidad en los valores del umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) sobre todo en el tratamiento 0,6% p/v con calcio, se realizó un ensayo en el cual se prepararon las dispersiones para

dicho tratamiento con la goma pasada por un tamiz de 600  $\mu\text{m}$ , lo cual permitió obtener valores más bajos y homogéneos para dicho umbral (Anexo 5).

Puede observarse en la Figura 5 la relación entre el esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) y el gradiente de deformación (D) que muestra un comportamiento pseudoplástico en todos los tratamientos, el cual se ve acentuado en el tratamiento al 0,6% p/v con calcio, seguido en la tendencia pero con valores notoriamente menores por el tratamiento al 0,6% p/v sin calcio. En los tratamientos al 0,4% p/v con y sin calcio el comportamiento es pseudoplástico pero más cercano al comportamiento newtoniano que los tratamientos ya mencionados, y son muy similares entre sí.

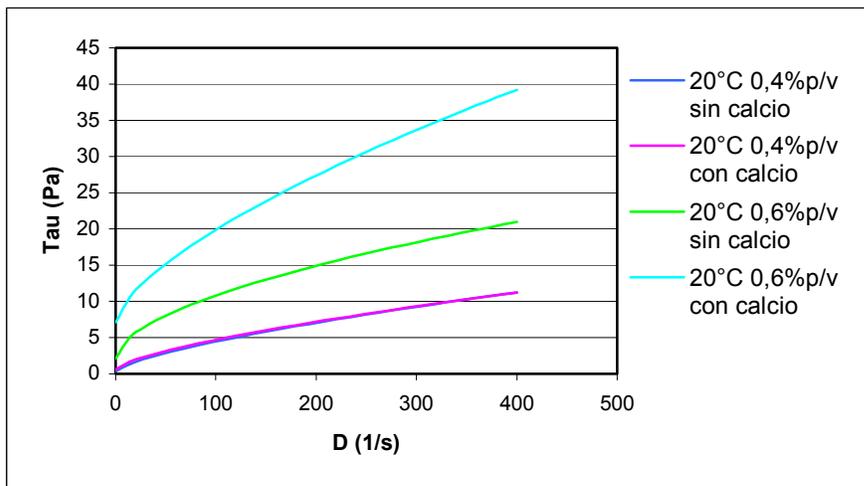


Figura 5. Reograma de dispersiones de goma de algarrobo al 0,4% p/v con y sin calcio y 0,6% p/v con y sin calcio.

Como puede apreciarse en el Anexo 4, en las dispersiones al 0,4% p/v para valores bajos de gradiente de deformación  $D < 55,18$  [1/s] estos valores son menores en el caso de las dispersiones sin calcio, pero con valores mayores de D, los valores se van igualando hasta que a los 400 [1/s] los valores del esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) son mayores en las dispersiones sin calcio.

En el caso de las dispersiones al 0,6% p/v, a todos los valores de gradiente de deformación, los valores de esfuerzo de cizalla son notoriamente mayores en el caso de las dispersiones con calcio.

## CONCLUSIONES

- Todas las dispersiones de goma de algarrobo estudiadas provenientes de extracción ácida, se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley, presentando un comportamiento pseudoplástico.
- El factor que afecta de manera significativa el comportamiento reológico de las dispersiones de goma de algarrobo es el aumento de la concentración, lo que incrementa el índice de consistencia (K) reflejado en el aumento de la viscosidad y disminuye el índice de flujo (n) aumentando así la pseudoplasticidad.
- El ión calcio afecta el umbral de fluencia ( $\tau_0$ ) de las dispersiones de goma de algarrobo a la concentración de 0,6% p/v extraída por medio ácido, aumentando significativamente con la adición de calcio. En cambio, el ión calcio no afecta las características reológicas de las dispersiones de goma de algarrobo a la concentración de 0,4% p/v extraída por medio ácido.

## ANEXO 1

Cuadro 1. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,4% p/v sin calcio.

T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	r
5	0,4819	0,2171	0,7181	0,9996
D.E.	0,2304	0,1757	0,0884	
C.V.	0,4782	0,8091	0,1232	
10	0,2326	0,1915	0,7111	0,9998
D.E.	0,1808	0,1156	0,0641	
C.V.	0,7776	0,6035	0,0902	
20	0,1714	0,1620	0,7198	0,9997
D.E.	0,1594	0,1284	0,0773	
C.V.	0,9303	0,7925	0,1074	
40	0,1313	0,0797	0,7698	0,9998
D.E.	0,1667	0,0481	0,0512	
C.V.	1,2697	0,6032	0,0665	
60	0,2198	0,0424	0,8245	0,9995
D.E.	0,0488	0,0252	0,0670	
C.V.	0,2220	0,5940	0,0813	
80	0,4753	0,0184	0,9104	0,9987
D.E.	0,6722	0,0123	0,0978	
C.V.	1,4143	0,6716	0,1074	

r: coeficiente de correlación; D.E.: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variación.

Cuadro 2. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,4% p/v con calcio.

T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	r
5	1,3028	0,2574	0,6664	0,9991
D.E.	0,3614	0,0326	0,0398	
C.V.	0,2774	0,1266	0,0597	
10	0,9072	0,2145	0,6753	0,9997
D.E.	0,1838	0,0275	0,0101	
C.V.	0,2026	0,1283	0,0150	
20	0,5891	0,3424	0,5886	0,9992
D.E.	0,6960	0,1594	0,0850	
C.V.	0,1816	0,4655	0,1444	
40	0,6774	0,1276	0,6768	0,9987
D.E.	0,3232	0,0247	0,0444	
C.V.	0,4771	0,1937	0,0655	
60	0,2090	0,0644	0,7549	0,9995
D.E.	0,1849	0,0067	0,0091	
C.V.	0,8843	0,1035	0,0121	
80	0,4858	0,0177	0,9228	0,9981
D.E.	0,3351	0,0047	0,0718	
C.V.	0,6897	0,2686	0,0778	

r: coeficiente de correlación; D.E.: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variación.

Cuadro 3. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,6% p/v sin calcio.

T(°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	r
5	2,6375	1,1060	0,5258	0,9992
D.E.	0,9097	0,7633	0,0581	
C.V.	0,3449	0,6901	0,1105	
10	0,8789	1,0075	0,5236	0,9997
D.E.	1,1433	0,6041	0,0505	
C.V.	1,3007	0,5996	0,0964	
20	3,8369	0,5068	0,6153	0,9960
D.E.	2,6692	0,4697	0,1090	
C.V.	0,6957	0,9269	0,1772	
40	1,2040	0,4340	0,5748	0,9991
D.E.	0,7674	0,1625	0,0466	
C.V.	0,6374	0,3745	0,0811	
60	0,9524	0,4946	0,5443	0,9985
D.E.	1,6497	0,3576	0,0941	
C.V.	1,7321	0,7229	0,1728	
80	1,1900	0,3701	0,5894	0,9934
D.E.	1,4410	0,4044	0,1835	
C.V.	1,2109	1,0927	0,3113	

r: coeficiente de correlación; D.E.: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variación.

Cuadro 4. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,6% con calcio.

T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	r
5	5,6611	0,5493	0,6368	0,9984
D.E.	4,8186	0,3034	0,1253	
C.V.	0,8512	0,5524	0,1968	
10	6,7147	0,6976	0,5458	0,9947
D.E.	4,5247	0,2431	0,0719	
C.V.	0,6738	0,3485	0,1317	
20	5,5819	0,5166	0,5788	0,9965
D.E.	2,9250	0,2317	0,0542	
C.V.	0,5240	0,4485	0,0937	
40	3,8861	0,3692	0,6188	0,9877
D.E.	2,9613	0,2370	0,1441	
C.V.	0,7620	0,6419	0,2328	
60	2,0195	0,3581	0,5754	0,9969
D.E.	0,1669	0,1793	0,0760	
C.V.	0,0826	0,5007	0,1321	
80	1,2277	0,2778	0,6304	0,9988
D.E.	1,5643	0,1578	0,1024	
C.V.	1,2742	0,5678	0,1624	

r: coeficiente de correlación; D.E.: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variación.

## ANEXO 2

Cuadro 1. Gradiente de deformación (D) y esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) ajustados a la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,4% p/v sin calcio.

D[1/s]	$\tau$ 5°C	$\tau$ 10°C	$\tau$ 20°C	$\tau$ 40°C	$\tau$ 60°C	$\tau$ 80°C
0	0,482	0,233	0,171	0,131	0,220	0,475
13,79	1,911	1,470	1,242	0,732	0,589	0,676
27,59	2,833	2,259	1,936	1,156	0,873	0,852
41,38	3,627	2,936	2,533	1,531	1,133	1,021
55,18	4,349	3,550	3,077	1,878	1,377	1,184
68,97	5,021	4,120	3,583	2,206	1,611	1,344
82,75	5,656	4,657	4,061	2,518	1,836	1,500
96,55	6,262	5,170	4,518	2,819	2,055	1,655
110,34	6,843	5,662	4,956	3,110	2,269	1,807
124,14	7,405	6,137	5,380	3,392	2,478	1,958
137,93	7,949	6,596	5,790	3,668	2,683	2,107
151,73	8,478	7,042	6,189	3,937	2,885	2,255
165,52	8,994	7,477	6,578	4,201	3,083	2,402
179,31	9,497	7,901	6,958	4,459	3,278	2,548
193,11	9,990	8,316	7,330	4,713	3,471	2,693
206,9	10,473	8,723	7,695	4,963	3,661	2,836
220,7	10,947	9,121	8,052	5,210	3,849	2,979
234,48	11,412	9,513	8,404	5,452	4,035	3,121
248,27	11,870	9,898	8,749	5,691	4,219	3,262
262,07	12,321	10,277	9,090	5,928	4,401	3,403
275,86	12,765	10,650	9,425	6,161	4,582	3,543
289,66	13,204	11,018	9,756	6,392	4,761	3,682
303,45	13,636	11,380	10,082	6,620	4,939	3,821
317,25	14,062	11,738	10,405	6,846	5,115	3,959
331,04	14,484	12,092	10,723	7,070	5,290	4,097
344,83	14,900	12,441	11,038	7,291	5,463	4,234
358,63	15,312	12,786	11,349	7,511	5,636	4,371
372,41	15,719	13,128	11,657	7,728	5,807	4,507
386,22	16,123	13,466	11,962	7,944	5,977	4,643
400	16,522	13,800	12,263	8,158	6,146	4,778

Cuadro 2. Gradiente de deformación (D) y esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) ajustados a la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,4% p/v con calcio.

D[1/s]	$\tau$ 5°C	$\tau$ 10°C	$\tau$ 20°C	$\tau$ 40°C	$\tau$ 60°C	$\tau$ 80°C
0	1,303	0,907	0,589	0,677	0,209	0,486
13,79	2,782	2,169	2,193	1,431	0,676	0,685
27,59	3,651	2,923	3,002	1,882	0,997	0,864
41,38	4,379	3,557	3,652	2,263	1,279	1,035
55,18	5,030	4,126	4,218	2,604	1,539	1,202
68,97	5,627	4,649	4,727	2,917	1,783	1,366
82,75	6,185	5,139	5,195	3,211	2,015	1,527
96,55	6,713	5,603	5,633	3,490	2,238	1,687
110,34	7,217	6,046	6,045	3,756	2,453	1,844
124,14	7,700	6,472	6,437	4,012	2,661	2,000
137,93	8,165	6,882	6,811	4,258	2,864	2,155
151,73	8,615	7,280	7,170	4,497	3,062	2,308
165,52	9,052	7,665	7,516	4,728	3,256	2,461
179,31	9,476	8,040	7,850	4,954	3,446	2,612
193,11	9,890	8,407	8,174	5,174	3,632	2,763
206,9	10,294	8,764	8,488	5,389	3,815	2,912
220,7	10,690	9,114	8,794	5,599	3,995	3,061
234,48	11,076	9,457	9,092	5,805	4,172	3,209
248,27	11,456	9,793	9,383	6,008	4,347	3,357
262,07	11,828	10,124	9,668	6,206	4,520	3,504
275,86	12,194	10,449	9,946	6,402	4,690	3,650
289,66	12,554	10,769	10,219	6,594	4,858	3,796
303,45	12,909	11,083	10,486	6,783	5,024	3,941
317,25	13,258	11,394	10,748	6,970	5,189	4,086
331,04	13,601	11,699	11,006	7,153	5,351	4,230
344,83	13,941	12,001	11,259	7,335	5,512	4,373
358,63	14,275	12,299	11,508	7,514	5,671	4,517
372,41	14,605	12,592	11,754	7,691	5,829	4,659
386,22	14,932	12,883	11,995	7,866	5,986	4,802
400	15,254	13,170	12,233	8,038	6,141	4,944

Cuadro 3. Gradiente de deformación (D) y esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) ajustados a la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,6% p/v sin calcio.

D[1/s]	$\tau$ 5°C	$\tau$ 10°C	$\tau$ 20°C	$\tau$ 40°C	$\tau$ 60°C	$\tau$ 80°C
0	2,638	0,879	3,837	1,204	0,952	1,190
13,79	7,032	4,859	6,384	3,165	3,015	2,928
27,59	8,966	6,602	7,739	4,126	3,962	3,805
41,38	10,469	7,955	8,845	4,892	4,704	4,511
55,18	11,749	9,106	9,815	5,556	5,341	5,125
68,97	12,883	10,125	10,694	6,151	5,907	5,678
82,75	13,913	11,050	11,508	6,697	6,424	6,186
96,55	14,865	11,906	12,271	7,206	6,903	6,662
110,34	15,754	12,704	12,993	7,685	7,351	7,110
124,14	16,593	13,457	13,682	8,139	7,775	7,536
137,93	17,387	14,170	14,341	8,572	8,178	7,942
151,73	18,146	14,851	14,976	8,987	8,563	8,332
165,52	18,872	15,502	15,588	9,386	8,932	8,708
179,31	19,569	16,128	16,182	9,772	9,287	9,071
193,11	20,242	16,731	16,758	10,145	9,630	9,423
206,9	20,893	17,314	17,318	10,506	9,962	9,765
220,7	21,523	17,879	17,864	10,858	10,285	10,098
234,48	22,134	18,427	18,397	11,200	10,597	10,421
248,27	22,729	18,960	18,918	11,534	10,902	10,737
262,07	23,308	19,480	19,428	11,860	11,199	11,047
275,86	23,873	19,986	19,928	12,179	11,489	11,349
289,66	24,425	20,480	20,419	12,491	11,773	11,646
303,45	24,965	20,964	20,900	12,797	12,051	11,936
317,25	25,493	21,437	21,374	13,097	12,323	12,222
331,04	26,010	21,900	21,839	13,392	12,589	12,502
344,83	26,517	22,354	22,297	13,681	12,850	12,777
358,63	27,015	22,800	22,748	13,965	13,107	13,048
372,41	27,503	23,237	23,192	14,245	13,359	13,315
386,22	27,984	23,667	23,630	14,521	13,608	13,578
400	28,455	24,089	24,062	14,792	13,851	13,837

Cuadro 4. Gradiente de deformación (D) y esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) ajustados a la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,6% p/v con calcio.

D[1/s]	$\tau$ 5°C	$\tau$ 10°C	$\tau$ 20°C	$\tau$ 40°C	$\tau$ 60°C	$\tau$ 80°C
0	5,661	6,715	5,582	3,886	2,020	1,228
13,79	8,582	9,636	7,941	5,759	3,640	2,680
27,59	10,203	10,980	9,106	6,762	4,435	3,477
41,38	11,541	12,036	10,038	7,582	5,070	4,131
55,18	12,724	12,942	10,846	8,303	5,619	4,709
68,97	13,802	13,748	11,571	8,956	6,112	5,235
82,75	14,803	14,483	12,237	9,561	6,564	5,722
96,55	15,747	15,165	12,859	10,130	6,986	6,181
110,34	16,642	15,804	13,443	10,667	7,382	6,616
124,14	17,497	16,408	13,998	11,180	7,759	7,032
137,93	18,318	16,981	14,527	11,672	8,117	7,430
151,73	19,111	17,530	15,035	12,145	8,461	7,815
165,52	19,877	18,056	15,523	12,601	8,792	8,186
179,31	20,620	18,562	15,994	13,044	9,111	8,546
193,11	21,343	19,051	16,451	13,474	9,420	8,896
206,9	22,048	19,525	16,893	13,892	9,720	9,237
220,7	22,735	19,984	17,324	14,300	10,011	9,570
234,48	23,407	20,430	17,743	14,698	10,294	9,894
248,27	24,064	20,865	18,152	15,087	10,571	10,212
262,07	24,709	21,289	18,552	15,468	10,841	10,524
275,86	25,342	21,702	18,942	15,841	11,106	10,829
289,66	25,963	22,107	19,325	16,208	11,364	11,129
303,45	26,573	22,503	19,700	16,568	11,618	11,424
317,25	27,174	22,891	20,068	16,922	11,867	11,714
331,04	27,765	23,271	20,430	17,269	12,111	11,999
344,83	28,347	23,644	20,785	17,612	12,350	12,280
358,63	28,921	24,010	21,134	17,949	12,586	12,556
372,41	29,486	24,370	21,477	18,281	12,818	12,829
386,22	30,045	24,724	21,815	18,609	13,047	13,098
400	30,596	25,072	22,148	18,932	13,271	13,364

## ANEXO 3

Cuadro 1. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,4% con y sin calcio y 0,6% con y sin calcio.

Temp 20°C	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	r
0,4%sc	0,3100	0,1656	0,6992	0,9995
D.E.	0,5209	0,0841	0,0630	
C.V.	1,6803	0,5078	0,0901	
0,4%cc	0,6319	0,1665	0,6928	0,9996
D.E.	0,6446	0,0284	0,0230	
C.V.	1,0200	0,1705	0,0331	
0,6%sc	2,0829	0,6785	0,5549	0,9990
D.E.	1,0514	0,2769	0,0816	
C.V.	0,5047	0,4081	0,1470	
0,6%cc	7,1128	0,5964	0,6654	0,9953
D.E.	2,8401	0,7152	0,1974	
C.V.	0,3992	1,1991	0,2966	

r: coeficiente de correlación; D.E.: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variación.

## ANEXO 4

Cuadro 1. Gradiente de deformación (D) y esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) ajustados a la ecuación de Herschel-Bulkley.

<b>D[1/s]</b>	<b><math>\tau</math> 0,4sc</b>	<b><math>\tau</math> 0,4 cc</b>	<b><math>\tau</math> 0,6sc</b>	<b><math>\tau</math> 0,6 cc</b>
0	0,310	0,632	2,083	7,113
13,79	1,347	1,657	4,993	10,531
27,59	1,994	2,290	6,359	12,535
41,38	2,546	2,827	7,437	14,214
55,18	3,045	3,312	8,364	15,713
68,97	3,506	3,760	9,192	17,089
82,75	3,940	4,180	9,948	18,375
96,55	4,354	4,581	10,651	19,592
110,34	4,750	4,963	11,310	20,751
124,14	5,131	5,332	11,933	21,864
137,93	5,499	5,687	12,526	22,935
151,73	5,857	6,033	13,094	23,971
165,52	6,205	6,368	13,638	24,976
179,31	6,544	6,695	14,163	25,953
193,11	6,876	7,015	14,670	26,906
206,90	7,200	7,327	15,162	27,835
220,70	7,519	7,634	15,639	28,745
234,48	7,830	7,934	16,102	29,635
248,27	8,137	8,228	16,554	30,508
262,07	8,439	8,519	16,995	31,365
275,86	8,735	8,804	17,425	32,207
289,66	9,028	9,085	17,846	33,035
303,45	9,316	9,362	18,258	33,850
317,25	9,601	9,635	18,663	34,653
331,04	9,881	9,904	19,059	35,444
344,83	10,158	10,170	19,448	36,224
358,63	10,432	10,433	19,830	36,994
372,41	10,702	10,692	20,205	37,753
386,22	10,970	10,949	20,575	38,505
400,00	11,235	11,203	20,938	39,246

## ANEXO 5

Cuadro 1. Constantes de la ecuación de Herschel-Bulkley para dispersiones de goma de algarrobo 0,6% (tamizado, 600 micrones) con calcio.

<b>T (°C)</b>	<b><math>\tau_0</math> (Pa)</b>	<b>K (Pa s<sup>n</sup>)</b>	<b>n</b>	<b>r</b>
20	1,098	0,951	0,528	0,999
D.E.	0,516	0,835	0,092	
C.V.	0,4699	0,8780	0,1742	

r: coeficiente de correlación; D.E.: desviación estándar; C.V.: coeficiente de variación.

## LITERATURA CITADA

ANONIMO, 2003, [On- line]. Calcio. Disponible en el WWW: [http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/vita\\_min.html](http://www.nutrinfo.com.ar/pagina/info/vita_min.html). Citado el 10 de Agosto de 2004.

CARBONELL, E., COSTELL, E., DURAN, L. 1990. Influencia de la composición en el comportamiento de flujo de los derivados de fruta. Revisión bibliográfica. Rev. Alimentos. 4(15): 55-61.

CERDA, O. 2004. Efecto de dos azúcares sobre las propiedades reológicas de dispersiones de mucílago de nopal. Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 37 p.

CHEFTEL, J., CHEFTEL, H., BESANÇON, P. 1989. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza. 404p.

COSTELL, E., CLEMENTE, G. y DURAN, L. 1982. Reología físico química del puré de albaricoque. II. Caracterización del flujo y relación entre los parámetros reológicos y las características químicas y físicas del producto. Rev. Agroquím. Technol. Aliment. 22 (4): 539-550.

CRUZ, G. 1999. Production and characterisation of *Prosopis* seed galactomannan. Tesis Doctoral. Swiss Federal Institute of Technology. Zurich. 113 p.

DOUBLIER, J.L., LAUNAY, B. 1981. Rheology of galactomannan solutions: comparative study of guar gum and locust bean gum. J. Texture Stud. 12: 151-172.

DURAN, L., COSTELL, E. 1985. La reología y su importancia en el control de calidad de alimentos. Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos- Valencia (España). Presentado en el V Seminario Latinoamericano de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Viña del Mar, Chile.

ESCOBAR, B., ROMEO, M., BAEZA, G., SOTO, X., VASQUEZ, M. 1987. Caracterización y composición química del fruto de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz). Rev. Chil. Nutr. 15 (2): 113-116.

ESPINOZA, S. 2002. Estudio de algunas propiedades físicas de hidrocoloides provenientes de la semilla de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz) y de cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). Tesis Magíster en Ciencias Agropecuarias Mención Producción Agroindustrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas.

ESTEVEZ, A.M., SAENZ, C., HURTADO, M.L., ESCOBAR, B, ESPINOZA, S. y SUAREZ, C. 2004. Extraction methods and some physical properties of mesquite (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz). J. Sci. Food Agric. 84:1487-1492.

FAO, 1997. *Prosopis chilensis*. Pp. 215-225. En: Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Serie: Zonas áridas y semiáridas N° 12. Santiago, Chile. 347 p.

FENNEMA, O. 1993. Química de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza. 1069 p.

FREZ, C., CARREÑO, P., ESCOBAR, M., 1999, [On- line]. Caracterización química de la goma de semilla de algarrobo. Disponible en el WWW: [http://www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/tec\\_alimentos/pdf/SECCION3.pdf](http://www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/tec_alimentos/pdf/SECCION3.pdf) Citado el 25 de Septiembre de 2003.

FUENTES, C. 1998. Elaboración de galletas con incorporación de harina de cotiledón de algarrobo sometido a dos tratamientos térmicos. Memoria Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 68 p.

GARCIA, R., RIVERA, J y ROLZ, C. 1974. Rheological properties of some tropical fruit products and their enzymic clarification. Proc. IV Int. Congress Food Sci. and Technol. Vol. II. P. 18-26.

GRIGELMO-MIGUEL, N., IBARZ-RIBAS, A., MARTIN-BELLOSO, O. 1999. Rheology of peach dietary fiber suspensions. J. Food Engineering 39: 91-99.

KRUMEL, K.L., SARKAR, N. 1975. Flow properties of gums useful to the food industry. Food Technol.29(4): 36-44.

OSORIO, F. 1990. Reología en Alimentos. I Parte: aspectos reológicos de alimentos fluidos. Rev. Alimentos. 15 (4): 33-36.

PRESLE, L., ESCOBAR, B., ESTEVEZ, A.M., GUERRERO, J., MATSUHIRO, B. y SAENZ, C. 2004. Polisacáridos de *Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz (Algarrobo): Caracterización química y análisis por espectrometría de RMN de  $^1\text{H}$  y de  $^{13}\text{C}$ . XXV Jornadas Chilenas de Química. Antofagasta. Chile.

RAO, M.A., COOLEY, H.J., NOGEIRA, S.N., Mc LELLAN, M.R. 1986. Rheology of apple sauce: Effect of apple cultivar, firmness and processing parameters. J. Food Sci. 51(1): 176-178.

RHA, C. 1978. Rheology of fluid foods. Food Technol. 32(7): 77-82.

ROMEO, M., VASQUEZ, M., ESCOBAR, B., BAEZA, G. 1989. Viscosidad de soluciones de mucílago de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz). I. Efecto del pH y de los iones sodio y calcio. Rev. Alimentos 14 (4): 23-27.

SAENZ, C. y COSTELL, E. 1986. Comportamiento reológico de productos de limón. Influencia de la temperatura y de la concentración. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 26 (4): 581-588.

SPEERS, R.A. y TUNG, M.A. 1986. Concentration and temperature dependence of flow behavior of xanthan gum dispersions. J. Food Sci. 51(1): 96-98.

VASQUEZ, M., CARBONELL, E., COSTELL, E. 1988. Comportamiento reológico de soluciones acuosas de la goma de algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz). Comparación con el de las gomas guar y garrofin. Rev. Agroquím. Tecnol. Alimentos 12 (12): 251-260.