

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tesis presentada como parte de los requisitos de la Universidad Nacional del Litoral, para la obtención del Grado Académico de:

Magister en Ciencias y Tecnología de los Alimentos

Título: “Evaluación de las características reométricas de hidrocoloides obtenidos de semillas de Prosopis sp (algarrobos)”

Realizada en el:

Instituto de Tecnología de Alimentos

Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral

Por

VICTOR RODOLFO ROZYCKI

Director de Tesis : Ing. Rolando J. González

2007

“No te des por vencido, ni aún vencido.....”

Almafuerte

Dedicada a:

Mi madre, mi hermano y la familia por su estímulo.

Mi esposa Claudia por su amor y apoyo

permanente.

A mi hijo Cristián y a mi nieto Astor por existir.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Rolando González por su colaboración y su gran paciencia.

*A mis compañeros del Área de Estudios Físicoquímicos, por su apoyo permanente,
especialmente al Lic. Marcelino R. Freyre.*

*Al Ing. Eduardo Filomena y al Ing. Sebastián Cristina por su colaboración con la tarjeta
de adquisición de datos.*

Al grupo de amigos de los jueves por su apoyo incondicional.

A la CJP por su aliento constante.

SUMMARY

Hydrocolloids are ingredients normally found in food formulations. In particular, gums extracted from different sources (seeds, algae, trees, etc.), are used as thickeners, gelling agents and stabilizer of food dispersions (suspension, emulsion and foam). Galactomanans are part of a gums family, among them Garrofin and guar gums, which, in Argentina, are imported products. Interest exists in analysing the possibility of replacing such gums by an others obtained from local sources. Such alternative is the gum of *prosopis alba*.

The objectives of this tesis were: 1) To develop a appropriate methodology of seed milling and gum extraction, from *prosopis alba* pods. 2) To compare the rheological characteristics of the obtained gum with those corresponding to garrofin and guar gums. 3) To develop a software that adquire, convert and analyze the rheograms.

The raw material (pods of *prosopis alba*) used to obtain the gums was provided by Insituto de Cultura Popular (Reconquista-Santa Fe). Pods were dried in air oven at 50°C until a 4 % moisture content and ground. The seeds was obtained using the methodology previously developed (which was the first objective of this tesis). The dehulling process was carried out by immersing seeds in alkaline solution (5% OHNa) at 75 °C for 10 min, washing and steeping (16 hs). The extraction was done by dispersing the endosperm in water at 80 °C and agitating during 8 hs. The dispersion was centrifugated to 2000 g for 30 min. The gums was separated by precipitation by adding ethanol solution and filtration. This procedure was repeated three times. Then the precipitate was suspended in isopropyl alcohol, then in acetona and finally dried in vacuum oven at 50 °C.

Dispersions was prepared with the three gums, at the following solid concentration: 1.00; 0.62; 0.32; 0.16; y 0.1 %, by weighing the amount of water needed to attain each concentration. Each dispersion was prepared using a laboratory homogeniser and then

keeping the dispersion (with agitation) in a thermostatic bath at 80 °C during 1 hour, and to analyse the effect of temperature, the following levels were selected: 5°C; 10°C; 25°C; 38°C y 48°C. The rheograms corresponding to each experimental condition, were carried out in triplicate and the range used for shear rate was: 0 a 468 s⁻¹.

Results shown that power law can explain adequately, with high correlation coefficient, the data of all rheograms. Guar gum dispersions shown a more pronounced pseudoplastic behaviour than the two other gums, corresponding intermediate *n* values to *prosopis alba* gum dispersions. Temperature did not affected *n* values and for the three gums, a Newtonian behaviour was observed for concentration of 0.1% and 0.16%. The limit at pseudoplastic behaviour start is between 0.16% and 0.32%.

It can conclude that: a) the milling diagram and extraction methodology developed, permitted to obtain seed of *prosopis alba* with good yield and the gum with acceptable purity; b) power law describes adequately rheological behaviour for the three gums. It was verified that *prosopis alba* gum show an intermediate behaviour in comparison with other two, suggesting that it could be used to replace imported gums, at least as thickening agent; c) the software developed showed to be very useful and certainly will improve the performance and capability of the Haake viscometer available at the ITA.

RESUMEN

Los hidrocoloides son ingredientes habituales en la formulación de alimentos. En particular, las gomas extraídas de diferentes fuentes (semillas, algas, exudados de árboles, etc.) son utilizadas como espesantes, gelificantes y estabilizantes en sistemas dispersos (suspensiones, emulsiones, espumas). Los galactomananos constituyen una familia de gomas entre las que se encuentran la goma guar y la goma garrofín, las cuales en Argentina son productos importados. Existe interés en analizar la posibilidad de reemplazar dichas gomas por aquellas procedentes de materias primas locales. Una de esas alternativas es la goma de algarrobo blanco (*prosopis alba*).

Los objetivos de esta tesis son: 1) Desarrollar una metodología adecuada para la molienda de la semilla y para la extracción de la goma, a partir de vainas de *prosopis alba*. 2) Comparar las características reométricas de la goma obtenida con las de goma guar y garrofin, a distintas temperaturas y concentraciones. 3) Desarrollar un software que permita adquirir, convertir y analizar estadísticamente los reogramas.

La goma de algarrobo blanco fue obtenida, partiendo de vainas provistas por el Instituto de Cultura Popular (Reconquista-Santa Fe). Las vainas fueron secadas en estufa a 50 °C hasta alcanzar la humedad de 4%; se molieron y se obtuvieron las semillas utilizando la metodología previamente desarrollada (primer objetivo de la tesis). Se eliminó la corteza de la semilla por inmersión en medio alcalino (5% de NaOH) a 75 °C durante 10 min, lavado y maceración (16 h). La extracción de la goma se realizó dispersando el endospermo, en agua a 80° C, agitando durante 8 horas. La dispersión se centrifugó durante 30 minutos a 2000 g . La goma, se precipitó con etanol y se separó por filtración. Este procedimiento de disolución, precipitación y centrifugación se realizó 3 veces. El precipitado se suspendió en alcohol isopropílico y se filtró. Se repitió el mismo

procedimiento utilizando acetona. Posteriormente se secó la goma en estufa de vacío a una temperatura de 50 °C.

Se prepararon dispersiones de las tres gomas con las siguientes concentraciones: 1,00; 0,62; 0,32, 0,16; y 0,1 % en peso base seca, utilizando un homogeneizador de laboratorio y agitación en baño termostático a 80 °C durante 1 hora, y para evaluar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad se fijaron los siguientes niveles: 5 °C; 10 °C; 25 °C; 38 °C y 48 °C. Los reogramas para cada condición se realizaron por triplicado y el rango de gradientes de velocidad utilizado fué 0-468 s⁻¹.

Los resultados mostraron que la ley de potencia ajusta adecuadamente en todos los casos, y con altos coeficientes de correlación, los datos del reograma.

Las dispersiones de goma guar mostraron un comportamiento más pseudoplástico que las otras dos, correspondiendo a la goma de algarrobo blanco valores de n intermedios. La temperatura no mostró efecto sobre los valores de n y para las tres gomas se observó un comportamiento newtoniano para niveles de concentración iguales a 0,1 % y 0,16%. El límite para el cual el comportamiento de las dispersiones comienza a ser pseudoplástico, se encuentra entre 0,16% y 0,32%.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que: a) el sistema de molienda y la metodología de extracción desarrollados permitió obtener la semilla de algarrobo blanco con un buen rendimiento porcentual respecto al fruto entero y una goma con aceptable pureza; b) la función de potencia describe adecuadamente el comportamiento reológico de las tres gomas, verificándose que la de Algarrobo Blanco presenta niveles de viscosidad intermedios entre las gomas guar y garrofin; por lo que podría utilizarse ese recurso natural como sustituto de productos importados, al menos como agente espesante; c) el software desarrollado demostró ser muy útil y seguramente mejorará la capacidad y calidad de la prestación del viscosímetro Haake disponible en el ITA.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1.	Sistema Agroalimentario.	1
1.1.1.	Aspectos relacionados con la formulación de alimentos.	1
1.1.2.	Importancia de los hidrocoloides.	2
1.2.	Hidrocoloides.	3
1.2.1.	Los hidrocoloides: Tipos y usos	3
1.2.2.	Dispersión e hidratación.	5
1.2.3.	Gelificación.	6
1.2.4.	Agentes espesantes.....	7
1.2.5.	Agentes gelificantes.	13
1.2.6.	Algunas interacciones de interés.	16
1.2.7.	Gomas de interés para esta tesis: Guar y Garrofin.	17
1.3.	Los Prosopis.....	19
1.3.1.	El árbol.....	20
1.3.2.	La vaina.	22
1.3.3.	El mercado	24

1.4.	Algunos aspectos relacionados con la viscosidad.	24
1.5.	Relación entre viscosidad de las dispersiones de hidrocoloides y las características sensoriales.	29
1.6.	Determinación de la viscosidad en dispersiones acuosas de los hidrocoloides.....	32
2.	OBJETIVO	
2.1.	Introducción.....	33
2.1.1.	Materia prima.....	33
2.1.2.	Viscosímetro.....	33
2.2.	Objetivos	33
2.2.1.	Obtención del Hidrocoloide.....	33
2.2.2.	Comportamiento reométrico.....	34
2.2.3.	Software.	34
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1.	Obtención del Hidrocoloide.....	35
3.1.1.	Acondicionamiento de la Muestra.....	35
3.1.2.	Obtención de la semilla. Adopción del Esquema de Molienda.....	35
3.1.3.	Obtención Cuantitativa del Porcentaje de Semillas.....	36

3.1.4.	Obtención de la goma de algarrobo blanco.	36
3.2.	Determinaciones Analíticas.	37
3.2.1.	Preparación de la muestra.....	37
3.2.2.	Técnicas Analíticas.....	37
3.3.	Preparación de las Dispersiones de Hidrocoloides.	38
3.3.1.	Gomas utilizadas.	38
3.3.2.	Preparación de la dispersión de las gomas.....	39
3.4.	Evaluación de la viscosidad de las dispersiones.	39
3.4.1.	Temperaturas Utilizadas.....	39
3.4.2.	Procedimiento para la obtención de los Reogramas.....	39
3.5.	Obtención de los Datos.	40
3.6.	Desarrollo de un software para la Adquisición y el posterior tratamiento de los datos obtenidos.....	40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1.	Adopción del sistema para la Obtención de la Goma de Algarrobo Blanco... ..	41
4.1.1.	Ensayos Previos.....	41
4.1.2.	Adopción del Sistema de Molienda.....	42
4.1.3.	Determinación del Porcentaje Cuantitativo de Semillas.....	44

4.1.4.	Determinación del porcentaje de semillas Obtenido con el Sistema de Molienda adoptado.	45
4.1.5.	Análisis de las Fracciones de Molienda.....	46
4.2.	Composición fisicoquímica de las Gomas.	48
4.3.	Desarrollo del Software para Adquisición de Datos.	49
4.4.	Obtención de los Reogramas.....	51
4.4.1.	Determinación de la consistencia de los datos al cambiar el sensor... ..	51
4.4.2.	Selección de la Curva Ascendente como Parámetro de Comparación.....	55
4.4.3.	Análisis de las muestras por triplicado.	58
4.5.	Comparación del Comportamiento de la Goma de Algarrobo Blanco respecto a las Gomas Guar y Garrofín.....	65
4.5.1.	Variación del Índice de Consistencia, K, con la Temperatura.	67
4.5.2.	Variación del Índice de Consistencia, K, con la Concentración.....	68
4.5.3.	Variación del Índice de Comportamiento, n, con la Temperatura.....	69
4.5.4.	Variación del Índice de Comportamiento, n, con la Concentración.	70
4.6.	Viscosidad Aparente.	71
4.7.	Regresión Múltiple para viscosidad en función del Gradiente de Velocidad, la Concentración y la Temperatura.....	74
4.7.1.	Goma de Algarrobo Blanco.	76

4.7.2.	Goma Garrofín.....	77
4.7.3.	Goma Guar.....	78
4.8.	Aplicación de la curva de Shama y Sherman.....	79
5.	CONCLUSIONES	
5.1.	Sistema de molienda.....	81
5.2.	Comportamiento de la goma de Algarrobo Blanco.....	81
5.3.	Desarrollo de Software.....	81
ANEXO I	.....	82
ANEXO II	.....	96
ANEXO III	.....	106
ANEXO IV	.....	107
ANEXO V	.....	132
BIBLIOGRAFÍA	.....	141

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Sistema Agroalimentario

1.1.1. Aspectos relacionados con la formulación de alimentos.

Desde mediados de los '80 el sistema agroalimentario argentino ha experimentado cambios profundos, no sólo en las relaciones intersectoriales (producción, industria y distribución) sino también en el comportamiento del consumidor. Las causas de estos cambios están relacionadas por un lado, con la globalización de la economía y de los mercados y por otro, con el crecimiento del poder adquisitivo.

Es sabido que el modelo de consumo del consumidor moderno está vinculado con el proceso de desarrollo. En las fases primitivas del desarrollo eran las necesidades las que generaban las actividades para satisfacerlas. En las fases superiores son las actividades las que generan nuevas necesidades. En las economías de opulencia este mecanismo es muy activo y siempre existe un sector de consumidores con nuevas necesidades o deseos de nuevos productos. El consumidor se ha convertido en el centro del sistema agroalimentario y se ha alargado notablemente el circuito Productor - Consumidor.

Paralelamente a estos cambios en el comportamiento del consumidor, la urbanización promueve una modificación en la estructura de consumo a través del cambio en la jerarquía de valores de la familia, cambiando entre otras cosas las características del modelo (González, 1988).

De un modelo de consumo donde la sobriedad, la frugalidad, el ahorro y la eficiencia son sus características principales, se pasa a otro, cuyos elementos esenciales son la variedad, la novedad, la calidad, la comodidad, el valor nutritivo y la sanidad, pasando "el precio" a un segundo nivel de jerarquía. El alimento adquiere entonces un carácter dual: alimento + servicio. El primer elemento satisface las necesidades fisiológicas las cuales

tienen un límite, mientras que el segundo elemento se diversifica y extiende a medida, que crece el nivel de vida. Este nuevo elemento de la demanda es el que utilizan las empresas para desarrollar sus estrategias de “marketing” para cada producto (González, 1988).

Este comportamiento también se observa en economías menos desarrolladas en las que, aún el consumidor de menores recursos, por el llamado “efecto demostración” y por la publicidad, es inducido a adquirir alimentos con alto valor agregado.

Estas transformaciones han determinado que la Industria Alimentaria y las Grandes Cadenas de Distribución maximicen su rédito incorporando valor agregado a través de las utilidades no alimentarias, tales como la comodidad, la variedad y la novedad. Además, la globalización de la economía obliga a las empresas a innovar tanto en procesos como en productos. Esta es una de las razones para la aparición de los alimentos funcionales, alimentos formulados, fortificados, etc. En este sentido, la utilización de los llamados ingredientes funcionales, ha tenido un gran impulso.

Esa necesidad de las empresas de formular nuevos productos, estimuló la búsqueda y el redescubrimiento de fuentes de proteínas, lípidos, minerales, vitaminas y carbohidratos. Es interesante destacar los numerosos trabajos de investigación acerca de la funcionalidad de proteínas, de los hidrocoloides, como también de otros componentes que caen en la categoría de nutracéuticos y funcionales (Añón y Molina Ortiz, 2003).

Es así que la innovación de nuevos productos implica la utilización de ingredientes con propiedades funcionales adecuadas al tipo de alimento a formular, y por lo tanto, es necesario conocer en primera instancia las propiedades fisicoquímicas de tales ingredientes.

1.1.2. Importancia de los hidrocoloides.

Las proteínas y los polisacáridos son las dos clases de biopolímeros más utilizadas como ingredientes en la industria de alimentos, aunque en muchos casos los ajustes de las formulaciones se realizan empíricamente.

Resulta entonces de gran importancia el conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de estos biopolímeros. Una de las aplicaciones de los hidrocoloides está relacionada con la capacidad de aumentar eficazmente la viscosidad de las dispersiones en las que participan y los cambios en las propiedades reológicas del sistema son dependientes de la estructura molecular y de las propiedades relacionadas con la hidratación. Esto ha promovido el interés de muchos investigadores, no sólo para estudiar el comportamiento reológico de los hidrocoloides comercialmente disponibles, sino también para la búsqueda de nuevas fuentes, que permitan promover el consumo de algunos cultivos no desarrollados todavía industrialmente, tales son los casos de las gomas algarrobo, flanboyán, etc., (Basurto, 2001; Peterson y Johnson, 1978).

1.2. Hidrocoloides

1.2.1. Los hidrocoloides : tipos y usos.

Los seis constituyentes básicos de los alimentos son agua, lípidos, carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales. Un importante grupo de carbohidratos usados en alimentos son los polisacáridos, que son polímeros conformados por unidades de azúcares simples (Sanderson, 1996).

Los hidrocoloides (“gomas”) son ampliamente utilizados a nivel mundial (Richardson et al., 1998) en diversos tipos de Industrias, entre las que se pueden destacar: confitería, dulces, jugos y bebidas, como estabilizante en alimentos de bajas calorías, en la industria farmacéutica (pastillas, píldoras), en cosméticos, en perfumería, en la industria minera como coadyuvante para producir la flotación en algunos casos o impedirlos en procesos de

extracción (Ma y Pawlik, 2007), en la industria de la explotación gasífera en la que se emplea como espesante para provocar fracturas en el suelo que facilitan la salida del gas (Ma y Pawlik, 2007) y para otros fines industriales (textiles, pinturas, barnices, colas, adhesivos, tinta de escribir e imprenta, etcétera).

Aunque posean diferentes funcionalidades, la más utilizada en alimentos, es la de aumentar la viscosidad y/o formar geles al dispersarse en agua. Por esta razón, se utilizan frecuentemente, como agentes espesantes o gelificantes (Andrade et al., 1999). Sin embargo, esta definición es imperfecta, porque a menudo los espesantes pueden formar geles y los agentes gelificantes pueden ser utilizados como espesantes.

Cuando son usados para impartir viscosidad a las fases acuosas en alimentos, proveen textura, "cuerpo" y "mouthfeel" (sensación en la boca). También se utilizan para evitar la separación de materiales dispersos, es decir, se utilizan para estabilizar suspensiones (sólidos en agua), emulsiones (aceite en agua), y espumas (gas en agua). Como resultado, es común referirse a ellos como agentes de suspensión o, erróneamente, agentes emulsificantes o espumantes (Sanderson, 1996; Garti et al., 1997; Brummer et al., 2003).

Debido a su habilidad para ligar agua, los espesantes pueden también impartir condiciones de estabilidad a los ciclos de congelado/descongelado (Patmore et al., 2003; Bolliger et al., 2000; Regand y Goff, 2003) y controlar la sinéresis (eliminación de agua durante el almacenamiento, siendo este una de las principales aplicaciones de la goma garrofin). No pueden sin embargo, lograr una disminución significativa en la actividad acuosa, debido a que ésta es una propiedad coligativa que depende del número de moléculas en solución. Las gomas normalmente tienen un alto peso molecular y se usan en niveles muy bajos

por lo que generan una baja concentración de moléculas en la fase acuosa (Sanderson, 1996)

Los agentes gelificantes poseen muchas de las propiedades que son propias de los espesantes. La distinción entre uno y otro depende de su habilidad de convertir el agua desde un líquido que fluye a un sólido desmoldable o gel y esta propiedad se manifiesta a bajas concentraciones (Sanderson, 1996).

1.2.2. Dispersión e hidratación.

Para que las propiedades funcionales de las gomas puedan ser observadas, éstas deben ser hidratadas en agua. Esto se refiere normalmente a la preparación de la solución, aunque son en realidad dispersiones coloidales. Para una efectiva hidratación, primero es necesario asegurar que todas las partículas individuales que constituyen el polvo seco se separen rápidamente unas de otras cuando se agrega la fase acuosa. Esto previene la formación de agregados, en los que cada partícula individual consiste en: a) una parte exterior de la partícula húmeda e hinchada y b) una parte seca y no hidratada en el interior.

Existe un número de opciones para realizar una buena dispersión. El más importante es el uso de un mezclador eficiente. Otros incluyen la dispersión del polvo en aceite, en un solvente miscible en el agua (como el propilenglicol), etc. Alternativamente, la goma puede ser mezclada con otros ingredientes secos de la formulación. El azúcar es particularmente apropiado para esto.

Una vez que las partículas han sido desplazadas, la hidratación puede tener lugar. Obviamente, las partículas más pequeñas se hidratarán más rápido que las más grandes. Por otro lado, las partículas más grandes pueden ser más fácilmente dispersadas. Para aquellas gomas que son insolubles a temperatura ambiente, la

dispersión no es usualmente un problema. Sin embargo, la hidratación requiere un calentamiento posterior. Precisamente una de las mayores ventajas de muchos almidones es la insolubilidad en agua fría, esto permite que sean dispersados fácilmente y luego hidratados por cocción.

En el momento en que la goma ha sido debidamente hidratada, lo más importante relacionado con su comportamiento, es la característica reológica que imparte a la solución acuosa. Muchas soluciones de espesantes son pseudoplásticas y cada una posee características propias (Sanderson, 1996).

1.2.3. Gelificación.

La gelificación es la conversión de un líquido en un "gel" desmoldable y es el resultado de la habilidad de un agente gelificante para formar una red tridimensional con cadenas moleculares individuales interconectadas de una manera específica, que permite retener el agua. Así como la dispersión y la hidratación son de importancia fundamental también en el caso de agentes gelificantes, es necesario determinar el tiempo y la temperatura adecuada para la gelificación (Sanderson, 1996).

Debido a la complejidad estructural y al hecho de que cada agente de gelificación tiene sus propios requerimientos para ser utilizado con efectividad, su uso es frecuentemente más difícil que el de los agentes espesantes, ya que el control de las variables de proceso para estos últimos es más simple (Sanderson, 1996).

El método más común de formar geles es por enfriamiento de soluciones previamente calentadas. Aunque agentes gelificantes, como el alginato y la pectina de bajo metoxilo, pueden formar geles por asociaciones ínter-cadenas inducidas por iones, frecuentemente sin calentamiento ni enfriamiento.

Los geles son de apariencia sólida, sin embargo pueden contener más de un 99% de agua, reteniendo ésta, muchas de las propiedades del agua líquida. Además, cuando un gel o trozo de gel es inmerso en un medio ambiente líquido, algunos solutos de bajo peso molecular son capaces de difundir dentro y fuera del gel hasta alcanzar el equilibrio. Un caso puntual es el de los fluidos formados al romper la formación del gel por agitación durante el tiempo de formación del mismo. El producto obtenido tiene tanto propiedades de gel como de líquido y por esta razón ha sido denominado, “gel fluido” (fluido viscoelástico) (Sanderson, 1996).

1.2.4. Agentes espesantes

El almidón, aunque no es considerado generalmente como una goma, es el hidrocoloide más ampliamente utilizado en la industria de alimentos (es el único polisacárido natural digerible).

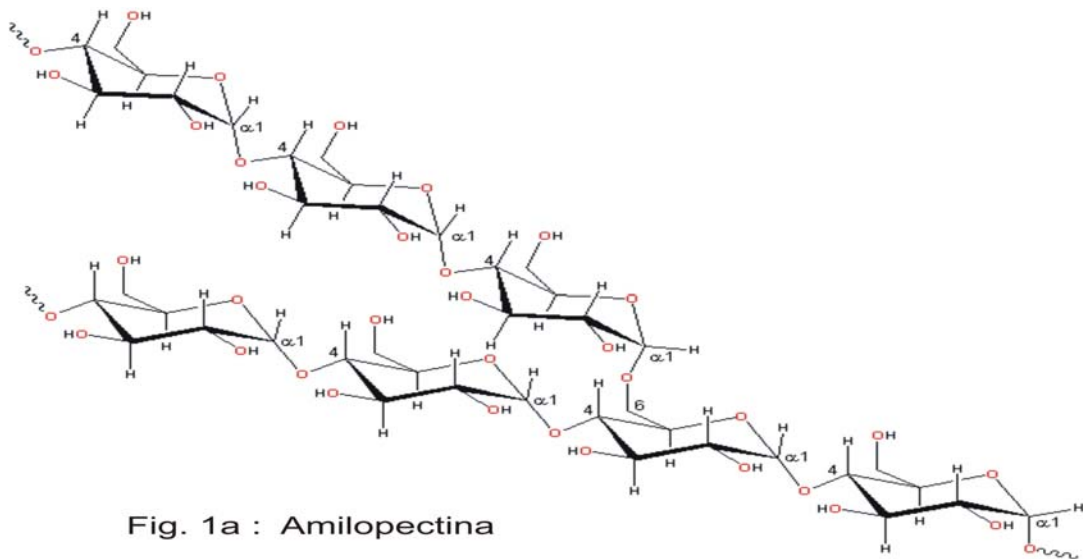


Fig. 1a : Amilopectina

También se obtienen derivados del almidón modificados químicamente (Tófano et al., 2005). Estas modificaciones consisten en: a) producir uniones entre moléculas ("cross linking") que refuerzan la estructura interna del gránulo de almidón, confiriéndole mayor resistencia a la cocción o b) realizar una sustitución de

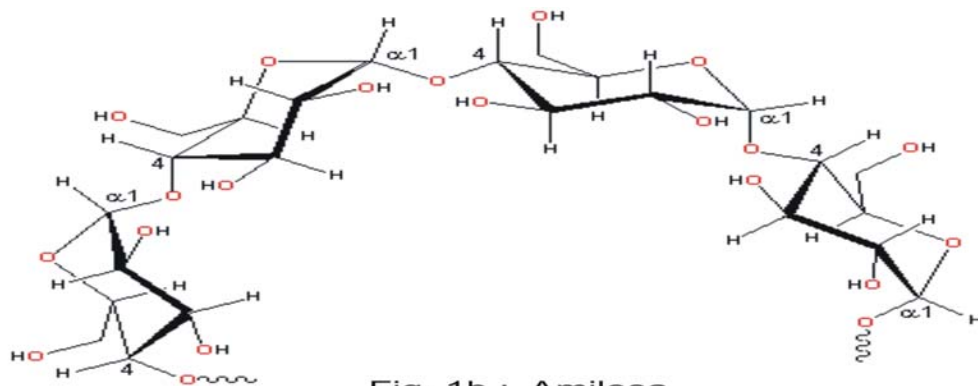


Fig. 1b : Amilosa

algunos grupos alcohólicos (eterificación o esterificación), con grupos relativamente más grandes (acetatos, fosfatos, etc.) que interfieren la asociación ínter cadenas y por lo tanto confieren una mayor estabilidad en frío al producto (Sanderson,1996; Han y BeMiller, 2007).

La celulosa es otro polisacárido cuyo monómero es la glucosa, al igual que el almidón, pero que en forma natural no es soluble en agua, ni siquiera a alta temperatura debido a la fuerte interacción entre cadenas. Por ello los que se utilizan como hidrocoloides son sus derivados obtenidos por modificación química,

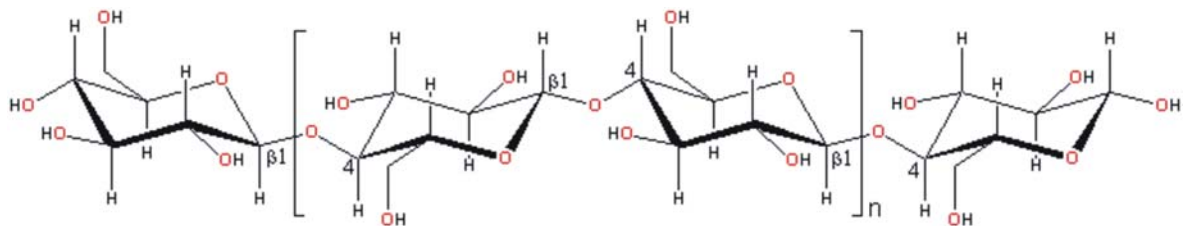


Fig.1c : Celulosa

siendo el más importante en alimentos la carboximetilcelulosa o CMC

Los grupos carboxilos cargados negativamente confieren solubilidad a la molécula

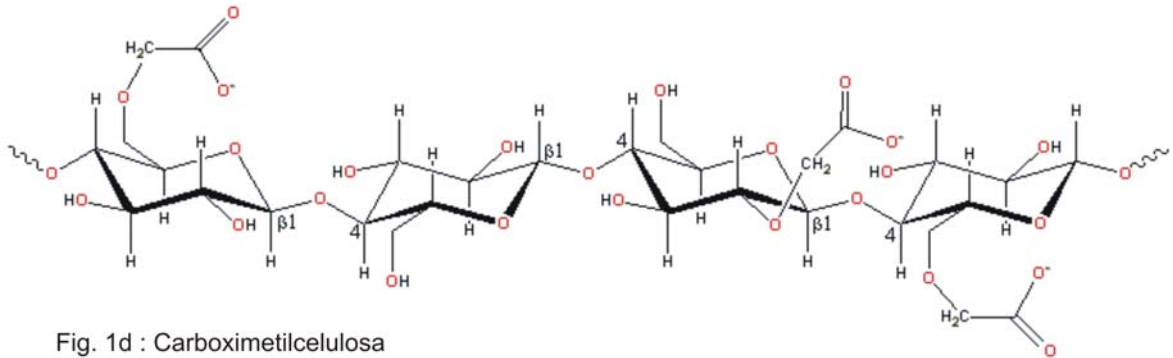


Fig. 1d : Carboximetilcelulosa

de celulosa y controlan la reología de la solución. La CMC es un espesante

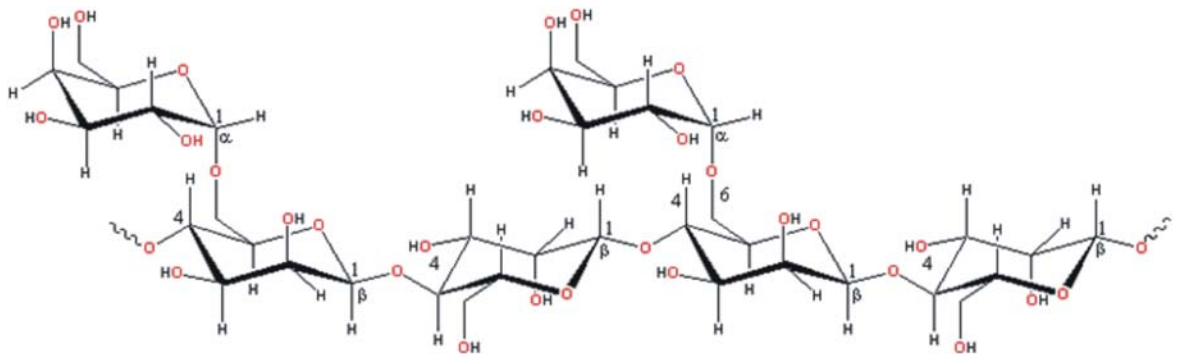


Fig. 1e : Guar

multipropósito y junto a otros sustitutos celulósicos, produce soluciones extremadamente claras (una ventaja distintiva para un gran número de alimentos). Otros derivados muy utilizados son la metil, hidroxipropil e hidroxipropil metilcelulosa y la celulosa micro cristalina. Esta última, es ampliamente utilizada como sustituto de grasas en combinación con otros hidrocoloides que le otorgan una mayor estabilidad (Sanderson, 1996; Tófano et al., 2005).

Luego del almidón, la goma guar es el espesante más ampliamente utilizado en alimentos, debido principalmente a su relativo bajo costo. Esta se obtiene de

semillas y, como otros espesantes aprobados para alimentos, como la goma LBG (Locust bean gum o Goma Garrofin), es un galactomanano, que consiste en un esqueleto de manosa el cual aumenta su solubilidad en agua por la presencia de unidades simples de galactosa, como cadenas laterales. La solubilidad de este y

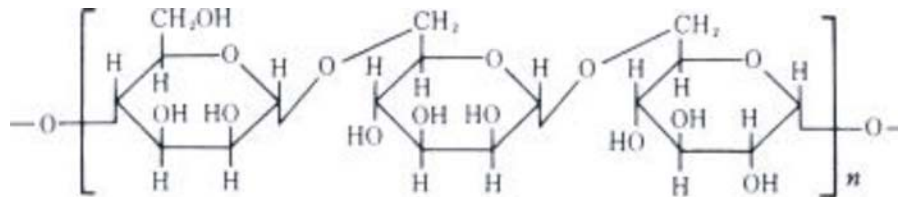


Fig. 1g : Konjac

otros galactomananos se incrementa con el número de cadenas laterales (Tófano et al., 2005).

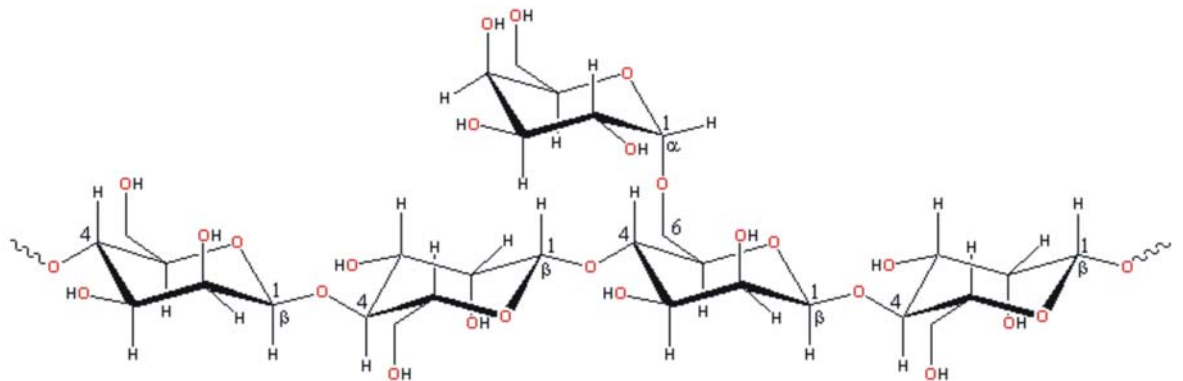


Fig. 1f : Locust Bean (Garrofin)

La goma guar posee un alto grado de sustitución, mayor que la locust bean gum, por lo que es soluble en agua fría, mientras que la LBG requiere calentamiento (Sanderson, 1996).

Otros espesantes utilizados por la industria son las gomas Konjac, Tragacanto, Karaya, Arábica. Estas tres últimas son exudados de árboles, como respuesta de

los mismos a cortes que se efectúan en su tronco y ramas (los *Prosopis* son capaces de generar gomas por exudado (Vernon Carter y Sherman, 1980).

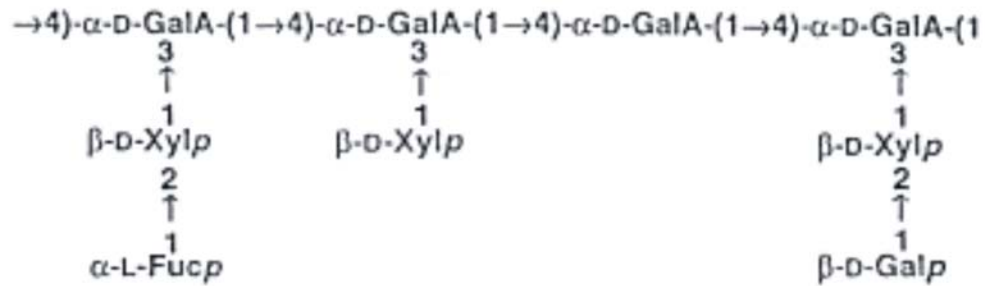


Figura 1h : Acido Tragacántico, de donde se deriva la goma tragacanto.

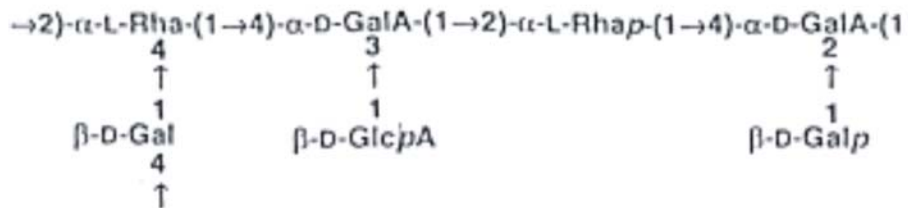


Figura 1i. Goma Karaya

La goma arábica es también muy utilizada en alimentos (Tófano et al., 2005). Es empleada para estabilizar emulsiones bebibles y la única que puede prepararse en altas concentraciones, hasta del 50% (Sanderson, 1996).

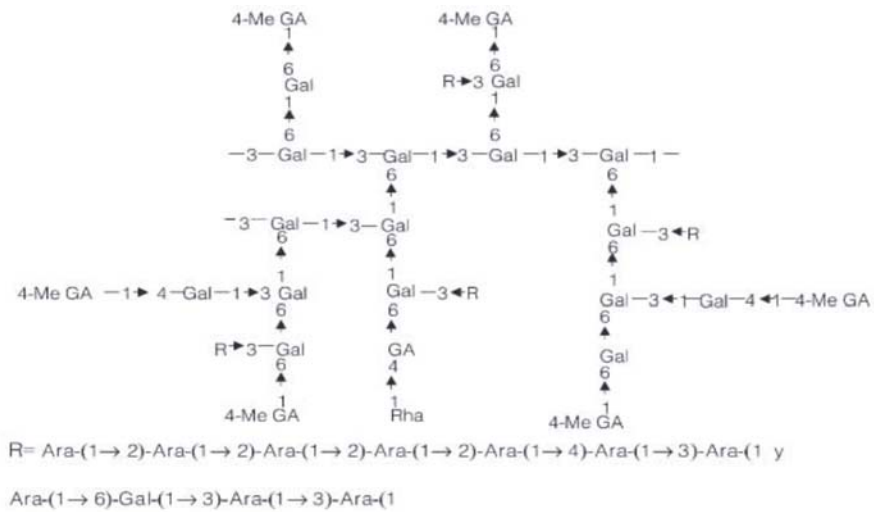


Figura 1j : Goma Arábica

La goma xántica, producida por el microorganismo *Xanthomonas Campestris*, fue el primer polisacárido proveniente de bacterias que se aprobó en alimentos. A

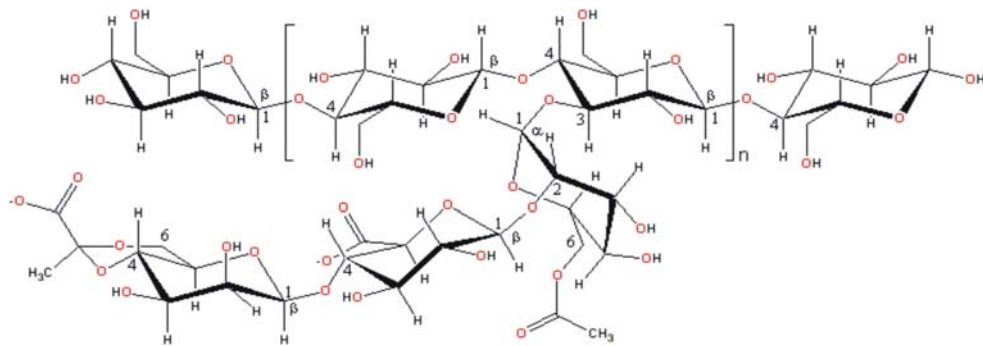


Figura 1k : Goma Xántica

partir de su introducción en el mercado en la década del 60, ha sido el espesante y estabilizante elegido en una amplia variedad de aplicaciones (Sanderson, 1996; Prentice, 1984 a; Tófano et al., 2005).

metoxilo de aproximadamente 50%. La pectina HM requiere bajo pH (menor a 3,5) y alto contenido de sólidos solubles (mayor de 60 Brix) para formar geles. La pectina LM forma geles a través de uniones calcio que inducen asociación inter cadenas (Sanderson, 1996).

Las algas Rojas proveen carragenato y agar. Las tres formas idealizadas de los carragenatos son *Kappa*, *iota* y *lambda* y difieren estructuralmente una de otra en términos de sus contenidos respectivos de ésteres del sulfato y del contenido de 3,6-anhidrogalactosa (Tófano et al., 2005). El *Kappa* y el *iota*, ambos conteniendo 3,6-anhidrogalactosa, forman geles mientras que el *lambda*, que no tiene el azúcar, funciona como espesante (Spagnuolo et al., 2005). La gelificación es favorecida por cationes, potasio en el caso de geles brillantes de *Kappa* carragenato y calcio para los geles elásticos de *iota* carragenato. Una notable característica de los carragenatos es su habilidad, bajo condiciones apropiadas, para estabilizar el caseinato en productos lácteos (Sanderson, 1996; Hemar et al., 2002).

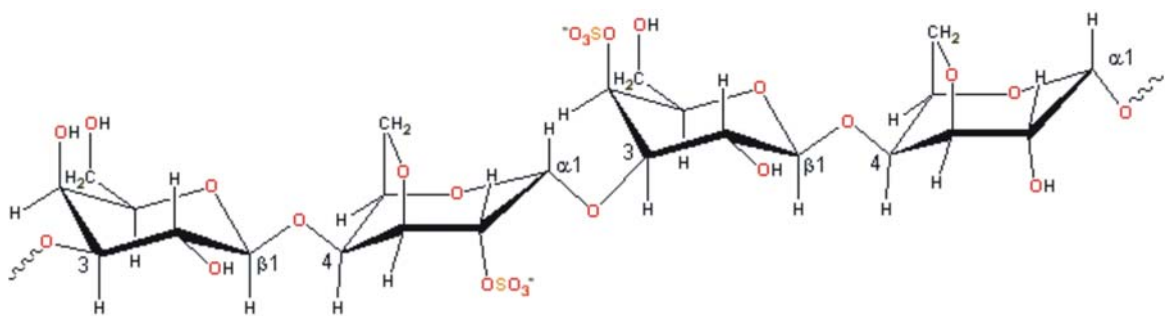


Figura 1n : Carragenato

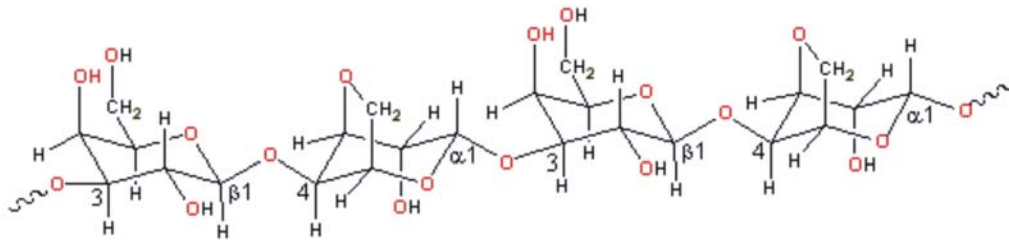


Figura 1o : Agar - Agar

L

Los alginatos son polímeros lineales compuestos por ácido manurónico y gulurónico (Tófano et al., 2005) y sus propiedades más importantes en alimentos es la habilidad para interactuar con cationes calcio. Estas interacciones producen un incremento en la viscosidad a bajos niveles de calcio agregado y a medida que se aumenta el nivel de calcio se produce la formación de gel. El alginato de propilenglicol, diseñado para obtener una mejor estabilidad a los ácidos, es un estabilizante muy popular en bebidas, jarabes, aderezos para ensalada y cerveza (Sanderson, 1996).

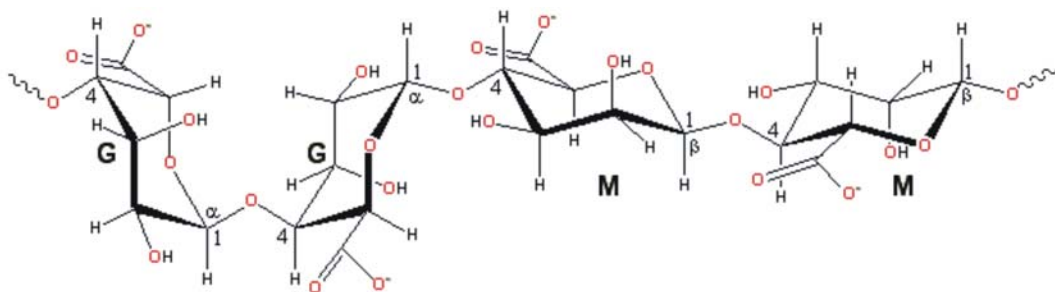


Figura 1p : Alginatos

La goma gellan, que es otro polisacárido obtenido a partir de bacterias, recién en 1988 recibió su aprobación para ser utilizada en alimentos en Japón. Se utiliza en la producción de helados, rellenos, geles, jaleas y mermeladas con bajo contenido de azúcar, budines y

masas de panadería (Tófano et al., 2005). La claridad de sus geles, la liberación de aromas y la estabilidad a los ácidos son otras características útiles (Sanderson, 1996).

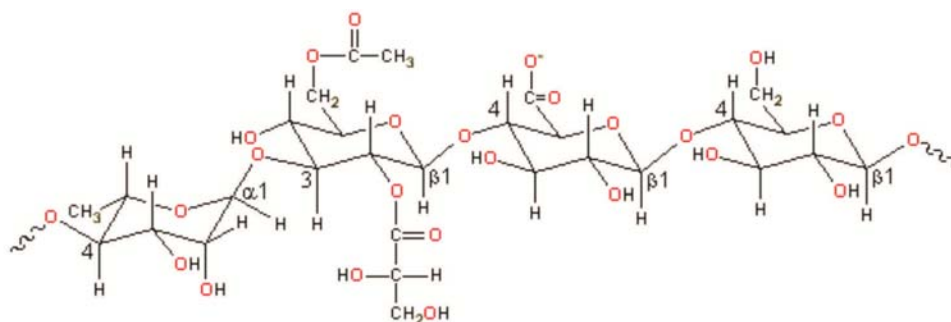


Figura 1q : Goma Gellan

1.2.6. Algunas interacciones de interés.

Los galactomananos goma guar y garrofin son hidrocoloides que se utilizan como espesantes en diferentes tipos de aplicaciones (Richardson et al., 1997; Mao y Rwei., 2006). Se han estudiado sus propiedades de solubilización (Wang et al., 2002; Wang et al., 2003; Wang et al., 2006), así como el comportamiento reológico de sus soluciones en presencia de otros hidrocoloides.

Una de las características más importantes de los galactomananos es la habilidad para interactuar con la goma xántica. Ya que estas interacciones son el resultado de la asociación entre la molécula de "xántica" y las regiones no sustituidas de la cadena principal de manano del galactomannano, esta unión es más fuerte con la locust bean gum menos sustituida, dando lugar a la formación de geles elásticos por encima de un 0,4% de concentración total de goma. La goma guar no forma geles con la xántica pero da un efecto sinérgico de incremento en la viscosidad (Wang et al., 2002a; Wang et al., 2002b, Mao y Rwei, 2006; Schorsch et al., 1997; Khouryieh et al., 2006).

Los galactomananos, que no poseen carga, tienden a ser menos susceptibles a extremos de temperatura, pH y deformación que otras gomas. Se han investigado las interacciones de los galactomananos con geles de pectina-calcio, observándose un efecto sinérgico en las propiedades del gel (Lopes da Silva et al., 1990, Lopes da Silva et al., 1996), como así también su capacidad para estabilizar geles de κ -carragenato por el agregado de goma garrofin (Lundin y Hermansson, 1995) y guar (Costell et al., 1992), o como coloide protector de la caseína debajo de su punto isoeléctrico (Sprenger, 1990)

También existen estudios en los cuales se demuestra un fuerte sinergismo entre las gomas Guar y Garrofin en presencia de almidón de Trigo y Maíz (Alloncle et al., 1989).

La goma garrofin es la más utilizada en los postres congelados, quesos cremosos y productos lácteos fermentados, impartiendo una textura corta y compacta en quesos cremosos mejorando el corte y el "mouthfeel". En helados es excelente para el control a los cambios de temperatura, mejora el cuerpo de la mezcla, previene el crecimiento de los cristales de lactosa y ayuda a prevenir la formación de "jarabe de azúcar pegajoso" cuando el helado se somete a ciclos de congelado-descongelado (Kök, 2007).

1.2.7. Gomas de interés para esta tesis: Guar y Garrofin

Del amplio espectro de hidrocoloides mencionados anteriormente, nuestro interés se concentra en las propiedades y usos de dos de ellos: las gomas guar y garrofin pues como se discutirá más adelante los hidrocoloides obtenidos de otros *Prosopis* presentan relaciones manosa:galactosa comprendidas entre estas dos.

Los galactomananos, poseen una cadena principal compuesta por unidades de D-manopiranosas con enlaces glicosídicos β -1,4 con cadenas laterales de D-galactopiranosas a través de enlaces α -1,6 (Figueiredo, 1983; Elfak et al., 1977; Lopes da Silva et al., 1990; Dressler et al., 2003; Mao y Chen, 2006; Dakia et al., 2007).

Goma Guar (Guar Gum): se obtiene de las semillas de la *Cyanopsis Tetragonolobus* que es una planta leguminosa similar a la soja. Sus vainas crecen en forma de racimos a lo largo del tallo, tiene unos 10-12 cm de largo y poseen entre 6 y 9 semillas. Al igual que la goma garrofin el endospermo representa un 35-42% de la semilla. Su estructura se observa en la figura 1e.

Su peso molecular es variable: Elfak et al. (1977) informa que el mismo está comprendido entre 220.000 a 250.000, mientras que Richardson et al. (1998) reporta un peso molecular cercano a 1.000.000 g/mol. La relación manosa:galactosa es variable: Richardson et al. (1998) propusieron 1,7:1, mientras que All-Hazmi et al. (1986), propusieron 2.99:1.

Goma Garrofin (Locust Bean Gum): se obtiene de los frutos del árbol *Ceratonia Siliqua* (*Prosopis*, familia *leguminosae*, subfamilia *caesalpinaceae*). Las vainas de esta especie son oscuras (10 – 30 cm de largo) y contienen unas 10 semillas por fruto. El endospermo, fuente del hidrocóide, representa aproximadamente 1/3 del peso de la semilla y un 8-10% del porcentaje de la vaina (Calixto y Cañelas, 1982), por lo que, el endospermo resulta un 2,4 – 3 % del peso del fruto. La composición aproximada de la semilla es: corteza 30–33%, endospermo 42–46% y germen 23–25% (Dakia et al., 2007). Su estructura se observa en la figura 1f.

Su peso molecular está comprendido entre 200.000 y 300.000 (Elfak et al., 1977; Richardson et al., 1998). La relación manosa:galactosa es variable 73:82 % (Al-

Hasmi y Stauffer, 1986; Lopes Da Silva et al., 1990; Bouzouita et al., 2007; Richardson et al., 1998) y depende del origen de la goma (Bouzouita et al., 2007; Azero y Andrade,2002).

La goma garrofin se hidrata parcialmente aumentando su volumen en agua fría pero debe ser calentada hasta unos 80°C para obtener su máxima dispersión. (Mao y Rwei, 2006). Estudios de solubilización de la goma comercial a diferentes temperaturas realizados por Lopes da Silva (1990) demuestran que a 20°C se obtiene una disolución del 38.2% de la goma con una relación manosa:galactosa promedio de 3,1, mientras que a 100°C se obtiene una disolución del 10% de la goma con una relación manosa:galactosa promedio de 7,73. Esto sugiere que el hidrocoloide está conformado por distintos polímeros cuya relación manosa:galactosa es variable.

Las gomas obtenidas del endospermo de las semillas de otros *Prosopis* presentan una amplia gama de relaciones manosa:galactosa, desde 1,32:1 (1,32 manosa : 1 galactosa) para *Prosopis pallida*, encontrado por Cruz Alcedo, (1999) , de 2:1 en *Prosopis flexuosa* informado por Ibáñez et al. (2003), a 4,2:1, para *Prosopis juliflora* determinado por Figueiredo (1983).

Todos los galactomananos presentan un comportamiento reológico similar respondiendo al modelo de la ley de potencia de $\eta = K * \gamma^{n-1}$ (Cruz Alcedo, 1999; Elfak et al., 1979), con un mayor apartamiento del modelo newtoniano de aquellos en el que la relación manosa:galactosa es menor .

1.3. Los Prosopis

1.3.1. El árbol

Los *Prosopis* o **algarrobos** constituyen una importante fuente de recursos para los pueblos de zonas áridas y semiáridas de Sudamérica y otras regiones del mundo. Los numerosos trabajos sobre la recolección de vainas de distintas especies del género utilizadas posteriormente en la fabricación de harina, pan, arrope, aloja, y su empleo como medicina, confirman su importancia (Roig, 1993; Meyer, 1984).

Se han establecido cuatro épocas en el empleo de los algarrobos:

- Una primera época primitiva.
- Una segunda que se inicia con la introducción del ganado europeo.
- Una tercera coincidente con el desarrollo ferroviario.
- Una cuarta, la actual, orientada a la conservación de las especies a través de planes de mejoramiento y la búsqueda de un uso sostenido (Roig, 1993).

El empleo de los vegetales ha constituido una parte importante de la alimentación en cualquier cultura. El proceso de cambio que ha experimentado la humanidad la ha conducido a una notable reducción de la utilización de numerosas especies como fuente alimentaria. El hombre modificó sus costumbres y se apartó cada vez más de la naturaleza que lo rodea, aunque en la actualidad existe una tendencia a reencontrar aplicaciones, descubrir usos, mejorar el aprovechamiento y reproducir técnicas perdidas o abandonadas (Roig, 1993; Meyer, 1984; Cruz Alcedo, 1999).

Existen referencias que indican la utilización de los algarrobos desde tiempo precolombinos. Se han encontrado semillas y vainas correspondientes a excavaciones de la cultura nazca en el Perú que tienen una antigüedad de entre mil cien a mil setecientos años. La información arqueológica indica asimismo la

existencia de frutos de algarrobos con una antigüedad aproximada de ocho mil años (Roig, 1993).

“El creciente y acelerado aumento de la población mundial impulsa un incremento permanente en la producción de alimentos para satisfacer las necesidades alimentarias. En este contexto, los gobiernos comienzan a volcar su atención a las zonas áridas y semiáridas del mundo. Las regiones áridas ocupan actualmente cerca del 43% de las tierras emergentes, distribuidas en las dos terceras partes de la superficie terrestre. América del Sur posee más del 18% de su área territorial con condiciones de acentuada aridez localizándose principalmente en Argentina (9,4%)” (Marti et al., 1990)

Existen proyectos, principalmente en Brasil y Perú, que se basan en los algarrobos para la recuperación de suelos pues poseen numerosas características ecológicamente deseables, ya que debido a su sistema radicular muy ramificado, se constituye en un protector contra la erosión (Figueiredo, 1983; Marti et al., 1990; Cruz Alcedo, 1999).

La selección de la planta para la reforestación, no se orienta a la obtención de madera para la producción de energía o celulosa, sino a su utilización en la producción de alimentos para el hombre y los animales. Para estos últimos constituye una parte esencial de su dieta, ya que en los meses más secos del año produce una cantidad satisfactoria de hojas y vainas, lo cual mejora la disponibilidad de alimentos de los rebaños de la región. El valor nutricional de las vainas de algarrobos en la alimentación animal ha sido resaltado por diversos autores (Meyer, 1984).

La madera del árbol se ha utilizado en la obtención de: combustible (transformada en carbón), postes, tirantes o vigas de viviendas rurales, galpones, marcos,

puertas y ventanas, fabricación de corrales, aljibes, telares, arados primitivos, rastras, postes para cultivo, ruedas de carros, mazos, mangos de hachas, morteros para trabajar el maíz o la algarroba, bateas para amasar , cucharas, etc. (Meyer, 1984)

1.3.2. La vaina

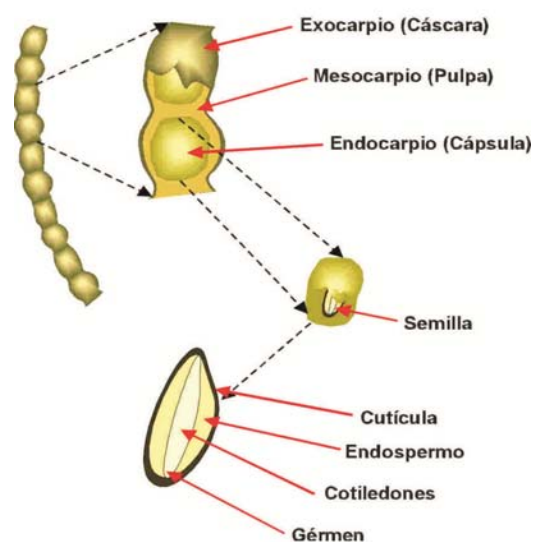


Figura 2

La recolección de la vaina se efectúa manualmente sometiéndose posteriormente a un proceso de secado natural o artificial que disminuye la actividad de agua hasta niveles que aseguran la estabilidad del fruto por un período de tiempo prolongado (Figueiredo, 1983 ; Meyer, 1984). El secado de la vaina produce cambios relacionados con el fenómeno de transición vítrea, pasando del estado “gomoso” cuando su contenido

de humedad es elevado, al estado vítreo cuando el contenido de humedad es inferior al 5% . En este estado, se puede reducir fácilmente su tamaño por procesos de molienda (Meyer, 1984). Los diferentes componentes del fruto de *Prosopis* se aprecian en la figura 2. La parte exterior, el exocarpio posee un elevado contenido de fibras y es relativamente blando (Meyer, 1984).

El mesocarpio contiene una gran proporción de azúcares, 40-45 % (Figueiredo,1983; Meyer, 1984; Cruz Alcedo, 1999), es blando y sumamente higroscópico (Meyer, 1984). El azúcar principal es la sacarosa con contenidos

sensiblemente inferiores de glucosa, fructosa y maltosa. Contiene bajas proporciones de proteína bruta, grasas y cenizas (Meyer, 1984).

El endocarpio, posee un elevado contenido de fibra al igual que el exocarpio, aunque en condiciones adecuadas de humedad (estado vítreo del resto del fruto) se vuelve quebradizo, facilitando de esta manera la liberación de la semilla. Los equipos y las técnicas de molienda aplicadas en la industria, permiten esta operación (Meyer, 1984).

Por último se encuentra la semilla, que representa alrededor del 10 % del fruto y está formada por tres elementos estructurales perfectamente diferenciados, como puede observarse en la Figura 2.

La parte exterior (cutícula) es de naturaleza fibrosa, muy dura, y está constituida principalmente por celulosa, lignina y taninos y representa un 30-33% de la semilla. De ella pueden obtenerse colorantes, carbón activado y extractos tánicos que son utilizados en la industria textil, química y alimentaria (Figueiredo, 1983; Meyer, 1984).

Luego se encuentra el endospermo, que es la reserva de la semilla y la parte más importante del fruto desde el punto de vista económico con un contenido de polisacáridos de 42-46% (Meyer, 1984). El análisis de estos polisacáridos indica que se trata de galactomananos (Figueiredo, 1983; Meyer, 1984) que se incluyen en la categoría de hidrocoloides.

Los cotiledones y el germen son de naturaleza proteica, y constituyen un 23-25 % de la semilla. Las semillas de leguminosas son utilizadas para la alimentación en casi todas las áreas templadas y tropicales del mundo, siendo en muchas regiones una de las principales fuentes de proteínas. Esas semillas contienen un elevado contenido proteico, que varía del 17 al 40 % en los granos secos.

1.3.3. El mercado

De acuerdo a lo informado por INCUPO (1998) e l incremento del consumo de frutos de algarrobo se explica por la mayor demanda de productos naturales y el menor precio del hidrocoloide que se obtiene de sus semillas. Debido a la escasez de materia prima, el cultivo de algarrobo de los principales países productores, se ha transformado de un cultivo silvestre a uno intensivo y tecnológicamente avanzado.

Datos publicados en España, en el año 1990, indican que el mercado para los frutos de algarrobo está definido por dos usos principales: el mercado del mesocarpio y el de la semilla. España absorbe toda la producción de mesocarpio y exporta un excedente que representa unas 35.000 - 40.000 tn anuales.

El consumo mundial de goma garrofin es de aproximadamente 30.000 tn anuales, siendo el precio de comercialización en Argentina de \$ 16 u\$s/kg. En nuestro país se utiliza principalmente en la producción de dulce de batata con un consumo de gomas de 200.000 kg por año, lo que representa unos 3.000.000 u\$s a valor de mercado.

1.4. Algunos aspectos relacionados con la viscosidad

Los conocimientos sobre la viscosidad y propiedades de flujo de las dispersiones son de importancia práctica en la formulación de alimentos. Para el caso de alimentos fluidos tales como: sopas crema, bebidas, etc. la obtención de reogramas utilizando viscosímetros adecuados tales como los de cilindros concéntricos (de separación pequeña entre cilindros o "narrow gap") es suficiente para caracterizar tales fluidos. No obstante, para el caso de sistemas concentrados tales como pastas, emulsiones, geles, etc. la evaluación reológica

se complica ya que las características viscoelásticas deben ser tenidas en cuenta (Bistany y Kokini, 1983).

La viscosidad de las dispersiones está influenciada por las propiedades hidrodinámicas de sus componentes, por ejemplo, el tamaño y la forma de las partículas. Estas a su vez son afectadas por el pH, la fuerza iónica y los tratamientos durante el procesamiento, que alteran la conformación, la estructura, grado de agregación, hidratación e hinchamiento (Dintzis y Bagley, 1995).

La viscosidad de un fluido (η) se define como la fricción interna o su resistencia al flujo. Su expresión matemática está determinada por la relación entre el esfuerzo de corte (τ o fuerza por unidad de área tangencial) y el gradiente de velocidad (D o variación de la velocidad en la dirección perpendicular al plano de aplicación del esfuerzo de corte). Así la viscosidad de un fluido queda expresada como:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad (1)$$

La viscosidad o coeficiente de viscosidad se expresa en poises o en Pa.s, correspondiendo 1 poise a 0,1 Pa s. Para un fluido newtoniano la viscosidad es independiente de D , sólo depende de la temperatura y de la composición. Para un fluido no-newtoniano, la relación $\tau = \eta D$, ya no es lineal. Para estos casos la viscosidad puede crecer (fluido dilatante) o disminuir (fluido pseudoplástico) con el aumento de D . Entonces la viscosidad para un dado valor de D se expresa como viscosidad aparente:

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{D} \quad (2)$$

Para describir el comportamiento del fluido se realiza el reograma: $\tau = f(D)$. La clasificación reológica de los fluidos se deriva de la gráfica obtenida. Por ejemplo, se

pueden reconocer dos grandes tipos de fluidos: aquellos cuyos reogramas arrancan desde el origen, es decir para $D = 0$, $\tau = 0$ (fluidos puros) y aquellos en cuyos reogramas se observa la existencia de una tensión inicial τ_0 a partir de la cual comienza a crecer D , es decir, comienza a fluir. Estos son los llamados fluidos plásticos. Para el caso de los fluidos puros, una función muy utilizada para representar el comportamiento es la función de potencia:

$$\tau = K * D^n \quad (3)$$

Cuando n es mayor que 1 el fluido es dilatante, cuando n es menor que 1 es pseudo plástico y cuando n es igual a 1 es newtoniano. Para el caso de los fluidos plásticos, también se utiliza la función de potencia pero agregando la tensión inicial o de fluencia:

$$\tau = \tau_0 + kD^n \quad (4)$$

En el caso particular de que n sea igual a 1, el modelo corresponde al plástico de Bingham (Muller, 1973).

En realidad, se han propuesto otras clasificaciones tratando de agrupar los distintos modos de comportamiento de los materiales. No obstante se debe reconocer que tales comportamientos están incluidos en toda la gama que va desde un extremo caracterizado por el sólido elástico ideal (modelo de sólido elástico que sigue la ley de Hooke) al otro extremo caracterizado por el fluido newtoniano. Así, se incluyen los sólidos viscoelásticos, los fluidos viscoelásticos, los plásticos inelásticos, etc. (Muller, 1973). Los materiales viscoelásticos se caracterizan por presentar simultáneamente las propiedades típicas de los sólidos y de los líquidos, es decir la elasticidad y la viscosidad. Estos materiales, presentan dos comportamientos característicos de la viscoelasticidad: la relajación de la tensión (disminución de la tensión necesaria para mantener una cierta deformación en un tiempo relativamente breve) y recuperación parcial de las dimensiones originales luego de

haber sido deformado durante un cierto tiempo. Los sólidos viscoelásticos presentan una aparente rigidez en reposo, y las características elásticas son más manifiestas que las viscosas, mientras que los fluidos viscoelásticos no muestran rigidez aunque la elasticidad se manifiesta durante la deformación (Muller, 1973).

Se debe destacar que en alimentos, el fenómeno de dilatancia es muy raro y sólo se ha observado en algunas dispersiones a alta concentración de sólidos (dispersiones de almidón al 50%). En general, las soluciones acuosas con solutos de bajo peso molecular, tales como: jugos de frutas clarificados, jarabes de azúcar, bebidas carbonatadas, etc. presentan comportamiento newtoniano. Las dispersiones (emulsiones, suspensiones, etc.) son en general no newtonianas, aunque en condiciones diluidas pueden presentar comportamiento newtoniano (Rao, 1986).

La concentración a la cual el comportamiento no newtoniano se hace evidente depende del tamaño y morfología de los componentes de la dispersión. Por ejemplo, la leche presenta comportamiento newtoniano en un amplio rango de concentraciones, mientras que para dispersiones de proteínas de soja el comportamiento no newtoniano aparece a concentraciones superiores al 6%. En estos dos sistemas las partículas dispersas presentan morfologías globulares y el alejamiento del comportamiento newtoniano se atribuye a las fuerzas de interacción entre partículas (Dickinson y Mc-Clements, 1996).

Un caso particular, lo constituyen las dispersiones de macromoléculas tales como las gomas (xántica, guar, alginatos, carrageninas) para las cuales el comportamiento no newtoniano aparece en concentraciones tan bajas como del 1%, siendo más pronunciado para la goma xántica que para las otras, lo cual es atribuido a la mayor intensidad de interacciones moleculares que presenta esta última promovida por su estructura ramificada (Morris, 1998).

Finalmente, se puede mencionar el caso de las dispersiones proteicas de soja, para las cuales el alejamiento del comportamiento newtoniano se produce a concentraciones relativamente bajas, no obstante, la dependencia de la viscosidad con el aumento de la concentración se hace menos pronunciada cuanto menor sea el grado de desnaturalización proteica (Remondetto et al., 2001)

A medida que la concentración de la dispersión aumenta, la viscosidad va aumentando, al principio de manera lineal y luego, a partir de una cierta concentración crítica, el incremento es de mayor orden, el cual depende del tamaño y forma de las partículas; pudiéndose utilizar una función de potencia cuyo exponente expresa la intensidad de las fuerzas de interacción entre partículas (Remondetto et al., 2001:

$$\eta = K C^m \quad (5)$$

donde η : viscosidad a un gradiente de velocidad constante, C : concentración de sólidos en g / 100 ml, K y m : parámetros de la regresión.

Superada la concentración crítica (alejamiento del régimen diluido) las partículas hidratadas interaccionan entre sí. Tales interacciones se hacen más evidentes cuanto mayor es el radio hidrodinámico y mayores son las fuerzas de atracción entre partículas. Estas fuerzas de interacción determinan el comportamiento viscoelástico de las dispersiones concentradas (Harrod, 1989).

Por lo tanto, es importante destacar que la elección del instrumento para evaluar la viscosidad va a depender del tipo de fluido (Lagarrigue y Alvarez, 2001). Por ejemplo, para fluidos newtonianos, puede utilizarse cualquier viscosímetro aún los mas simples como el viscosímetro capilar de Ostwald, el de Stokes (caída de una esfera) o el de Stormer (cilindro rotacional con velocidad variable); sin embargo estos viscosímetros no pueden ser utilizados para fluidos no newtonianos para los cuales se deben utilizar los viscosímetros

de cilindros concéntricos con separación pequeña (“narrow gap”), de cono y plato o reómetros capilares. Para los casos en que las características viscoelásticas deben ser tenidas en cuenta, se deben utilizar reómetros que permiten realizar ensayos dinámicos, es decir, variación de tipo sinusoidal de bajas deformaciones con control de la frecuencia que son muy sensibles y capaces de medir muy bajas tensiones (Bistany y Kokini, 1983).

La metodología para evaluar propiedades reológicas en alimentos ha sido discutida por Prentice (1984 b). La caracterización reológica de las dispersiones de biopolímeros a través de las técnicas reológicas dinámicas se han difundido notablemente (Rodd et al., 2000). Cuando se trata de alimentos con características de sólidos, la evaluación de las propiedades mecánicas utilizando compresímetros es una buena alternativa.

1.5. Relación entre viscosidad de las dispersiones de hidrocoloides y las características sensoriales.

Aunque las dispersiones de hidrocoloides poseen sabor neutro, la adición de los mismos a los alimentos puede modificar la percepción o la liberación de componentes volátiles y no volátiles del “flavour”. En la bibliografía se encuentran trabajos en los cuales se demuestra que la intensidad del dulzor de soluciones de sacarosa disminuye con el aumento de concentración de hidrocoloides, es decir, con el aumento de la viscosidad (Cook et al., 2002; Christensen, 2001)

Baines y Morris (Cook et al., 2002) ha determinado que las soluciones de polisacáridos disminuyen su dulzor cuando la concentración del hidrocoloide se encuentra por encima de de la concentración crítica en la cual se produce el cambio de régimen diluido-semidiluido, al comenzar la interacción molecular (“coil overlap”) con un incremento muy significativo de la viscosidad. Por su parte Cook et al. (2002) encontraron que la hidroxipropil

metilcelulosa suprime el sabor salado por encima de la concentración crítica pero no tiene efecto sobre la acidez otorgada por el ácido cítrico o el amargor del cloruro hidroquinona.

Existe una metodología desarrollada por Brandt et al. (1963), denominada Método del Perfil de Textura (texturómetro de General Foods), el cual ha sido actualizado (Skinner, 1988) y en el cual se define el término Creaminess, el que puede ser traducido como cremosidad.

La cremosidad está compuesta por tres características:

- Viscosity . La viscosidad propia de la mezcla (pseudoplasticidad durante el movimiento de masticación o de la lengua).
- Smoothness. La suavidad de la mezcla, desde el punto de vista de su granulosidad. Por ejemplo, un polenta no es suave, mientras que una sopa crema si. Aunque si una sopa crema tiene verduras cortadas muy finas no tendrá suavidad pues se sentirán los trozos en la boca.
- Mouthcoating : es la capacidad de formar una película en la boca. Es la misma sensación que provoca el masticar alimentos que contienen grasas o aceites.
- Frost et al. (1984) desarrollaron una metodología para determinar de manera objetiva la relación entre la capacidad de formar película en el paladar (sliminess o mouthcoating) de dispersiones de polisacáridos y el comportamiento reológico de las mismas. Para ello trabajaron con dispersiones de diferentes polisacáridos que normalmente son utilizados en la industria alimentaria como espesantes, que no forman geles en las condiciones estudiadas y cuyas concentraciones fueron seleccionadas para obtener una una misma viscosidad a un bajo gradiente de velocidad ($rpm=1$ para viscosímetro Haake Rotovisco RV3). Luego determinaron el reograma de las dispersiones y aplicando la función de potencia obtuvieron los valores de K y n . Por otro lado se

suministraron las dispersiones a un panel el cual evaluó la intensidad de “sliminess”, asignándole a cada muestra un puntaje según una escala predeterminada. Posteriormente relacionaron el puntaje obtenido con el índice de consistencia, n , arribando a las siguientes conclusiones:

- Que existe una buena correlación entre el índice de consistencia y el puntaje.
- Que las muestras mas pseudoplásticas poseen un menor puntaje.
- Por otra parte, Shama y Sherman (1973) determinaron experimentalmente (en un diagrama logarítmico de tensión de corte vs. gradiente de velocidad la región (banda curva) que permite predecir el gradiente de velocidad que se establece entre la lengua y el paladar para percibir viscosidad de los alimentos fluidos (Szczecniak, 1979). Dicha región muestra que a medida que la viscosidad del fluido crece, el gradiente de velocidad al cual es percibida disminuye. Esta curva de Shama y Sherman, sugiere que para fluidos de muy alta viscosidad el gradiente de velocidad es prácticamente constante y la viscosidad es percibida a través del esfuerzo de corte aplicado entre la lengua y el paladar (Szczecniak, 1979). En el otro extremo para viscosidades muy bajas lo que se mantiene constante es el esfuerzo de corte y la viscosidad es percibida según el gradiente establecido.

1.6. Determinación de la viscosidad en dispersiones acuosas de los hidrocoloides

Es obvio que el conocimiento de los parámetros de la función de potencia correspondiente al reograma de las dispersiones acuosas de los hidrocoloides adquiere un valor significativo no sólo para conocer el valor de la viscosidad en determinadas condiciones,

sino también para disponer de la información necesaria para predecir de manera objetiva características sensoriales.

La mayoría de los trabajos que tratan la viscosidad de las dispersiones de hidrocoloides, particularmente de galactomananos, están referidas a mezclas con otros aditivos como azúcares (Elfak et al., 1977; Elfak et al., 1979; Richardson et al., 1998), otros hidrocoloides (Azero y Andrade, 2006; Camacho et al., 1998; Chen et al., 2001; Dunstan et al., 2001; Higiroy et al., 2007), proteínas (Alves et al., 1999; Alves et al., 2000; Alves et al., 2001; Doublier et al., 2000), sales (Ma y Pawlik, 2007; Kunkel et al., 1997), etc. Algunos de estos trabajos han tenido como objetivo dilucidar los aspectos estructurales e interacciones entre macromoléculas (Elfak et al., 1977; Elfak et al., 1979; Richardson et al., 1998; Ma y Pawlik, 2007). Sin embargo existen pocos trabajos referidos a la viscosidad de dispersiones de cada hidrocoloide en agua pura. Uno de los objetivos de la presente tesis fue la de determinar los reogramas de tres tipos de galactomananos, y estimar los parámetros de la función de potencia (n , K) para diferentes concentraciones y temperaturas.

2. OBJETIVOS

2.1 Introducción

2.1.1 Materia prima: El Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) firmó en el año 1994 un convenio con el Instituto de Cultura Popular (INCUPO-Reconquista) mediante el cual se comprometía a realizar la determinación de la composición fisicoquímica de diversos recursos naturales del monte chaqueño argentino. Entre estos productos se encontraban los frutos de tres especies de *prosopis*: *alba* (algarrobo blanco), *nigra* (algarrobo negro) y *ruscifolia* (vinal). Ante la importancia de los hidrocoloides para la industria y el hecho de que los consumidos en nuestro país son productos de importación, se planteó la necesidad de investigar acerca de las gomas que se pudieran obtener de los *prosopis* nativos. En ese momento existía una mayor disponibilidad de frutos de *prosopis alba* como para obtener una cantidad adecuada de semillas para la extracción de la goma, por lo que se decidió comenzar con esa especie.

2.1.2 Viscosímetro: El viscosímetro disponible en el ITA, es un HAAKE ROTOVISCO de cilindros concéntricos, cuya salida de datos consiste en un graficador que imprime sobre papel una línea continua que representa en el eje Y, el valor de la Tensión de Corte y en el eje X, el valor de la velocidad de deformación (gradiente de velocidad) a que es sometida la muestra.

2.2 Objetivos

2.2.1 Obtención del hidrocoloide

Aislar la goma de algarrobo a partir de las vainas mediante la adopción de un sistema de molienda y de un procedimiento de extracción.

2.2.2 Comportamiento reométrico

Comparar el comportamiento reométrico de la goma de algarrobo blanco respecto a las gomas Guar y Garrofín, para distintas concentraciones y temperaturas.

2.2.3 Software

- Desarrollar un software que permita cumplir con las siguientes funciones
- Transformar las señales analógicas de torque y r.p.m. generadas en el viscosímetro Haake mediante una tarjeta de adquisición de datos, en formato digital.
- Convertir los datos digitalizados de torque y r.p.m. en valores de Esfuerzo de Corte (Pa) y de gradiente de velocidad (1/s).
- Realizar el Tratamiento Estadístico de los valores transformados aplicando el modelo de la ley de potencia ($\tau = K \dot{\gamma}^n$) y/o el Newtoniano para cada reograma.
- Analizar los datos estadísticamente a los efectos de comparar las diferencias entre las muestras.
- Obtener una regresión múltiple para la viscosidad en función del gradiente, la concentración y la temperatura.
- Superponer los reogramas obtenidos y la curva de Shama-Sherman, con el objeto de estimar la viscosidad de la dispersión que sería percibida en la boca.

Materiales y Métodos

3.1. Obtención del Hidrocoloide

3.1.1. Acondicionamiento de la Muestra

Los frutos provistos por INCUPO, se obtuvieron de la zona “Las Lomitas” “Paraje el Sinbolar” en el Chaco Árido, Formosa, República Argentina. Una vez recolectadas fueron expuestas al sol durante 72 horas con el objeto de reducir el contenido de humedad a niveles adecuados para su envío. Posteriormente fueron remitidas al ITA en bolsas plásticas, las cuales desde el momento de recibidas se conservaron en cámaras a 4 ° C hasta el momento de su utilización. Los frutos de Prosopis así recibidos poseen aún un contenido de humedad elevado con una estructura blanda y no quebradiza; este tipo de material no puede ser molido en estas condiciones por lo que debe recibir previamente un nuevo proceso de secado (López Hernández et al., 1985; Meyer, 1984), lo cual fue realizado en estufa a 50 ° C, durante 72 horas.

Con esto se logró un contenido final de humedad de aproximadamente 4% y un producto que puede ser procesado en un molino sin inconvenientes.

3.1.2. Obtención de la semilla. Adopción del Esquema de Molienda.

Se utilizaron diferentes molinos para adoptar el sistema de molienda (combinación de molinos) que maximice el rendimiento en semilla. El Instituto de Tecnología de Alimentos posee entre su equipamiento de planta piloto, tres molinos de diferente tipo:

- Un molino de martillos fijos.
- Un molino de rolos tipo harinero.
- Un molino de discos paralelos con estrías concéntricas y poco profundas (Bico - Pulverizer Type , Bico Inc., Burbano, California)

Se realizaron ensayos previos para seleccionar la combinación de molinos y clasificadores (tamices y separador neumático) más adecuados y definir el esquema de molienda.

3.1.3. Obtención Cuantitativa del Porcentaje de Semillas.

Se realizó una determinación cuantitativa del rendimiento de semilla de manera manual a los efectos de comparar el rendimiento con el obtenido utilizando el esquema adoptado. Esta operación se realizó por quintuplicado con 150 g de fruto por muestra.

3.1.4. Obtención de la Goma de Algarrobo Blanco

La goma se separó de la semilla siguiendo el procedimiento aplicado por Vázquez et al. (1984), por el cual se atacó la cáscara sumergiéndola en una solución de hidróxido de sodio al 5%, se mantuvo a 75 °C durante 10 minutos. Luego se enjuagó para eliminar la solución caústica y se dejó en remojo por el término de 16 horas cambiando el agua periódicamente. Al cabo de este tiempo, la semilla absorbió una cantidad importante de agua y se hinchó rompiendo la cáscara pudiéndose observar claramente el endospermo hidratado y los cotiledones. El endospermo se dispersó en agua a 80° C, agitando durante 8 horas (Mazza et al., 1989; Bouzouita et al., 2007). La dispersión se centrifugó durante 30 minutos a 2000 g y el hidocoloide se separó agregando una solución de etanol, de manera de obtener una concentración final de alcohol de 80 % (100 ml etanol al 96% +

22,45 ml de agua). El precipitado se centrifugó y se repitió el proceso de dispersión (a 80 °C por 30 minutos), centrifugación y precipitación, dos veces más. El precipitado húmedo se dejó en contacto con alcohol isopropílico durante 15 minutos y se filtró (esta etapa se efectuó dos veces). Posteriormente se repitió el paso anterior, pero con acetona. Por último se secó en estufa de vacío a 50 °C (CIENTÍFICA CENTRAL - Jacobo Rapaport, Modelo V. Buenos Aires, Argentina), hasta pesada constante.

3.2. Determinaciones Analíticas

3.2.1. Preparación de la muestra

Todas las fracciones de molienda (ver diagrama en figura 4.1, sección 4.1.2) fueron analizadas desde el punto de vista de su composición proximal. Para tal fin las mismas se molieron con molino Ciclotec (UDY-Suecia), con malla de 0,5 mm. de abertura, a los efectos de disminuir el tamaño de partículas y homogeneizar cada una de las muestras.

La composición proximal de las muestras de gomas se determinó utilizando técnicas de la AOAC, 1984 (14) y fueron realizadas por duplicado.

Los reactivos empleados fueron grado analítico (Merck Química Argentina S.A.I.C., Buenos Aires, Argentina).

3.2.2. Técnicas Analíticas

Humedad: Secado en estufa de vacío, a temperatura inferior a 70 °C y presión por debajo de 50 mm Hg., hasta pesada constante. Norma A.O.A.C. - 7003 (1984).

Cenizas: Incineración en mufla (DALVO INSTRUMENTOS, Modelo HI - Santa Fe, Argentina), a 525 °C. Norma A.O.A.C - 31.012, I (1984).

Proteínas Totales: Método Kjeldahl (Digestor y Destilador DALVO INSTRUMENTOS, Modelo DK/6. Santa Fe, Argentina). Factor de conversión 6,25 ($N\% \times 6,25 = \text{Prot.}\%$). Norma A.O.A.C - 2055, 2056, 2057 (1984).

Lípidos Totales: Extracción con éter de petróleo sobre muestra seca, durante 16 hr. (equipo DALVO INSTRUMENTOS, Modelo DK/6. Santa Fe, Argentina). Norma A.O.A.C - 7060, 7061, 7062 (1984).

Fibra Bruta: Ataque alcalino – Lavado – Ataque ácido – Filtración con asbestos.

Determinación de fibra por diferencia entre peso después de estufa (105 °C) y Mufla (550 °C). Norma A.O.A.C – 7066 – 7067 – 7068 7069 – 7070. (1984).

Azúcares Reductores: Extracción Etanólica. Norma A.O.A.C - 3112, 3113 (1984). Cuantificación por el método volumétrico de Fehling-Causse-Bonans (Montes, 1981).

Azúcares Totales: Extracción etanólica. Norma A.O.A.C - 3112, 3113 (1984). Inversión en medio ácido (ácido clorhídrico 6 N) en baño a 60°C, durante 10 minutos. Norma A.O.A.C.- 3112, 3113, 31026-b (1984). Cuantificación por el método volumétrico de Fehling-Causse-Bonans (Montes, 1981).

Los carbohidratos totales se calcularon por diferencia (100 menos la suma de los porcentajes de humedad, lípidos, proteínas y cenizas).

3.3. Preparación de las dispersiones de hidrocoloides

3.3.1. Gomas Utilizadas

A los efectos de comparar el comportamiento reométrico de la goma de algarrobo con el de gomas comerciales, se utilizaron goma guar (obtenida de Saporiti Hnos. S.A.C.I.F.) y goma garrofín (Viscogum FA), de SANOFI Bio-Industria Argentina S.A.

3.3.2. Preparación de la dispersión de las gomas.

Se prepararon dispersiones de las tres gomas con las siguientes concentraciones: 1,00; 0,62; 0,32; 0,16; y 0,1 % en peso base seca.

Para preparar las dispersiones de las tres gomas se procedió de la siguiente manera: el peso correspondiente para cada concentración se dispersó en agua a 80 °C utilizando un homogeneizador Omni-mixer (Omni International, Waterbury, CT, USA. Model N° 17106). Luego se lo mantuvo a dicha temperatura en baño termostático (Dalvo Argentina) con agitación, durante 1 hora. Se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se utilizó en todos los casos agua destilada.

3.4. Evaluación de la Viscosidad de las Dispersiones.**3.4.1. Temperaturas Utilizadas**

Para evaluar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad se utilizaron las siguientes temperaturas: 5 °C, 10 °C, 25 °C, 38 °C y 48 °C, con una variación de $\pm 0,1$ °C, controlándolas con baño termostático HAAKE.

3.4.2. Procedimiento para la obtención de los Reogramas

Para cada determinación la dispersión fue colocada en el viscosímetro (copa y rotor) dejándola durante dos minutos en reposo antes de iniciar el reograma utilizando un equipo HAAKE ROTOVISCO RV1 de cilindros concéntricos, con sistema MVI y dos cabezales de medida (50 y 500). El rango de gradiente de velocidad utilizado estuvo comprendido entre 0 y 468 s^{-1} (0 a 200 r.p.m.), con una aceleración de 50 r.p.m./min.

Para cada concentración y para cada temperatura se obtuvieron tres reogramas partiendo desde el inicio de preparación de cada muestra.

3.5. Obtención de los Datos.

A los efectos de almacenar la información obtenida con el viscosímetro, para poder ser analizadas desde un ordenador, las señales analógicas de Torque y r.p.m. fueron tomadas desde la entrada al registrador del viscosímetro, transformadas en datos digitales y almacenados de esta manera en un archivo.

3.6. Desarrollo de un software para adquisición y tratamiento de datos.

El software a desarrollar contará con las siguientes funciones:

- Las señales de torque y r.p.m. serán transformadas a valores de esfuerzo de corte (Pa) y de gradiente de velocidad (1/s), utilizando las constantes correspondientes especificadas por el fabricante, para todas las combinaciones copa-sensor disponibles del viscosímetro Haake. Estos datos podrán ser graficados y las gráficas podrán ser guardadas en formato digital.
- Los valores transformados podrán ser tratados estadísticamente aplicando un modelo de la función de potencia ($\tau = K \dot{\gamma}^n$) y/o el Newtoniano para cada reograma.
- Se podrá efectuar el análisis estadístico de los datos a los efectos de comparar las diferencias entre las muestras.
- Permitirá obtener una regresión múltiple para la viscosidad en función del gradiente, la concentración y la temperatura.
- Se podrán superponer los reogramas obtenidos y la curva de Shama-Sherman, con el objeto de estimar la viscosidad de la dispersión que sería percibida en la boca.

4. Resultados y Discusión

4.1. Adopción del sistema para la Obtención de la goma de Algarrobo Blanco

4.1.1. Ensayos Previos

Primera etapa: se efectuó la molienda de la vaina entera con cada uno de los molinos de planta piloto.

- El molino de martillos fijos permite variar únicamente la abertura del tamiz que se encuentra en la parte inferior. Se utilizó el mismo sin tamiz (poco tiempo de residencia y poco efecto de corte) y con las mallas que poseían las aberturas 1, 3, 5 y 10 mm. . En todos los casos el resultado no fue satisfactorio ya que quedaban trozos enteros de vaina, o al disminuir el tamaño de la malla, la muestra se molía de manera completa obteniéndose muy pocas semillas enteras.
- El molino de cilindros permite variar la distancia que separa los rolos, el tipo de rolo (ancho y profundidad de las estrías), la velocidad y la diferencia de velocidad entre rolos. Se combinaron todas las variables pero el resultado fue el mismo que para el molino de martillos.
- El molino de discos solo permite variar la distancia entre los discos. Utilizando diferentes aberturas se pudo obtener una muy buena separación del conjunto exocarpio-endocarpio como pasante del molino y la cápsula con la semilla en el interior, que fue retenida entre los discos. Por esta razón se adoptó este molino para una primera separación.

Segunda etapa: liberación de la semilla de la cápsula.

Se utilizaron nuevamente los molinos de martillo y de cilindros con los mismos resultados que para la vaina entera.

Se utilizó el molino de estrías radiales el cual debido al efecto de corte permitió liberar la semilla de la cápsula, por lo que se seleccionó esta alternativa para la segunda etapa de molienda.

4.1.2. Adopción del Sistema de Molienda.

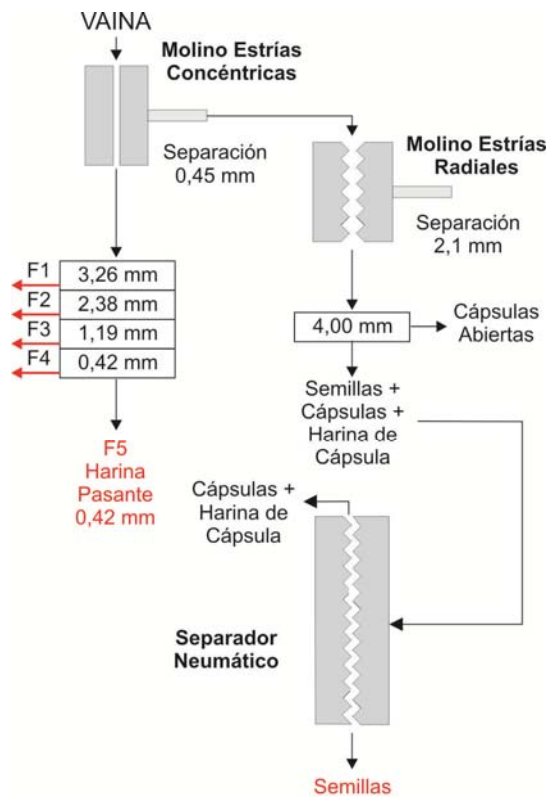


Figura 4.1

De los ensayos previos surgió que la mejor combinación de los equipos disponibles en el ITA se obtuvo con los dispositivos que se observan en las Figuras 4.1 y 4.2 :

- Molino de discos (I) con estrías concéntricas y poco profundas. Marca BICO - Pulverizer Type. Bico Inc. Burbank California.
- Molino de discos (II) con estrías radiales, profundas y filosas, Marca Buhler-Miag, Modelo MLI.204 (Milano).
- Sistema de separación neumático. Construido en el ITA (Figura 4.2)

La selección de tamices (abertura de la malla) adoptada fue la siguiente:

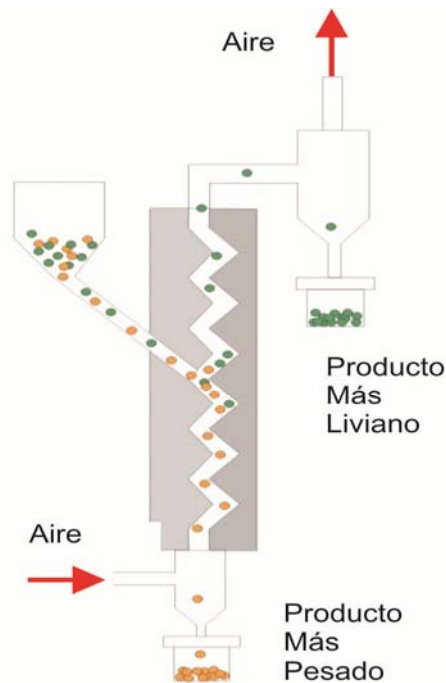


Figura 4.2

- 3,36 mm.(trama cuadrada)
- 2,38 mm. (trama cuadrada)
- 1,19 mm. (trama cuadrada)
- 0,42 mm. (trama cuadrada)

Para efectuar la primer molienda se utilizó el molino de discos con estrías concéntricas fijando una separación entre ambos de 0,45 mm. Esta abertura permitió la separación de las cápsulas celulósicas que contienen la

semilla (que quedaron retenidas en el molino) del exocarpio y el mesocarpio, las cuales pasan a través de los discos en forma de harina. Ésta fue tamizada obteniéndose cinco fracciones. Las fracciones denominadas F1, F2, F3 y F4, son aquellas retenidas en los tamices con tramas que van desde 3,36 a 0,42 mm. respectivamente. La fracción F5 es la pasante al tamiz de 0,42 mm. y fue la destinada al estudio de reemplazo de harina de trigo realizado por el grupo de panificación del ITA. Se pesaron cada una de las fracciones con el objeto de poder evaluar la proporción de las mismas.

La fracción retenida en el molino de discos (I) con abertura 0,45 mm., formada por el endocarpio y las semillas fueron sometidas a una nueva molienda pero en este caso se utilizó un molino de estrías radiales (II), con una abertura de 2,1 mm. .

Las cápsulas que ingresaban a este molino eran sometidas a dos efectos, uno de abrasión y otro de corte, los que sumados producían la apertura de las cápsulas y la expulsión de las semillas, las cuales debido a su pequeño tamaño respecto a la abertura de los discos

salían del molino en su mayoría sin sufrir ningún daño. El producto obtenido de la molienda fue sometido a un proceso de separación gruesa utilizando un tamiz de 4.0 mm.

Gran parte del material celulósico que acompañaba a las semillas y que no pudo ser separado en el tamiz, pues su tamaño era similar al de aquellas fue sometido a un nuevo proceso separativo, utilizando clasificación neumática. Este sistema se basa en que una corriente de aire permite separar partículas de tamaños similares pero de diferente peso específico, transportando en la corriente de aire las más livianas (material celulósico) las que fueron recuperadas en la parte superior del equipo mediante un ciclón. Las semillas, más pesadas, que la corriente ascendente de aire no logró arrastrar cayeron y se recogieron en un frasco de vidrio colocado en la parte inferior del equipo.

4.1.3. Determinación del Porcentaje Cuantitativo de Semillas.

La Tabla 1 muestra la composición resultante de la separación realizada por quintuplicado sobre cada muestra, en la cual la separación de la semilla del endocarpio (cápsula) se realizó manualmente. Con esto se logró obtener el porcentaje real de semilla respecto al fruto, ya que al ser muestras relativamente pequeñas, se verificó que ninguna cápsula atravesara el molino de discos concéntricos (I), no pudiendo de esta manera perderse semilla en esta etapa. Luego, al abrir el endocarpio manualmente se obtuvieron las semillas enteras y sin daño alguno. El porcentaje obtenido para Algarrobo Blanco (9,3%) es similar al encontrado por el autor de la presente Tesis en un trabajo similar sobre muestras de Algarrobo negro (11,1%) y a lo informado por Bouzouita et al. (2007) para *ceratonia siliqua* en muestras tomadas en diferentes regiones de Túnez, con porcentajes que varían desde un mínimo de 11% hasta un máximo del 18%. Sin embargo estos valores difieren considerablemente del hallado por Meyer (1984) (25%) en *Prosopis velutina* y *glandulosa* y por López Hernández et al. (1985), quienes trabajando sobre *Prosopis alba* encontraron un porcentaje de semillas del 32,25 %.

Tabla 1. Promedio y desviación estándar de los porcentajes correspondientes a la molienda del fruto. Separación manual de la semilla.

	Porcentajes
Harina	61,9 ± 1,6
Cápsulas	27,2 ± 2,4
Semillas	9,3 ± 1,8

4.1.4. Determinación del porcentaje de semillas obtenido con el sistema de molienda adoptado

Cuando se aplicó el esquema de molienda completo, separando las semillas del endocarpio con el molino de discos de estrías radiales en lugar de hacerlo manualmente, los datos obtenidos fueron los que se encuentran en la Tabla 2

Tabla 2. Promedio y desviación estándar de los porcentajes correspondientes a la molienda del fruto. Separación de la semilla utilizando molino de discos (II).

	Porcentajes
Harina	63,2 ± 1,9
Cápsulas	27,4 ± 2,2
Semillas	6,4 ± 2,1

Se puede apreciar que el porcentaje de cápsulas y harina es muy similar ya que se utilizó el mismo molino y en iguales condiciones operativas, siendo inferior el porcentaje de semillas obtenido (respecto al fruto total). La utilización del molino en lugar de la apertura manual de las cápsulas produce una merma en el rendimiento de semillas ya que una parte de estas se rompen durante el pasaje entre los discos filosos. Ocurrió lo mismo con las cápsulas que al ser abiertas por las estrías liberaron las semillas generando una mezcla de trozos de estructura celulósica de diferentes tamaños. La mezcla de semillas rotas y cápsulas abiertas fue descartada. Esto explica porque la suma de harina, cápsulas y semillas no es 100%.

4.1.5. Análisis de las Fracciones de Molienda

En la Tabla 3 se presentan los porcentajes en peso correspondientes a las distintas fracciones obtenidas utilizando el conjunto de tamices y la Tabla 4 muestra la composición centesimal de cada fracción. Se puede observar que los porcentajes correspondientes a las fracciones F1 y F2 (material retenido de mayor tamaño), representan aproximadamente la cuarta parte del total. Estas fracciones están formadas principalmente por material celulósico proveniente del exocarpio del fruto lo cual se pudo verificar por simple observación visual de las dos fracciones. La composición de las fracciones resultó ser similar entre sí, no obstante se observa una disminución del contenido de fibra bruta y un aumento de los azúcares a medida que la abertura del tamiz utilizado se reduce. Esto se debe a que el mesocarpio, constituido principalmente por azúcares, es fácilmente triturable (más frágil) cuando el contenido de humedad del fruto es bajo, no así el exocarpio que debido a su estructura celulósica (más tenaz) requiere de una separación más pequeña de los discos para obtener fracciones de menor tamaño de partícula.

Tabla 3. Porcentajes de Fracciones obtenidas por tamizado de la harina.

<i>Fracciones</i>	Abertura de la malla en mm.	Retenida o Pasante	Porcentaje
F1	3,36	Retenida	9,9 ± 0,40
F2	2,38	Retenida	13,9 ± 0,69
F3	1,19	Retenida	23,1 ± 1,17
F4	0,42	Retenida	29,4 ± 1,78
F5	0,42	Pasante	23,7 ± 0,72

Tabla 4. Composición Centesimal de las Fracciones Tamizadas. Valores promedios y desviaciones estándar correspondientes.

Fracciones	F1	F2	F3	F4	F5
Humedad (g %) (*)	3,1 ± 0,06	3,4 ± 0,08	2,8 ± 0,07	2,7 ± 0,07	2,1 ± 0,05
Cenizas (g %) (*)	3,4 ± 0,05	3,5 ± 0,05	3,7 ± 0,06	3, 1 ± 0,05	4,4 ± 0,07

Grasa (g %)	1,0 ± 0,03(a)	1,5 ± 0,04(a)	3,1 ± 0,07(c)	1,8 ± 0,04 (a)	2,7 ± 0,06(b)
Proteínas (g %) (*)	6,1 ± 0,12	6,7 ± 0,14	7,2 ± 0,15	7,9 ± 0,15	8,3 ± 0,12
Fibra bruta (g %)	20,2 ± 1,01(c)	10,5 ± 0,58(b)	9,4 ± 0,61(b)	5,9 ± 0,31(a)	5,4 ± 0,35(a)
Az. Totales (g %)	40,9 ± ,01(a)	52,9 ± 0,73(b)	57,3 ±	63,7 ± 3,81(c)	65,9 ± 3,75(d)
Az. Reduct. (g %)	5,7 ± 0,31 (c)	3,7 ± 0,23(a)	4,7 ± 0,28(b)	3,7 ± 0,29(a)	4,1 ± 0,22(a)

* Los valores de Humedad, Cenizas y Proteínas correspondientes a cada una de las muestras son significativamente diferentes entre si (p < 0.05). Para un mismo componente los valores acompañados por letras iguales no muestran diferencias significativas entre si (p < 0.05).

* el valor g%, significa gramos del parámetro por 100 gramos de muestra.

En las Tablas 5.a y 5.b se puede apreciar la composición mineral de las distintas fracciones en la cual se verificó una disminución del calcio a medida que disminuyó el tamaño de partícula, mientras que el magnesio y el hierro aumentaron, manteniéndose el resto aproximadamente constante. Esto indicaría una distribución no uniforme, en la vaina, de los componentes que contienen estos minerales.

Tabla 5.a Composición Mineral de las Fracciones Tamizadas. Valores promedios y desviaciones estándar correspondientes.

Fracciones	F1	F2	F3	F4	F5
Calcio (mg%)	236 ± 15	230 ± 12	220 ± 12	176 ± 9	152 ± 9
Potasio (mg%)	975 ± 40	1262 ± 63	1404 ± 75	1226 ± 68	892 ± 25
Magnesio (mg%)	56,0 ± 2,5	65,3 ± 3,8	85,3 ± 4,1	98,0 ± 4,8	96,7 ± 4,6

* el valor mg%, significa miligramos del parámetro por 100 gramos de muestra.

Tabla 5.b Composición Mineral de las Fracciones Tamizadas. Valores promedios y desviaciones estándar correspondientes.

Fracciones	F1	F2	F3	F4	F5
-------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Fósforo (mg%)	93,8 ± 3,9	100,7 ± 3,9	105,1 ± 4,1	104,7 ± 4,5	115,5 ± 4,6
Cobre (ppm)	3,8 ± 0,2	6,6 ± 0,3	3,5 ± 0,2	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Hierro (ppm)	40,2 ± 2,1	44,1 ± 2,2	47,2 ± 2,1	56,1 ± 2,5	160,6 ± 8,3
Cinc (ppm)	25,4 ± 1,1	48,5 ± 2,6	32,9 ± 2,1	42,3 ± 2,8	26,9 ± 1,5
Manganeso (ppm)	32,5 ± 2,5	44,7 ± 2,8	27,1 ± 1,3	26,9 ± 1,4	32,6 ± 2,1

* el valor mg%, significa miligramos del parámetro por 100 gramos de muestra.

4.2. Composición fisicoquímica de las gomas

La composición proximal de las tres gomas en base tal cual se indica en la Tabla 6. Se observa que la composición es similar, con un contenido de carbohidratos que difiere en un rango máximo de 1.84 %, correspondiendo el mayor valor a la goma Guar (83.4 %) y el menor a la Garrofín (81.56 %). La concentración del hidrocólido de la semilla de Algarrobo Blanco posee un contenido intermedio entre ambas (82.52 %).

Tabla 6. Composición centesimal de las gomas. Valores promedios y desviaciones estándar correspondientes.

	Humedad (g %)	Proteína (g %)	Materia Grasa (g %)	Cenizas (g %)	Extracto no Nitrogenado (g %)
Garrofín	5.7 ± 0.03	7.9 ± 0.06	0.2 ± 0.02	4.7 ± 0.04	81.5
Algarrobo	7.9 ± 0.04	4.4 ± 0.04	0.1 ± 0.01	4.9 ± 0.03	82.7
Guar	6.9 ± 0.03	5.6 ± 0.05	0.1 ± 0.01	3.9 ± 0.02	83.5

Ibáñez et al. (2003), obtuvieron valores menores de extracto no nitrogenado (hidratos de carbono totales) utilizando tres métodos de extracción con semillas de *Prosopis flexuosa*. Sin embargo, Meyer (1984) encontró un valor de 82,5% de contenido de goma en *Prosopis velutina* y *glandulosa* y resultados similares fueron encontrados por Vázquez et al. (1984)

para mucílago de *Prosopis chilensis*, para el cual el valor de extracto no nitrogenado encontrado (sobre base tal cual) fue de 81.7%. Estos resultados sugieren que se puede utilizar el material obtenido sin otros pasos de purificación para poder efectuar una comparación del comportamiento reométrico de las tres gomas.

4.3. Desarrollo del Software para Adquisición de Datos

El equipo Haake cuenta con un módulo de comando el cual permite operar el cabezal del sensor (aumentar y disminuir su velocidad, fijar la aceleración de este cambio, mantener fija la velocidad, etc.) y comunicarse con un Graficador (plotter x, y) en el cual se obtiene el reograma (torque en función de las r.p.m. del cilindro).

Para obtener los valores de tensión se debe medir el valor de S (torque) y multiplicarlo por la constante que da el fabricante para el cabezal utilizado, obteniéndose el valor en Pa. Para obtener el valor de la gradiente de velocidad nuevamente se mide el valor de r.p.m. y se lo multiplica por la constante correspondiente al cabezal, obteniéndose el valor en 1/s, efectuando el cociente se obtiene el valor de la viscosidad aparente. Este proceso debe repetirse para todos los puntos del Gráfico en los que se quieran determinar dichos valores.

En el caso de querer efectuar una comparación entre muestras, hay que proceder como se indicó anteriormente varias veces.

Además de ser un proceso tedioso, la precisión de los valores obtenidos depende de la persona que lea los datos del Gráfico.

Por esta razón se decidió desarrollar un software que automatizara todo el proceso, con las siguientes ventajas:

- Los datos obtenidos se Guardan en formato digital, con ahorro de espacio y una mayor facilidad para ser archivados.
- La transformación de los datos de S y r.p.m. puede hacerse para todos los puntos de la curva con menos error (sólo depende del error inherente a la toma de datos por parte de la tarjeta de adquisición, el cual siempre es menor que en la lectura de un Gráfico en papel).
- Se pueden efectuar regresiones a un modelo reológico con todos los datos del Gráfico.
- Se pueden comparar estadísticamente los modelos.
- Se pueden comparar los diferentes Gráficos. Todos los Gráficos pueden exportarse como imagen para ser colocadas posteriormente en, por ejemplo, un procesador de texto o una planilla tipo Excel, para luego ser impresas.
- El programa permite superponer los reogramas obtenidos sobre la curva de Shama-Sherman, y estimar de esta manera la viscosidad que se percibiría en la boca para la dispersión en estudio.

La descripción de las prestaciones que brinda el software se encuentra en el Anexo I. En el Anexo II, se describe la teoría seguida para el desarrollo de la estadística que utiliza el programa.

4.4. Obtención de los Reogramas

Los reogramas fueron realizados sobre muestras de cada goma a diferentes concentraciones y temperaturas. Se utilizó el siguiente esquema para nombrar cada uno de los archivos (tomamos como ejemplo una muestra de goma de algarrobo blanco: ab110005.bin).

ab: tipo de goma en este caso algarrobo blanco

1: primera muestra del triplicado analizada.

100: concentración, en este caso por cuestiones relacionada con el sistema operativo se utilizaron las concentraciones multiplicadas por 100, es decir, 10, 16, 32 ,62 y 100, en lugar de 0,1%; 0,16 %; 0,32 %; 0,62% y 1%.

05: la temperatura utilizada en este caso 5 °C.

.bin: extensión que usa el programa para reconocer el archivo.

4.4.1. Determinación de la consistencia de los datos al cambiar el sensor.

En los Gráficos 1, 2 y 3 se observan los valores obtenidos de tensión en función del gradiente de velocidad para la concentración de 0,32% con los sensores de 50 (rojo) y 500 (azul) a 25 °C, para las tres gomas en estudio. Debajo de cada Gráfico se muestra una tabla con la estadística aplicada a cada par de curvas, efectuando la regresión doble logarítmica de los datos, para obtener los valores de K (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento) del modelo de potencia.

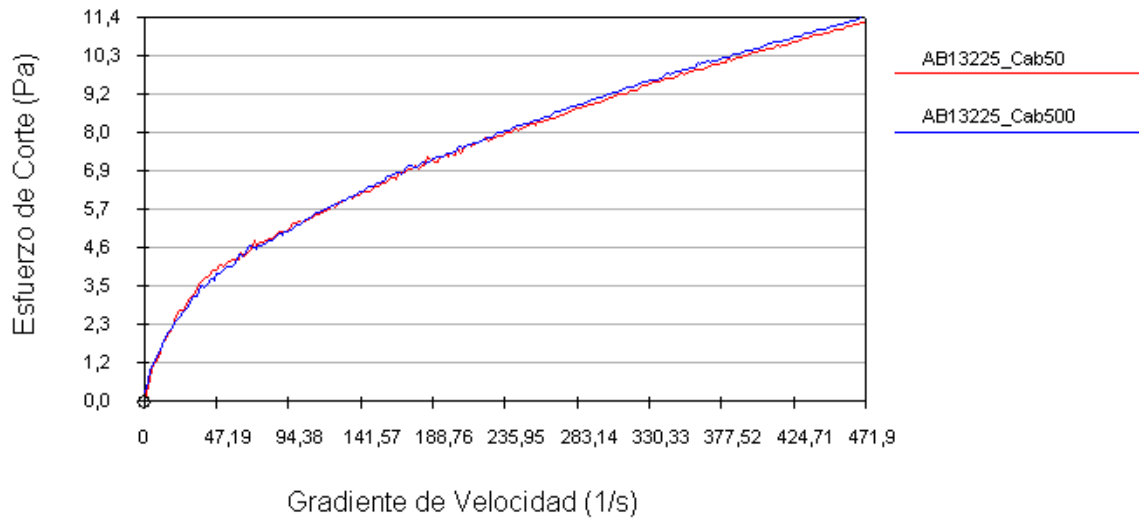


Gráfico N° 1. Reogramas obtenidos para goma de algarrobo blanco a 25 °C y para una concentración de 0,32%. En Rojo utilizando el cabezal de 50 y en Azul el cabezal de 500.

Tabla 7. Análisis estadístico de los reogramas obtenidos para la goma de Algarrobo blanco para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25 °C, utilizando los cabezales de 50 y 500.

Archivo	Valor de K	K <> 0	Valor de <i>n</i>	<i>n</i> <> 0	r
AB13225_Cab50	0,514779	K <> 0	0,504825	<i>n</i> <> 0	0,996536
AB13225_Cab500	0,512696	K <> 0	0,50663	<i>n</i> <> 0	0,998631

Promedio	Ordenada	0,513881	Pendiente	0,505682
----------	----------	----------	-----------	----------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
AB13225_Cab50	0,113668	1,6522	Iguals
AB13225_Cab500	0,244899	1,6519	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,276812	3,8844	Iguals

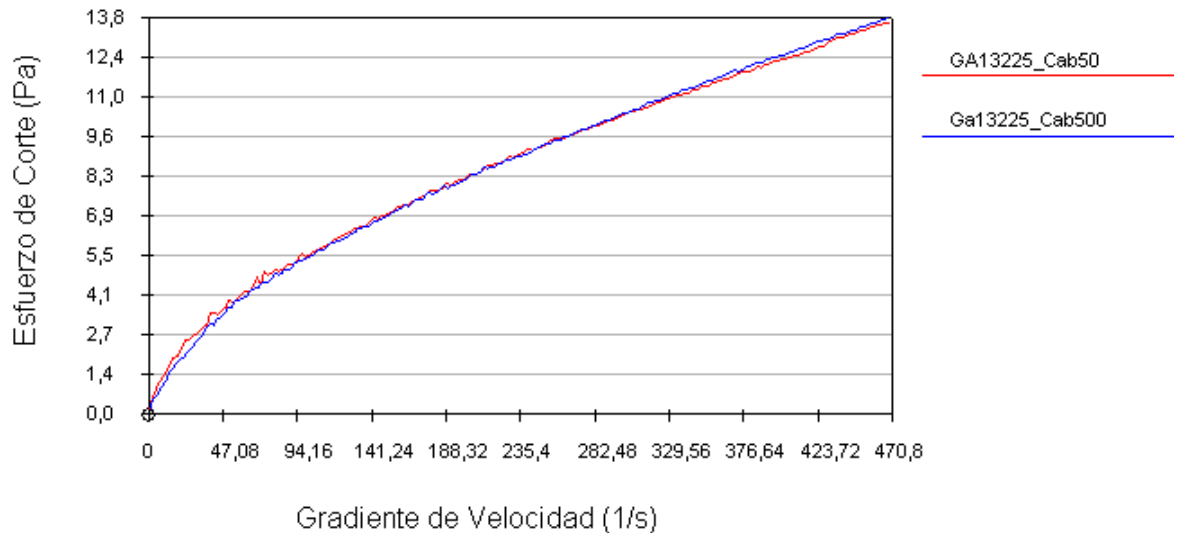


Gráfico N° 2. Reogramas obtenidos para goma de Garrofín a 25 °C y para una concentración de 0,32%. En Rojo utilizando el cabezal de 50 y en Azul el cabezal de 500.

Tabla 8. Análisis estadístico de los reogramas obtenidos para la goma Garrofín para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25°C, utilizando los cabezales de 50 y 500.

Archivo	Valor de K	K <> 0	Valor de <i>n</i>	<i>n</i> <> 0	r
GA13225_Cab50	0,393560	K <> 0	0,575581	<i>n</i> <> 0	0,999511
Ga13225_Cab500	0,398854	K <> 0	0,570890	<i>n</i> <> 0	0,996223

Promedio	Ordenada	0,397153	Pendiente	0,572758
----------	----------	----------	-----------	----------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
GA13225_Cab50	1,33950	1,6528	Iguals
Ga13225_Cab500	0,232339	1,6525	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,2256	3,8878	Iguals

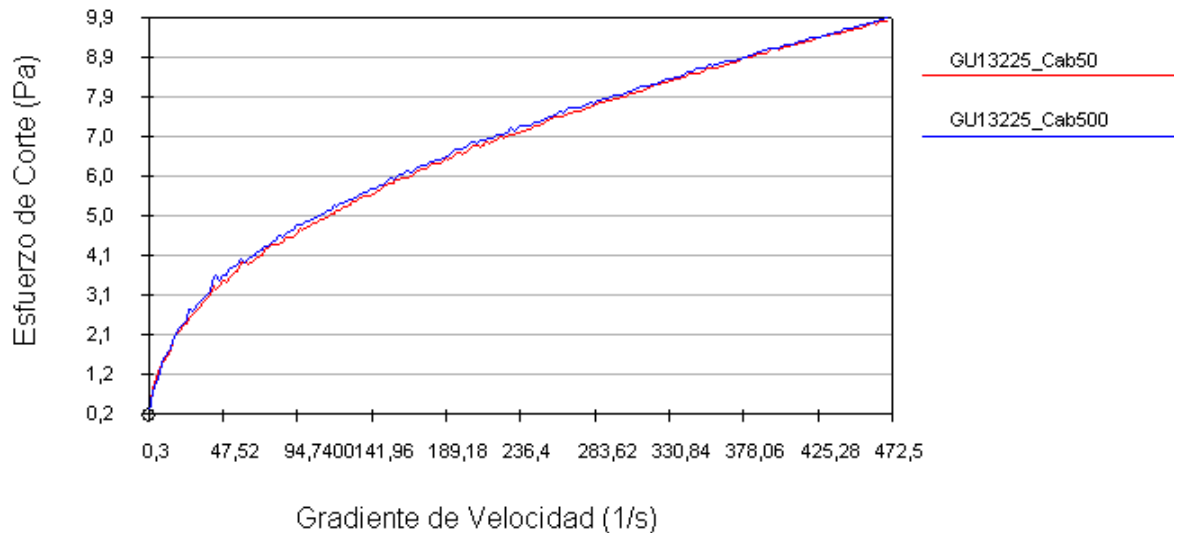


Gráfico N° 3. Reogramas obtenidos para goma Guar a 25 °C y para una concentración de 0,32%. En Rojo utilizando el cabezal de 50 y en Azul el cabezal de 500.

Tabla 9. Análisis estadístico de los reogramas obtenidos para la goma Guar para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25°C, utilizando los cabezales de 50 y 500.

Archivo	Valor de K	K <> 0	Valor de <i>n</i>	<i>n</i> <> 0	r
GU13225_Cab50	0,55313	K <> 0	0,469189	<i>n</i> <> 0	0,999515
GU13225_Cab500	0,56105	K <> 0	0,469119	<i>n</i> <> 0	0,997912

Promedio	Ordenada	0,557075	Pendiente	0,469154
----------	----------	----------	-----------	----------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
GU13225_Cab50	1,3053	1,6526	Igual
GU13225_Cab500	0,628496	1,6526	Igual

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,000859	3,8885	Igual

Del análisis estadístico se deduce que no existen diferencias significativas entre los valores de *k* y *n* del modelo de potencia obtenida para cada hidrocoloide a una misma temperatura y concentración, al medir la solución con dos cabezales distintos.

4.4.2. Selección de la Curva Ascendente como Parámetro de Comparación.

En las Gráficos 4, 5 y 6 se observan los reogramas obtenidos de la parte ascendente del gradiente de velocidad (rojo) y de la parte descendente (azul) correspondientes a la goma Guar para las distintas concentraciones a 25 °C. En las Tablas 10, 11 y 12 se muestran los resultados correspondientes a la estadística aplicada a los datos correspondientes a cada par de curvas.

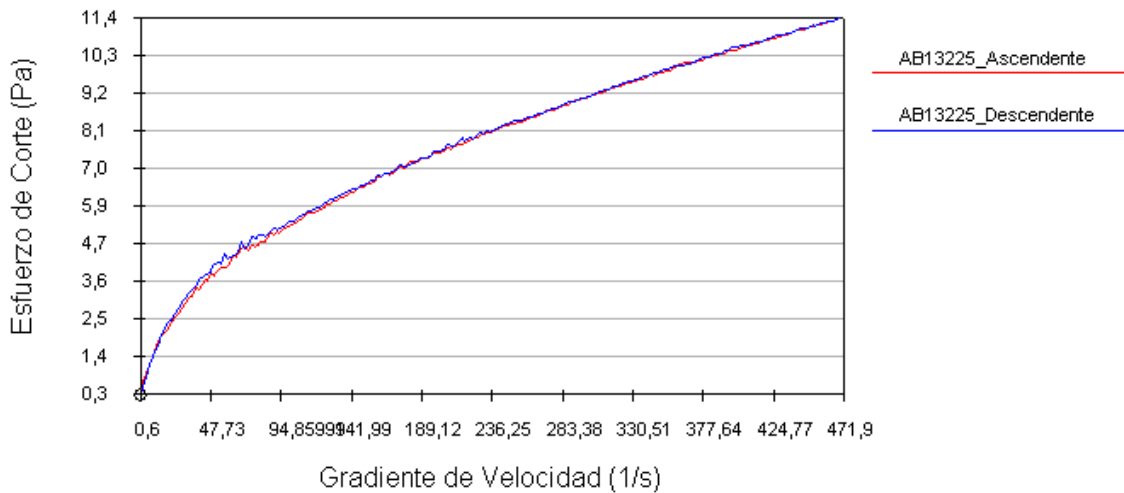


Gráfico N° 4. Reogramas obtenidos para goma de algarrobo blanco a 25 °C, para una concentración de 0,32%, utilizando el cabezal de 500. En rojo la curva cuando la velocidad del sensor asciende de 0 a 200 rpm; en azul cuando la velocidad desciende desde 200 rpm a cero.

Tabla 10. Análisis estadístico de los reogramas obtenidos (tramo de velocidad ascendente y de velocidad descendente) para la goma de Algarrobo Blanco para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25°C

Archivo	Valor de K	K <> 0	Valor de n	n <> 0	r
AB13225_Asc.	0,512696	K <> 0	0,50663	n <> 0	0,998631
AB13225_Desc.	0,516499	K <> 0	0,506895	n <> 0	0,995721

Promedio	Ordenada	0,514504	Pendiente	0,506758
----------	----------	----------	-----------	----------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
AB13225_Asc.	0,373438	1,6519	Igual
AB13225_Desc.	0,221275	1,6526	Igual

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,005175	3,8885	Igual

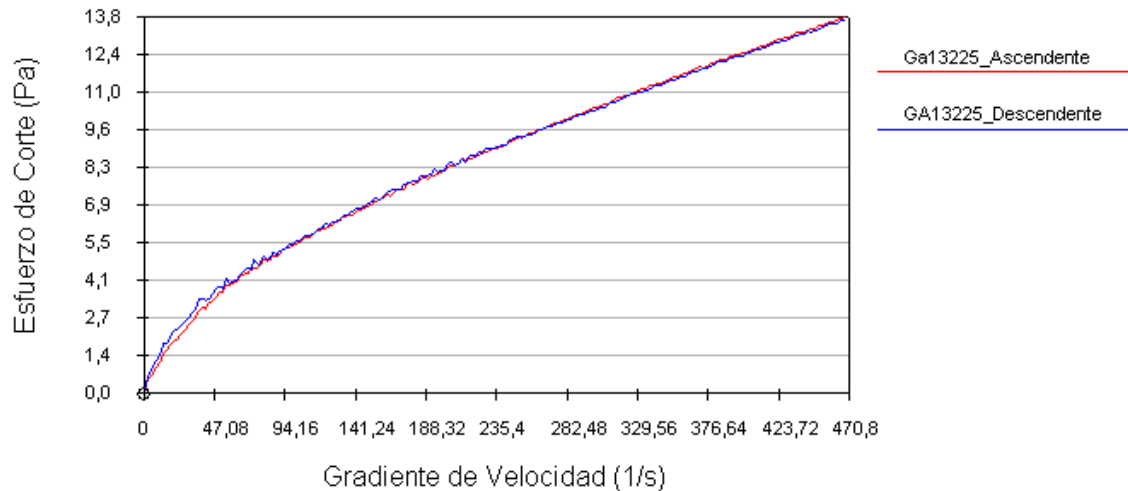


Gráfico N° 5. Reogramas obtenidos para goma Garrofín a 25 °C, para una concentración de 0,32%, utilizando el cabezal de 500. En rojo la curva cuando la velocidad del sensor asciende de 0 a 200 rpm; en azul cuando la velocidad descende desde 200 rpm a cero.

Tabla 11. Análisis estadístico de los reogramas obtenidos (tramo de velocidad ascendente y de velocidad descendente) para la goma Garrofín para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25°C

Archivo	Valor de K	K <> 0	Valor de <i>n</i>	<i>n</i> <> 0	r
Ga13225_Asc.	0,398854	K <> 0	0,57089	<i>n</i> <> 0	0,996223
GA13225_Desc.	0,393185	K <> 0	0,576018	<i>n</i> <> 0	0,999567

Promedio	Ordenada	0,396625	Pendiente	0,573156
----------	----------	----------	-----------	----------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
Ga13225_Asc.	0,304588	1,6525	Igual
GA13225_Desc.	1,3934	1,6525	Igual

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,7041	3,8878	Igual

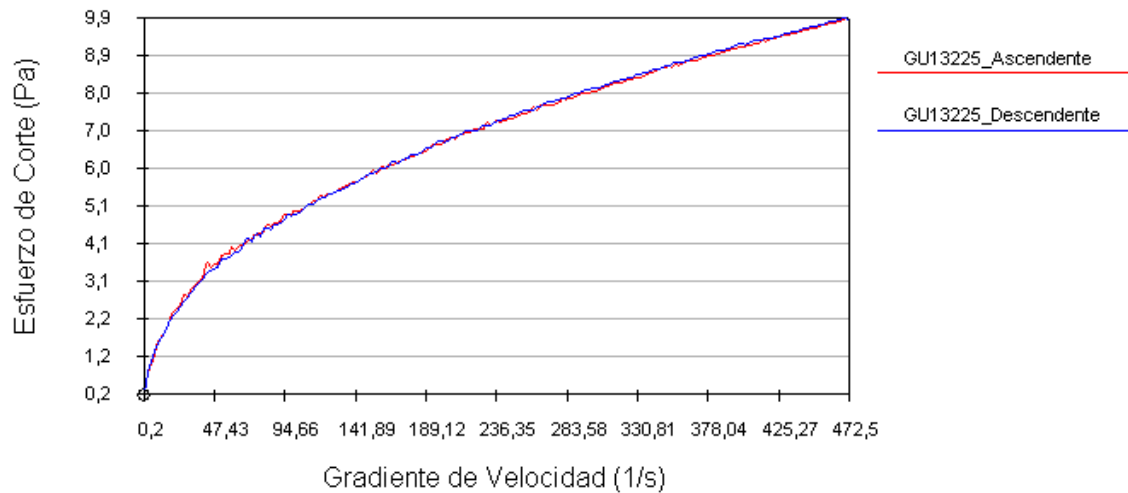


Gráfico N° 6. Reogramas obtenidos para goma Guar a 25 °C, para una concentración de 0,32%, utilizando el cabezal de 500. En rojo la curva cuando la velocidad del sensor asciende de 0 a 200 rpm; en azul cuando la velocidad desciende desde 200 rpm a cero.

Tabla 12. Análisis estadístico de los reogramas obtenidos (tramo de velocidad ascendente y de velocidad descendente) para la goma Guar para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25°C

Archivo	Valor de K		Valor de <i>n</i>		r
GU13225_Asc.	0,561048	K <> 0	0,469119	<i>n</i> <> 0	0,997912
GU13225_Desc.	0,56632	K <> 0	0,46735	<i>n</i> <> 0	0,999513

Promedio	Ordenada	0,563697	Pendiente	0,468228
----------	----------	----------	-----------	----------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
GU13225_Asc.	0,416508	1,6526	Iguals
GU13225_Desc.	0,854341	1,6526	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,55162	3,8885	Iguals

Como se puede observar no existen diferencias significativas tanto en los valores de la ordenada al origen como de la pendiente en cada tramo para ninguna de las concentraciones analizadas, esta fue la razón por la que se decidió utilizar en todo los experimentos solo la parte ascendente del reograma.

4.4.3. Análisis de las muestras por triplicado

A modo de ejemplo en las Gráficos 7, 8, 9, 10 y 11 se puede apreciar el comportamiento reométrico de muestras de goma de algarrobo blanco realizado a 25 °C y a cinco concentraciones diferentes, realizadas por triplicado. El comportamiento es similar para las gomias Garrofin y Guar (Anexo III).

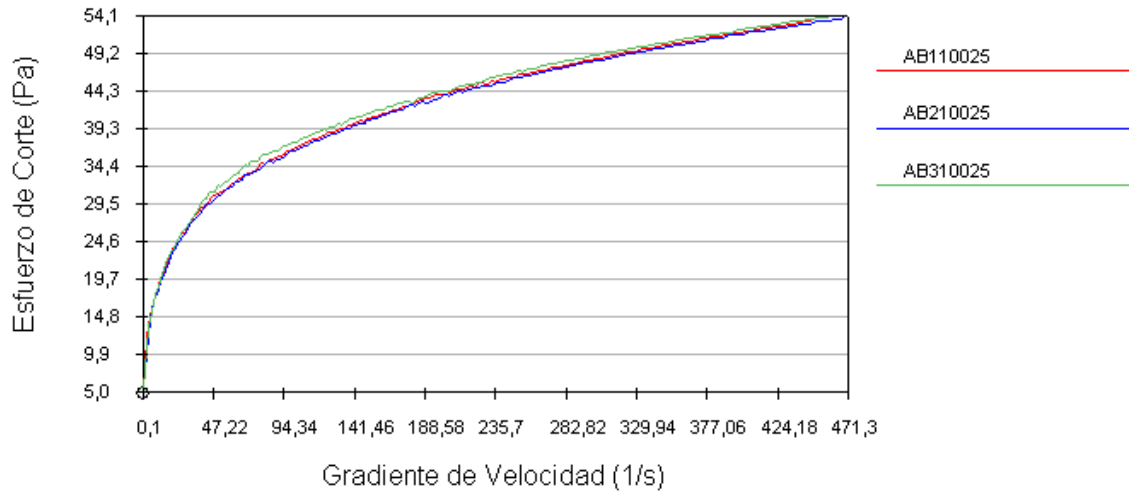


Gráfico N° 7. Variación de la Tensión de Corte con el Gradiente de Velocidad a 25 °C y concentración de 1%, para goma de algarrobo blanco realizada por triplicado.

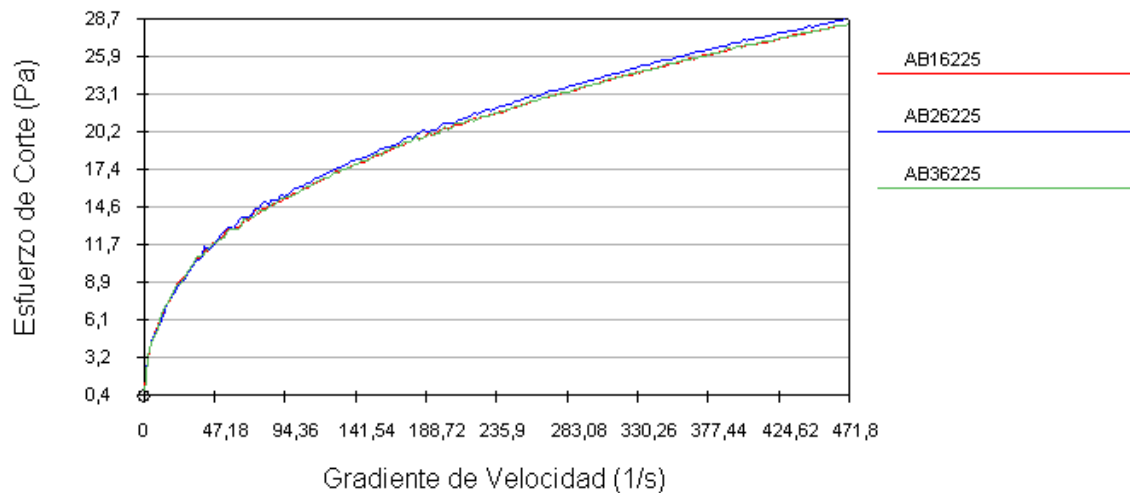


Gráfico N° 8. Variación de la Tensión de Corte con el Gradiente de Velocidad a 25 °C y concentración de 0,62%, para goma de algarrobo blanco realizada por triplicado.

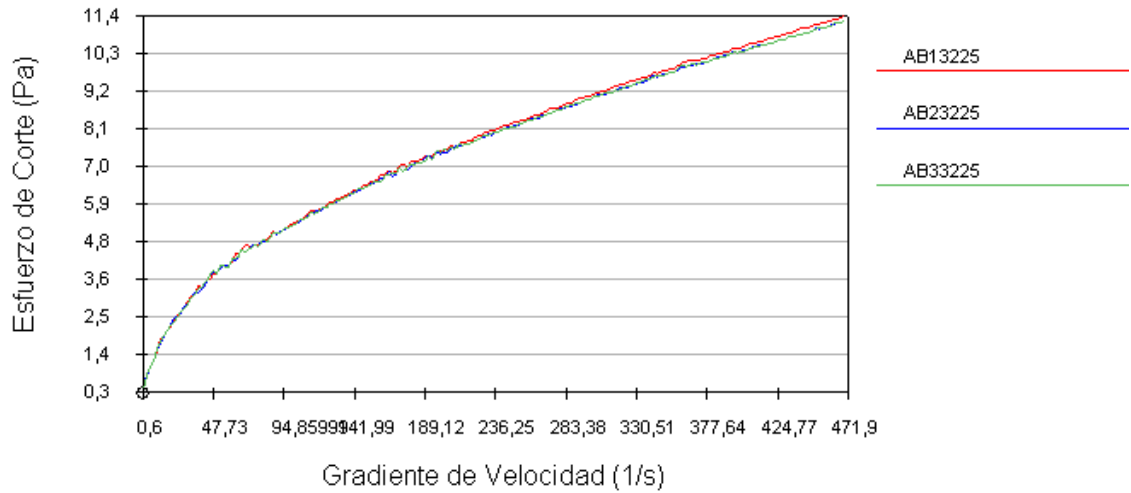


Gráfico N° 9. Variación de la Tensión de Corte con el Gradiente de Velocidad a 25 °C y concentración de 0,32%, para goma de algarrobo blanco realizada por triplicado.

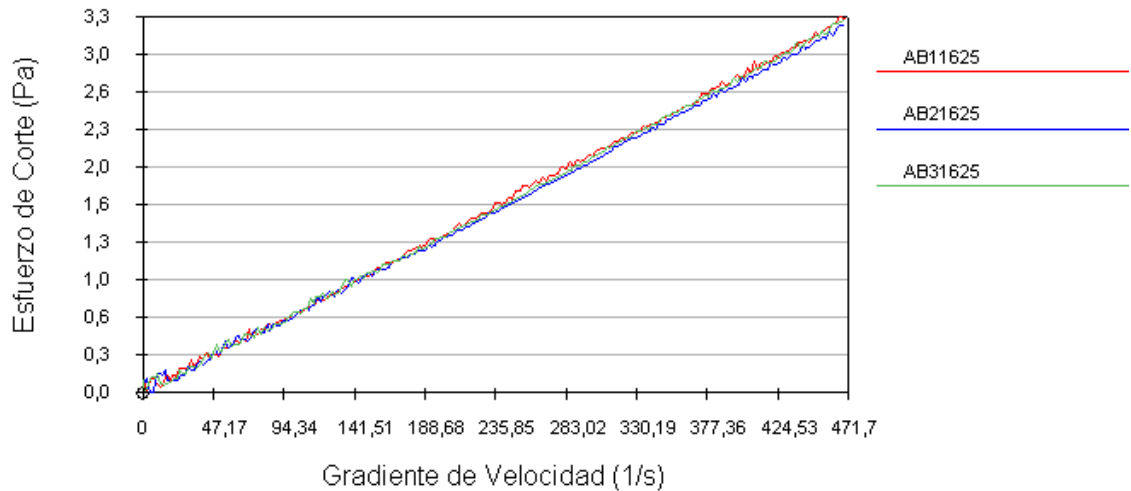


Gráfico N° 10. Variación de la Tensión de Corte con el Gradiente de Velocidad a 25 °C y concentración de 0,16 %, para goma de algarrobo blanco realizada por triplicado.

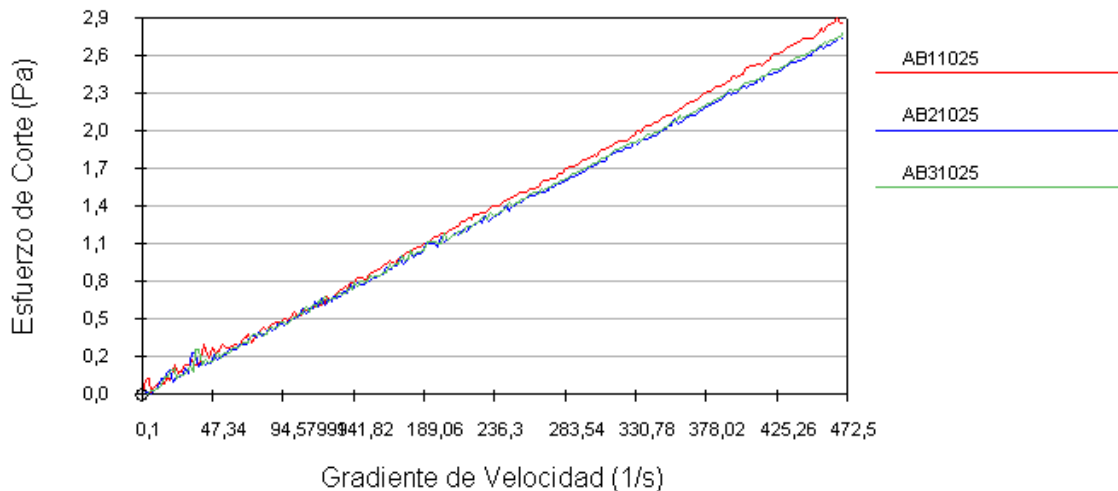


Gráfico N° 11. Variación de la Tensión de Corte con el Gradiente de Velocidad a 25 °C y concentración de 0,10 %, para goma de algarrobo blanco realizada por triplicado.

Se puede apreciar en cada una de las Gráficos que las curvas no son coincidentes, esto se debe a que los reogramas fueron realizados sobre muestras preparadas por triplicado lo que introduce un factor de error tanto en la pesada como en la dilución, además de la dispersión de valores que pudieron provenir del módulo mecánico, el equipo de control de temperatura y el sistema de adquisición.

A continuación se presenta una Tabla en la que se resume el análisis estadístico que genera el software, utilizando en este caso los datos de las muestras realizadas por triplicado para goma de Algarrobo Blanco a 25°C y concentración 0,32%. Los reograma obtenidos se muestran anteriormente en el Gráfico N° 9.

Tabla 13. Análisis estadístico de los reogramas realizados por triplicado para la goma de Algarrobo Blanco para una concentración de 0.32% a la temperatura de 25°C

Archivo	Valor de K		Valor de <i>n</i>		r
AB13225	0,512696	K <> 0	0,50663	<i>n</i> <> 0	0,998631
AB23225	0,514661	K <> 0	0,504054	<i>n</i> <> 0	0,998609
AB33225	0,512247	K <> 0	0,50503	<i>n</i> <> 0	0,99832
Promedio	Ordenada	0,5132	Pendiente	0,505238	

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas
AB13225	0,10437	1,6519	Iguales
AB23225	0,300591	1,6519	Iguales
AB33225	0,178569	1,6519	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,9491	3,8844	Iguales

Se pueden observar en la Tabla los valores de K y *n* de cada curva correspondientes al modelo de la ley de potencia. Junto a ellos aparece un texto que indica si son estadísticamente iguales o distintos de cero.

Posteriormente se observa el valor de K y *n* correspondientes a los datos de las tres muestras tomadas en conjunto como una sola (denominado promedio)

Luego aparece para cada archivo los valores de la t de student que se calcula comparando el valor obtenido de K para cada muestra contrastado con el valor de K correspondiente a la curva promedio

Luego se observan dos valores: F Calculada y F Snedecor. El valor de la F calculada se obtuvo siguiendo a Bethea et al. (1995), mientras que el de F Snedecor es el correspondiente al número de datos de la muestra total. En este caso al ser el valor de F calculada menor que el de Tablas indica que los valores de *n* (correspondientes a las pendientes de las curvas) no son significativamente diferentes utilizando el nivel de confianza del 95% .

Los datos de la comparación estadística de cada triplicado a cada temperatura y concentración para los tres mucílagos se encuentran en el archivo Anexo IV. Analizando los mismos se obtienen las siguientes conclusiones:

Los triplicados de cada hidrocoloide para las concentraciones de 0,32%, 0,62% y 1 % evaluados a las distintas temperaturas adoptadas, utilizando en el reómetro el cabezal de 500, no presentan diferencias significativas en los valores de sus pendientes (n : índice de comportamiento). lo que significa que la metodología utilizada para la preparación de las dispersiones posee una buena reproducibilidad. Tampoco se observan diferencias significativas entre los valores del índice de consistencia (K). De acuerdo a lo anterior las curvas realizadas por triplicado para las concentraciones descritas a todas las temperaturas seleccionadas no presentan diferencias significativas, por lo que pueden ser tratadas estadísticamente como una única curva (tomado todos los pares de valores de S y rpm).

Para las concentraciones de 0,10 y 0,16% la utilización del cabezal de 50 en el reómetro introduce un error mayor en las determinaciones, que si se utilizara el cabezal de 500, debido a su elevada sensibilidad por lo que el análisis estadístico revela diferencias significativas en el valor de la pendiente en todos los casos. A pesar de esto se decidió utilizar los datos de las tres curvas para formar una única, como en el caso de las curvas obtenidas con el cabezal de 500.

A modo de ejemplo, en el Gráfico N° 12 se observan los datos de los archivos triplicados agrupados como una única muestra, para goma de Algarrobo Blanco al 1% y para las temperaturas seleccionadas. De la misma manera en el Gráfico 13 se observan los reogramas obtenidos con los datos de los archivos triplicados, agrupados como una única muestra, para goma de Algarrobo Blanco a la temperatura de 25°C y para las concentraciones seleccionadas.

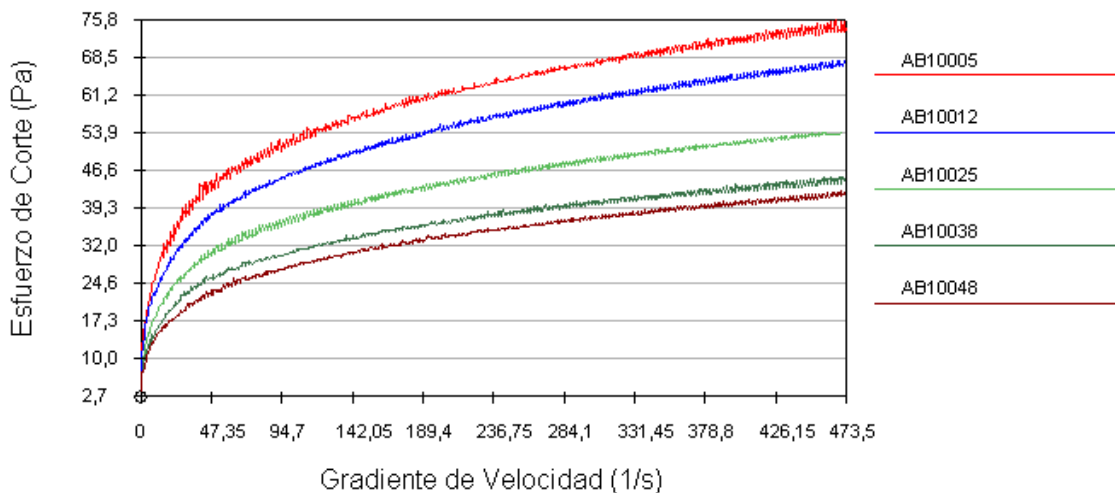


Gráfico N° 12. Archivos triplicados agrupados como una única muestra. Reogramas de goma de Algarrobo Blanco para una concentración del 1%, obtenidos utilizando las temperaturas de 5, 12, 25, 38 y 48 °C.

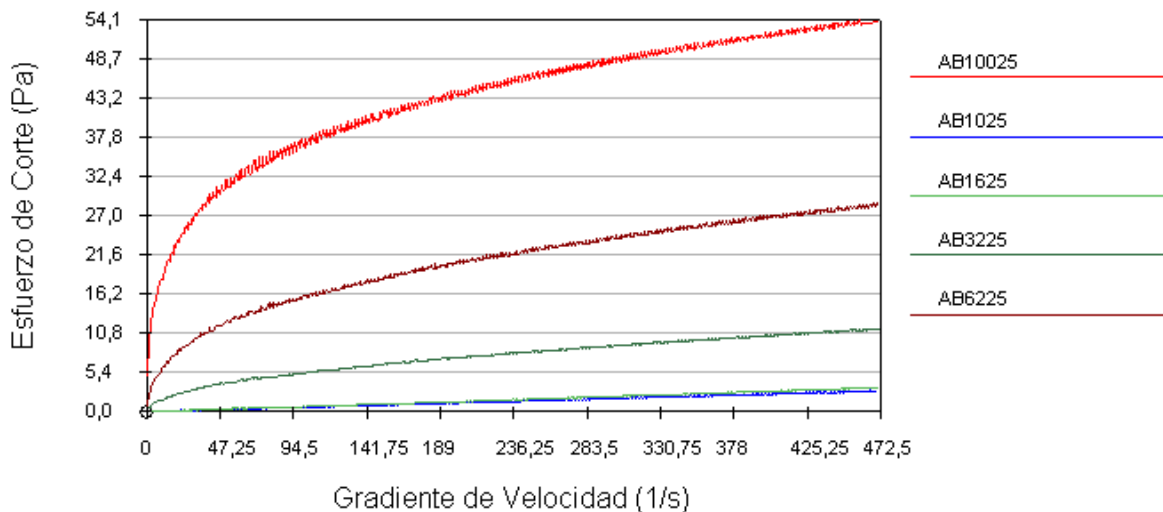
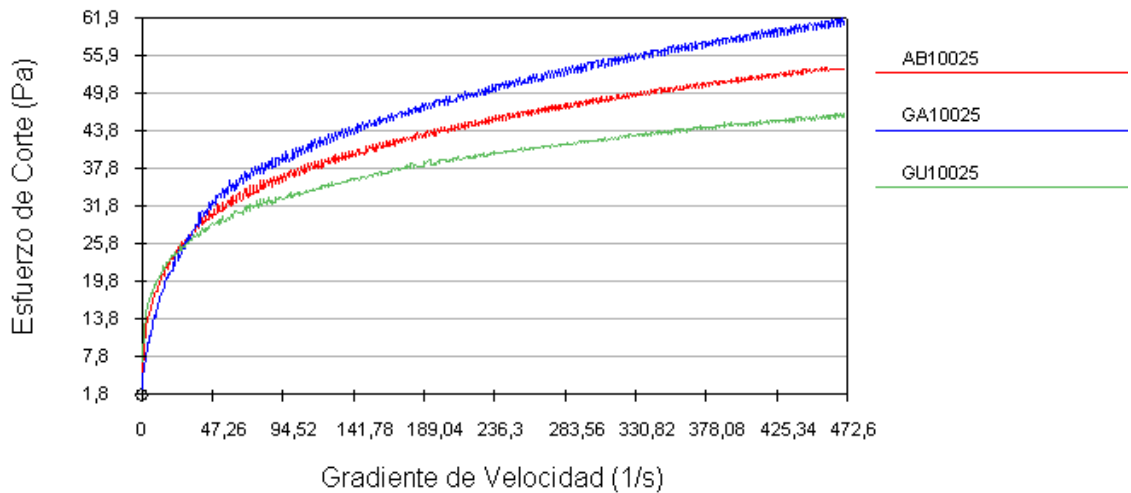


Gráfico N° 13. Archivos triplicados agrupados como una única muestra. Reogramas de goma de Algarrobo Blanco a 25 °C, obtenidos utilizando las concentraciones de 1, 0.62, 0.32, 0.16 y 0.1 %.

4.5. Comparación del comportamiento de la goma de Algarrobo Blanco respecto a las gomas Guar y Garrofin. A continuación se presentan los Gráficos 14 y 15 en los que se puede comparar el comportamiento de las tres gomas. Se grafican los datos convertidos a valores de Esfuerzo de Corte (Pa) en función del Gradiente de Velocidad (1/s) correspondientes a las gomas de Algarrobo Blanco, Guar y Garrofin a 25°C para dos concentraciones diferentes (1% y 0,1%).

Se puede observar en el Gráfico 14 que el comportamiento de la goma de Algarrobo Blanco es intermedio entre el comportamiento de las gomas Guar y Garrofin (para 1% y 25°C).

Gráfico N° 14. Archivos triplicados agrupados como una única muestra. Reogramas de goma



de Algarrobo Blanco, Garrofin y Guar para una concentración del 1% y a la temperatura de 25 °C.

En el Gráfico 15 puede observarse que el comportamiento de la goma de Algarrobo Blanco también es intermedio entre los de las gomas Guar y Garrofin. Lo que ha variado es el comportamiento reométrico, ya que en este caso, el valor de la viscosidad aparente es constante e igual a la pendiente de la recta, lo que indica un comportamiento newtoniano.

Además, la dispersión de la goma Guar, que era menos viscosa a 1%, pasa a ser más viscosa a 0,1%. Estas diferencias en los efectos de la concentración y el gradiente de velocidad, se atribuyen (como se explicará más adelante) a diferencias en el contenido de galactosa que posee cada una de las gomas.

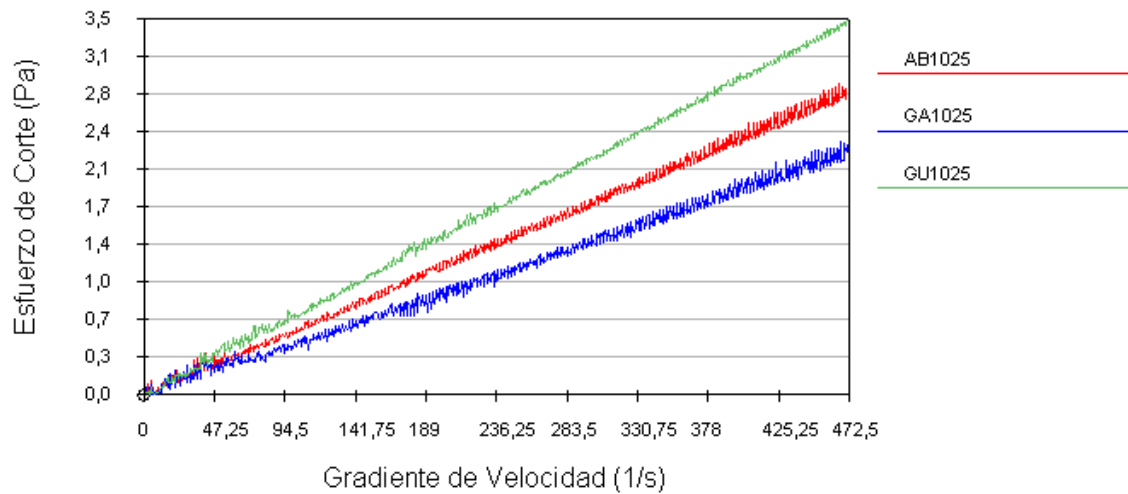


Gráfico N° 15. Archivos triplicados agrupados como una única muestra. Reogramas de goma de Algarrobo Blanco, Garrofín y Guar para una concentración del 0,1% y a la temperatura de 25 °C.

A continuación se efectúa un análisis del comportamiento de los índices de Consistencia (K) y de comportamiento (n) correspondientes al modelo de la ley de Potencia en función de la temperatura y la concentración. Se presentan solo algunos Gráficos a los efectos del análisis, encontrándose el resto es el Anexo V.

4.5.1. Variación del Índice de Consistencia K con la Temperatura.

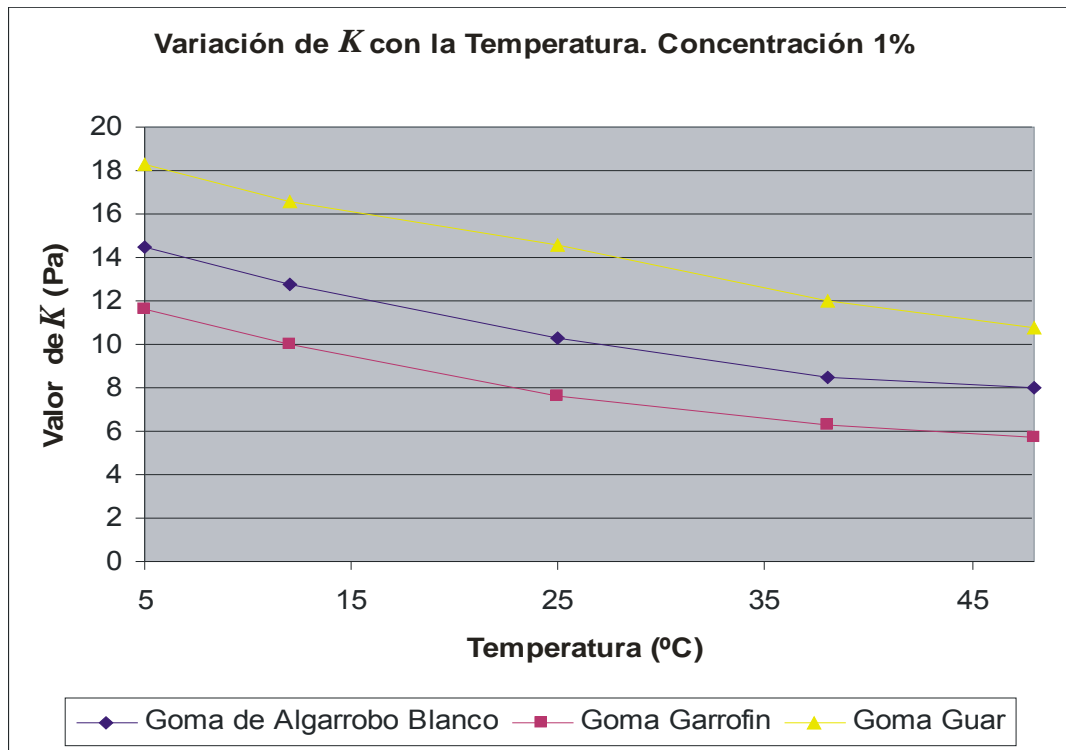


Gráfico Nº 16. Variación del Índice de Consistencia (K, del modelo de potencia) de las gomas de Algarrobo Blanco, Garrofin y Guar para una concentración del 1% con la temperatura.

Se observa en el Gráfico 16, que el valor del índice de consistencia K disminuye al aumentar la temperatura para las tres gomas. Considerando que el valor de K está directamente relacionado con la viscosidad, este comportamiento coincide con el de las dispersiones de gomas, que disminuyen su viscosidad al aumentar la temperatura.

También se puede deducir del Gráfico que el comportamiento del valor del Índice de consistencia correspondiente a la goma de Algarrobo Blanco, se encuentra entre los de la goma Guar y los de Garrofin, lo que se corresponde con el comportamiento de las tres gomas observado en el Gráfico 14.

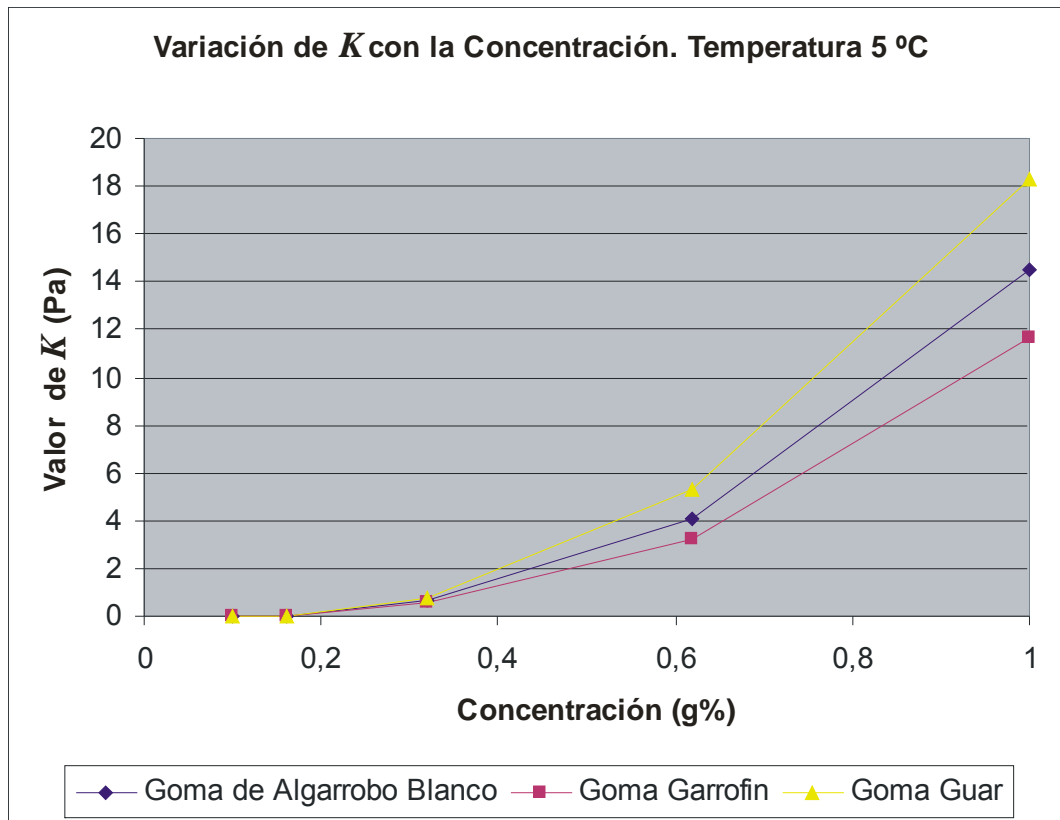
4.5.2. Variación del Índice de Consistencia K con la Concentración.

Gráfico Nº 17. Variación del Índice de Consistencia (K , del modelo de potencia) de las gomas de Algarrobo Blanco, Garrofin y Guar para una temperatura de 5°C con la concentración.

En el Gráfico 17 se observa, como era de esperar, que el Índice de consistencia aumenta su valor a medida que se incrementa la concentración para las tres gomas. También se puede concluir que el comportamiento de la goma de Algarrobo Blanco es intermedio entre el de la goma Guar y la goma Garrofin.

4.5.3. Variación del Índice de Comportamiento, n , con la Temperatura

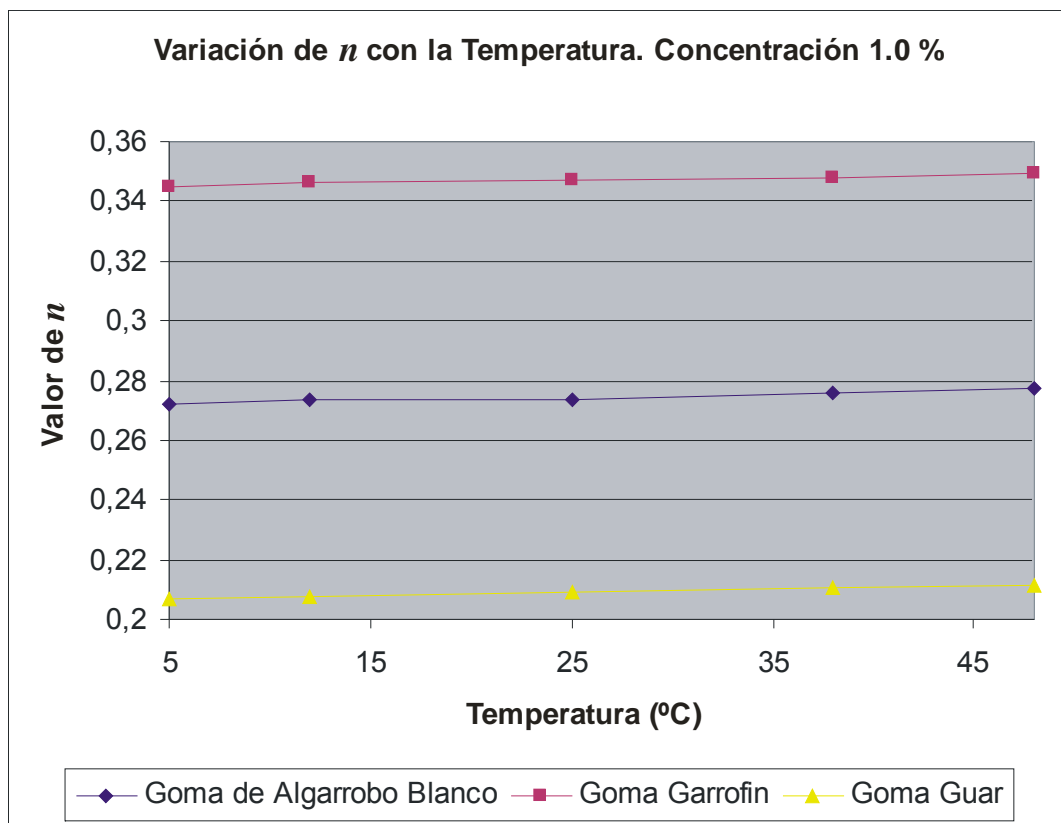


Gráfico Nº 18. Variación del Índice de Comportamiento (n , del modelo de potencia) de las gomas de Algarrobo Blanco, Garrofin y Guar para una concentración del 1% con la temperatura.

Del análisis del Gráfico 18, se observa que las dispersiones de goma Guar son la que poseen un comportamiento más pseudoplástico, las de goma Garrofin el menos pseudoplástico, presentando las de goma de algarrobo blanco un comportamiento intermedio entre ambas. Esto confirma lo observado en el Gráfico 14. Se observa también que n , aumenta ligeramente con la temperatura, lo cual coincide con lo encontrado por

Gómez-Díaz y Navaza (2002) en mezclas de carboximetilcelulosa- alginato de sodio y con lo reportado por Yang (2001) en un estudio realizado en soluciones de poliacrilamida.

Las diferencias en pseudoplasticidad se repiten para las concentraciones de gomas iguales a 0,62% y 0,32%, no así para las concentraciones correspondientes a 0,16% y 0,10%, las cuales siguen un comportamiento Newtoniano ($n = 1$) para todas las temperaturas utilizadas. Los altos valores del coeficiente de correlación obtenidos al realizar una regresión lineal de los datos, dan consistencia a estos resultados.

4.5.4. Variación del Índice de Comportamiento n con la concentración.

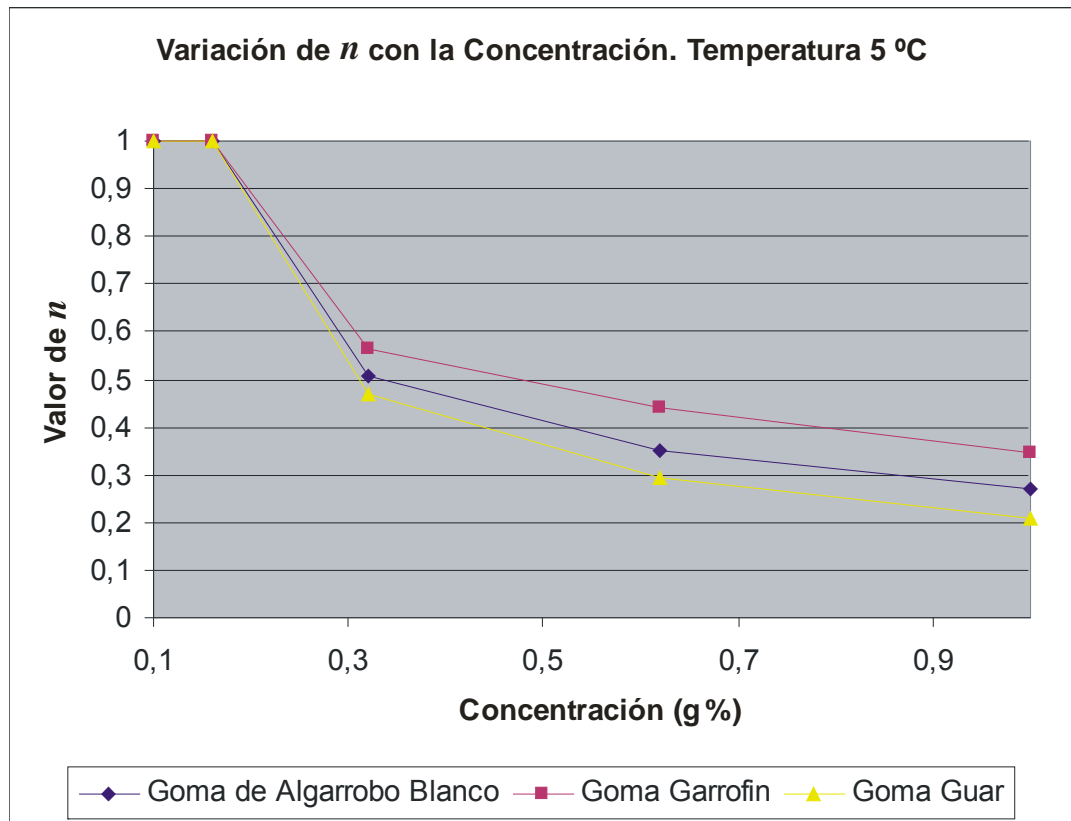


Gráfico Nº 19. Variación del Índice de Comportamiento (n , del modelo de potencia) de las gomas de Algarrobo Blanco, Garrofin y Guar para una temperatura de 5°C con la concentración.

En el Gráfico 19 se observa que n disminuye con el aumento de la concentración, desde el

valor 1 para 0,1% y 0,16 %, hasta valores cercanos a 0,2 para 1%. Esto indica que existe una concentración entre 0,16% y 0,32% en el cual las dispersiones pasan del comportamiento newtoniano al pseudoplástico.

4.6. Viscosidad Aparente

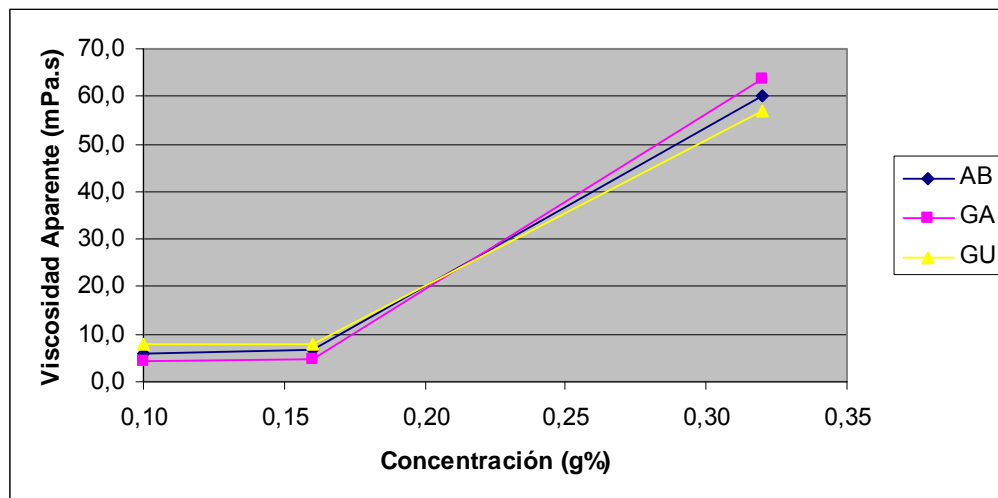


Gráfico N° 20 . Valores de viscosidad aparente para un gradiente de velocidad de 80 1/s, a la temperatura de 25 °C y para tres concentraciones 0,10 %, 0,16 % y 0,32 %, para las tres gomas.

En el Gráfico 20 se puede observar el comportamiento de la viscosidad aparente de las tres gomas para un gradiente de velocidad de 80 (1/s) y a 25 °C de temperatura, en función de la concentración. A bajos gradientes el comportamiento de las tres gomas es newtoniano siendo la goma Guar la que presentó una mayor viscosidad aparente y la goma Garrofín la menor. Cuando el comportamiento de las tres gomas se transforma en no- newtoniano la relación de viscosidades aparentes se invierten mostrando la goma Garrofín el mayor valor y la goma Guar el menor.

Estas diferencias se podrían atribuir a las distintas configuraciones estructurales entre la goma Garrofín y la goma Guar, como consecuencia de su distinto contenido de galactosa.

Los resultados obtenidos por Richadson et al. (1998) indican que la goma Guar posee un

mayor porcentaje de galactosa (40%) comparado con la goma Garrofin (20-23%) y que ambos polímeros son biodispersos no sólo en el peso molecular y en el contenido de galactosa, sino también en la distribución de las cadenas laterales de galactosa, es decir, no existe un patrón constante de distribución sino que la misma es al azar. El contenido de galactosa afecta significativamente las propiedades físicas de los galactomananos. Más aún, cuanto menor es el contenido de galactosa, menor es su solubilidad en agua fría pero mayor es el grado de interacción entre cadenas de polímeros, lo cual le otorga una mayor capacidad de gelificación debido a que existen mayor cantidad de zonas dentro del esqueleto de manosa que no están sustituidas lateralmente con galactosa (Richardson et al., 1998; Doyle et al., 2006).

Las dispersiones correspondientes a polímeros con estructura tipo “random coil”, poseen un parámetro de interacción entre cadenas (“coil overlap”) $c[\eta] \approx 4$ (Goycoolea et al., 1995). Tanto para la goma Guar como para la Garrofin el valor de este parámetro es menor $c[\eta] \approx 2,5$. Morris et al. (1998) ha atribuido este menor valor del parámetro a interacciones multicadenas (“hyperentanglements”), particularmente en los segmentos del esqueleto de manosa sin ramificación lateral de galactosa. Una conclusión similar fue obtenida por Goycoolea et al. (1995) quien eliminó la interacción entre cadenas disolviendo las gomas Guar y Garrofin a pH=10. Esto implicó una disminución en la viscosidad intrínseca de 12,1 a 5,2 para goma Garrofin y de 12,5 a 11,9 para goma Guar. De esta manera se verifica que la goma Garrofin (con menor % de galactosa), posee mayor afinidad para formar enlaces intercadenas. Más aún, al llevar ambas soluciones a pH neutro, la viscosidad intrínseca retomó los valores originales demostrando que ocurre una agregación reversible.

Mao y Chen (2006) utilizaron otra metodología para demostrar la interacción intercadenas de los galactomananos. Para ello trabajaron sobre dispersiones de Garrofin y Guar en muestras conteniendo sacarosa a diferentes concentraciones. Posteriormente se sometía cada muestra a ciclos de congelado descongelado. El agregado de sacarosa al reducir la

“calidad” del solvente, favorece la asociación entre cadenas. El mismo efecto es producido por el congelamiento de la mezcla, ya que al cristalizar, se favorece dicha asociación. Luego del último descongelado las muestras fueron colocadas en un reómetro y se midió el ciclo de histéresis característico de las sustancias que presentan tixotropía, el cual se atribuye a la ruptura de estructura, en este caso formadas por asociaciones intercadenas. La goma Garrofín presentó histéresis mientras que la goma Guar no mostró este efecto. En el mismo estudio analizaron el comportamiento pseudoplástico de ambas gomas a igual concentración y temperatura. Encontraron que la goma Garrofín presenta un comportamiento menos pseudoplástico (mayor valor de n), atribuyéndolo a que la velocidad de rotura de las asociaciones intercadenas es menor que la velocidad a la que se orientan las moléculas a las líneas de flujo.

Estos antecedentes, permiten sugerir que cuando la concentración es baja, las moléculas de goma Guar, al poseer una menor capacidad para asociarse con otras cadenas, se encuentran separadas unas de otras en mayor medida que la Garrofín, con lo cual cada molécula presenta un mayor radio de giro hidrodinámico obteniéndose una mayor viscosidad. Al aumentar la concentración comienzan a aparecer los “hiperentanglements” para ambas gomas. Cuando las dispersiones se someten a flujo de corte, las moléculas de Guar se alinean rápidamente con las líneas de flujo, mientras que las moléculas de Garrofín lo hacen a menor velocidad pues se encuentran asociadas entre sí. Por otra parte a mayor gradiente la goma Guar por ser más ramificada, sería menos flexible, lo cual facilitaría el “acomodamiento” a lo largo de las líneas de flujo y la viscosidad caería más rápidamente de lo que lo hace la de Garrofín. Este efecto ha sido destacado para la goma xántica (Prentice, 1984, b)

4.7. Regresión múltiple para viscosidad en función del Gradiente de Velocidad, la Concentración y la Temperatura

Como se ha visto, la función de potencia permite ajustar adecuadamente los valores experimentales correspondientes a todos los reogramas de las tres gomas evaluadas. Las tendencias observadas para los efectos de la temperatura y la concentración sobre la viscosidad son los esperados para este tipo de polímeros. Para algunas aplicaciones puede ser conveniente disponer de una función que vincule a la viscosidad con los 3 factores que la afectan (gradiente, T y concentración). Rao y Rizui (1986) propusieron dos modelos. El primero para la variación de la tensión de corte en función de la temperatura y el gradiente de velocidad, en el cual la variación respecto a la temperatura, sigue una función exponencial del tipo Arrhenius y la variación respecto al gradiente de velocidad es potencial, esto es, el gradiente elevado a un coeficiente n , que representa un índice de comportamiento promedio. El otro modelo es una ecuación la cual expresa la variación de la viscosidad aparente en función de la temperatura, siguiendo una función exponencial del tipo Arrhenius y la variación respecto a la concentración con una función de potencia. González et al. (1991) propusieron un modelo de regresión para dispersiones de harina de maíz precocida por extrusión, en el cual la viscosidad quedaba representada en función del gradiente de velocidad, de la temperatura, de la concentración y de la solubilidad en agua.

Teniendo en cuenta estos antecedentes se propone un modelo de regresión múltiple, en el cual la viscosidad es una función del gradiente (modelo de potencia), de la temperatura (modelo tipo Arrhenius) y de la concentración (modelo de potencia). Para el gradiente de velocidad se seleccionaron los siguientes valores: 20, 40, 60, 80 y 100 (1 / s). Este rango incluiría los gradientes a los cuales son sometidas las gomas cuando se utilizan como espesantes y también fue sugerido por Frost (1984).

El siguiente es el modelo de regresión múltiple que se propone:

$$\eta = K C^a e^{\frac{b}{T}} \gamma^c$$

En el cual:

η : representa la viscosidad aparente, mPa.s

C : concentración, g%.

T : la temperatura, °K.

γ : Gradiente de Velocidad, ($\frac{1}{s}$).

Los valores utilizados para las variables fueron:

Concentración (g%): 0,1%, 0,16 %, 0,32 %, 0,64 % y 1%.

Temperatura (°K): 278, 285, 298, 311 y 321.

Gradiente de Velocidad ($\frac{1}{s}$) : 20, 40, 60, 80 y 100.

El programa efectúa el cálculo de los coeficientes mediante regresión lineal de los datos utilizando el método de los cuadrados mínimos. Para transformar la ecuación propuesta en una ecuación lineal en los coeficientes (exigencia del método de cálculo) se aplica el logaritmo neperiano a ambos miembros por lo que la ecuación se transforma en:

$$\ln(\eta) = \ln(K) + a \ln(C) + \frac{b}{T} + c \ln(\gamma)$$

A continuación se observa la estadística que entrega el software para esta regresión, para las tres gomas:

4.7.1. Goma de Algarrobo Blanco.

La Tabla 14 muestra los resultados del análisis estadístico para la regresión múltiple correspondiente a la viscosidad de la dispersión de goma de algarrobo blanco.

Tabla 14. Análisis Estadístico para el Modelo de Regresión Múltiple aplicado a la goma de Algarrobo Blanco

Parámetro	Estimada	Error estándar	Estadístico T	Probabilidad
Constante	3,58	0,671	5,33	4,76 e-7
1	2,12	0,039	53,91	0
2	1309,45	186,746	7,01	0
3	-0,382	0,059	-6,52	0

Análisis de la Varianza

Origen	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Modelo	415,20	3	138,40	999,37	0
Residuos	16,76	121	0,14		
Total Corregido	431,95	124			

R2	96,12
R2 Ajustado	96,02
Error estándar de la estima	0,37
Error Medio Absoluto	0,30
Estadístico Durbin-Watson	0,48

Del análisis de la varianza, se desprende que al ser la probabilidad del valor de la F de Snedecor calculada menor que 0,01 existe una relación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 99%, explicando el modelo un 96,12 % de la variación de la Viscosidad en el rango seleccionado de las variables.

.La ecuación para Algarrobo Blanco queda de la siguiente manera:

$$\eta = 35,7 C^{2,12} e^{1309,4/T} \gamma^{-0,382}$$

4.7.2. Goma Garrofín

Tabla 15. Análisis Estadístico para el Modelo de Regresión Múltiple aplicado a la goma Garrofín

Parámetro	Estimada	Error estándar	Estadístico T	Probabilidad
Constante	3,07	0,78	3,93	0,00
1	2,31	0,05	50,34	0,00
2	1439,07	217,44	6,62	0,00
3	-0,331	0,07	-4,86	0,00

Análisis de la Varianza

Origen	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Modelo	488,34	3	162,78	867,04	0
Residuos	22,72	121	0,19		
Total Corregido	511,06	124			

R2	95,55
R2 Ajustado	95,44
Error estándar de la estima	0,43
Error Medio Absoluto	0,36
Estadístico Durbin-Watson	0,44

La ecuación para goma Garrofin queda de la siguiente manera:

$$\eta = 21,5 C^{2,31} e^{1439,1/T} \gamma^{-0,331}$$

4.7.3. goma Guar

Tabla 16. Análisis Estadístico para el Modelo de Regresión Múltiple aplicado a la goma Guar

Parámetro	Estimada	Error estándar	Estadístico T	Probabilidad
Constante	3,17	0,639	4,96	0,00
1	2,01	0,038	53,48	0,00
2	1427,11	177,929	8,02	0,00
3	-0,397	0,056	-7,11	0,00

Análisis de la Varianza

Origen	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Valor F	Probabilidad
Modelo	374,03	3	124,68	991,73	0
Residuos	15,21	121	0,13		
Total Corregido	389,25	124			

R2	96,09
R2 Ajustado	96,00
Error estándar de la estima	0,35
Error Medio Absoluto	0,28
Estadístico Durbin-Watson	0,60

La ecuación para goma Guar queda de la siguiente manera:

$$\eta = 23,7 C^{2,01} e^{1427,1/T} \gamma^{-0,397}$$

También, como en los dos casos anteriores, se puede decir que existe una relación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 99%, explicando el modelo un 96,09% de la variación de la Viscosidad en el rango seleccionado de las variables.

4.8. Aplicación de la curva de Shama y Sherman

El Gráfico 21 es una representación doble logarítmica de los valores de Esfuerzo de Corte (Pa) y Gradiente de Velocidad (1/s) de los reogramas correspondientes a las dispersiones de las gomas de Algarrobo Blanco, Guar y Garrofin, para las concentraciones (1; 0,62; 0,32; 0,16 y 0,1%) y Temperaturas (5, 12, 25, 38 y 48°C) utilizadas, junto a la curva de Shama-Sherman. En la primer "línea" se puede observar que para la concentración del 1%, las tres curvas se cruzan dentro de la banda de la curva de Shama-Sherman, esto significa que en la boca, no se percibirían diferencias de viscosidad entre las tres gomas.

En la segunda y la tercera fila, para las concentraciones de 0,62 y 0,32%, se observa que el cruce de las curvas se produce fuera de la banda y por lo tanto la viscosidad de la dispersión de goma Garrofin percibida en la boca será mayor que la de goma Guar y nuevamente la goma de algarrobo blanco presenta valores intermedios a las otras dos. No obstante estas diferencias podrían no ser perceptibles en la boca, teniendo en cuenta el ancho de la "banda" de la curva de Shama-Sherman (intervalo de confianza para $p < 0,05$).

En los casos de la cuarta y quinta fila del Gráfico 21, para las concentraciones de 0,16 y 0,10 %, aunque el rango experimental de los reogramas correspondientes a las gomas se encuentra fuera de la "banda", puede suponerse que las diferencias de viscosidad entre las gomas podrían ser percibidas. En este caso, y tal como ya se ha mencionado, la dispersión de goma Garrofin presenta menor viscosidad que la de goma Guar. en el rango seleccionado de las variables.

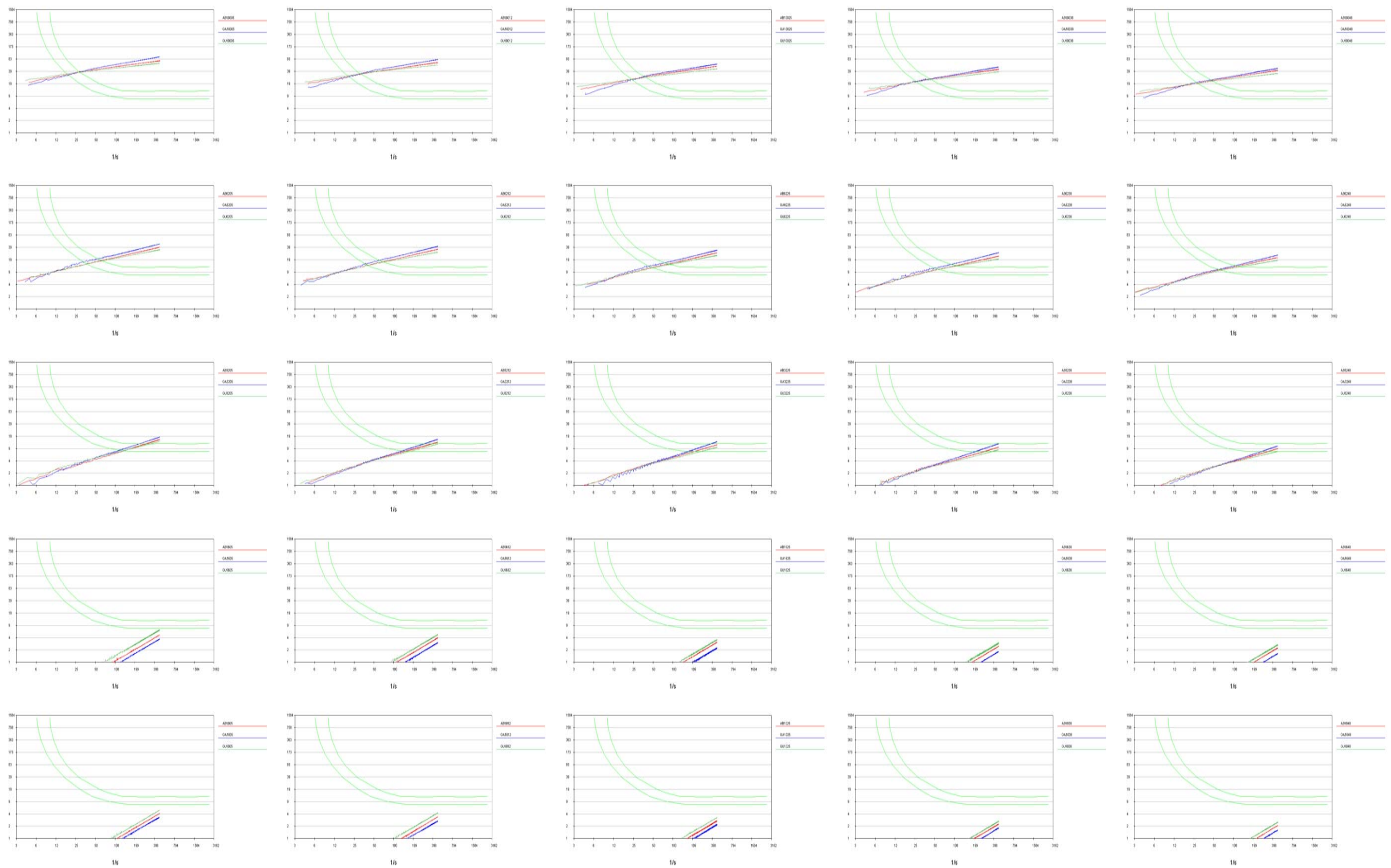


Gráfico 21 . Representación doble logarítmica de los valores de Esfuerzo de Corte (Pa) y Gradiente de Velocidad (1/s) de los Reogramas de los Triplicados de Gomas de Algarrobo Blanco, Guar y Garrofin junto a la curva de Shama-Sherman

5. Conclusiones

5.1. Sistema de molienda: Se desarrolló un sistema de molienda que permite obtener la semilla de Algarrobo Blanco con un buen rendimiento porcentual respecto al fruto entero, utilizando el equipamiento disponible en el Instituto de Tecnología de Alimentos. La goma de Algarrobo Blanco se obtuvo sólo a escala laboratorio para poder determinar su composición y comportamiento reométrico.

5.2. Comportamiento de la goma de Algarrobo Blanco: Se pudo comprobar que el comportamiento reométrico de la goma de Algarrobo Blanco es similar (y se encuentra dentro del rango de variación) de las gomas Guar y Garrofín, para diferentes concentraciones y temperaturas, por lo que podría utilizarse este recurso natural como sustituto de productos importados, al menos como agente espesante.

5.3. Desarrollo de Software: Se desarrolló un software que puede cumplir con las siguientes funciones :

- Transformar las señales analógicas generadas en el viscosímetro Haake en formato digital, lo que permite mejorar significativamente la obtención de los datos del viscosímetro, transformándolo en una versión más moderna.
- Convertir, graficar y efectuar regresiones sobre los datos digitalizados, con la opción de poder encontrar diferencias estadísticas entre los reogramas.
- Superponer los reogramas obtenidos y la curva de Shama-Sherman, con el objeto de determinar la viscosidad que la dispersión presentará en la boca.

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

El equipo Haake utilizado consta de cuatro módulos, los que se describen a continuación:

- Control, en el cual se regulan las condiciones de trabajo que son: velocidad del rotor, velocidad de cambio de la velocidad del rotor y calibración del 0 y 100% de las escalas de medición: velocidad (r.p.m). y Esfuerzo (S).
- Medición: compuesto por dos cilindros concéntricos rodeado por un recipiente termostático y dos cabezales de medición (50 y 500, los que se intercambian por el giro de un tornillo con la finalidad de aumentar el rango de medición del Esfuerzo)
- Registrador X, Y, Tiempo: recibe los datos del cabezal de medición en forma de voltaje y los grafica sobre papel. Tiene la posibilidad de medir Esfuerzo en función de la velocidad o del tiempo
- Baño termostático: puede trabajar a altas temperaturas con la utilización de fluido calefactor distinto del agua y a bajas temperaturas (mayores que 0°C) pues posee equipo de enfriamiento.

Cada reograma obtenido con esta disposición es una gráfica sobre papel. Para obtener la viscosidad deben medirse con regla los valores de x e y para cada punto seleccionado de la gráfica. Además de tedioso, puede resultar un método poco preciso si se deben medir gran cantidad de curvas y un número importante de puntos.

Fue por esto que se propuso digitalizar los reogramas. Para ello se utilizó una tarjeta de adquisición de datos MX-12 de la Firma CIMA. Esta tarjeta posee 16 canales de entrada/salida, con un conversor de 12 bits (4096 pasos de conversión) y posibilidad de control de la ganancia de entrada de 0,25x, 0,5x, 1x, 2x, 4x, 8x, 16x y 32x. Los rangos voltajes de entrada admitidos son 0-5 V, 0-10 V, ± 5 V, ± 10 V.

En el caso de los reogramas de esfuerzo en función de la velocidad, se utilizaron sólo dos canales, leyendo de manera alternativa el canal con el voltaje correspondientes al dato de la

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

velocidad (X) y luego al esfuerzo (Y). Este cambio requiere de un tiempo de estabilización de 1 milisegundo. El tiempo de conversión de Voltaje a valor digital es de 20 microsegundos, por lo que se pueden medir alternativamente alrededor de 980 datos totales por segundo, la mitad para X y la mitad para Y. Esta cantidad de datos adquiridos es la máxima posible cuando se miden dos canales.

Mediciones previas de velocidad en el rango seleccionado y con una ganancia de 7x, indicaron que para una velocidad de 0 r.p.m. el valor de tensión era de unos pocos milivolts ($10,97 \pm 0,48$ mV) por encima de 0 Volts. Para la velocidad máxima seleccionada de 200 r.p.m. el valor de tensión era cercano a los 5 ($4522,96 \pm 0,48$ mV). Lo mismo ocurrió para los valores del esfuerzo ($7,96 \pm 0,48$ mV) para un valor igual a cero y de ($3710 \pm 0,48$ mV) para 100. Por esta razón se seleccionó esta ganancia para todos los reogramas. Considerando estos voltajes y la capacidad de resolución de 12 bits de la placa para el intervalo de voltajes de 0 a 5 Volts, la máxima resolución para la velocidad en r.p.m. (rango 0 – 200 r.p.m.) es de 0,054 r.p.m. y para el esfuerzo (rango 0 – 100 S) de 0,033 S.

El software desarrollado para el presente trabajo posee diversos módulos. La base estadística del módulo de regresión se desarrolla en el Anexo II (Estadística). En el desarrollo del Software se han utilizado algunas funciones de la API de Windows (Appleman, 1996).

Pantalla Inicial del Programa

Cuando se Inicia el Programa aparece la primera pantalla en la cual se observan tres alternativas:

DESCRIPCION DEL SOFTWARE



1. Adquirir Datos

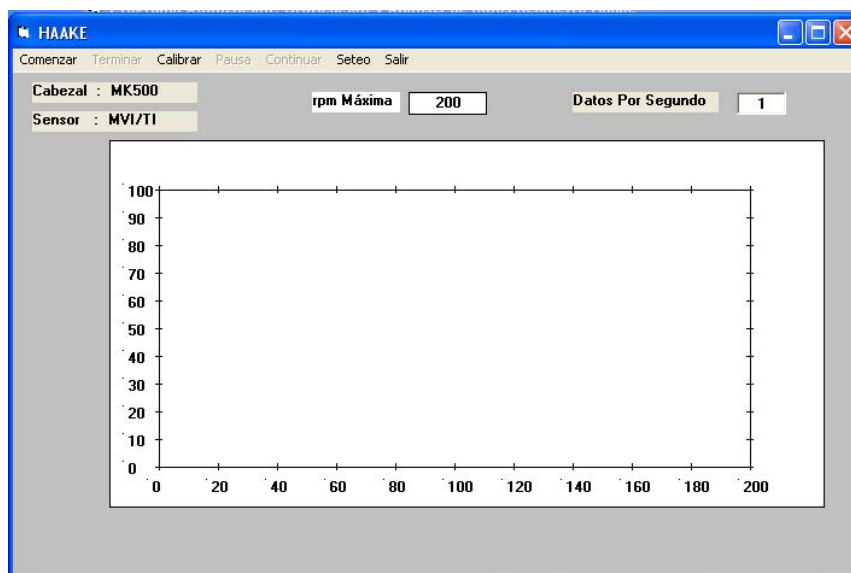
2. Graficar Datos

3. Regresiones de Datos

1. Adquirir Datos. Permite:

- Nombrar el archivo con los datos a adquirir (la extensión se genera automáticamente y es ".bin")
- Seleccionar el valor de la máxima velocidad (en r.p.m.). Cuando el programa detecta que se ha alcanzado la máxima velocidad deja de adquirir datos, graba el archivo y lo cierra.

DESCRIPCION DEL SOFTWARE



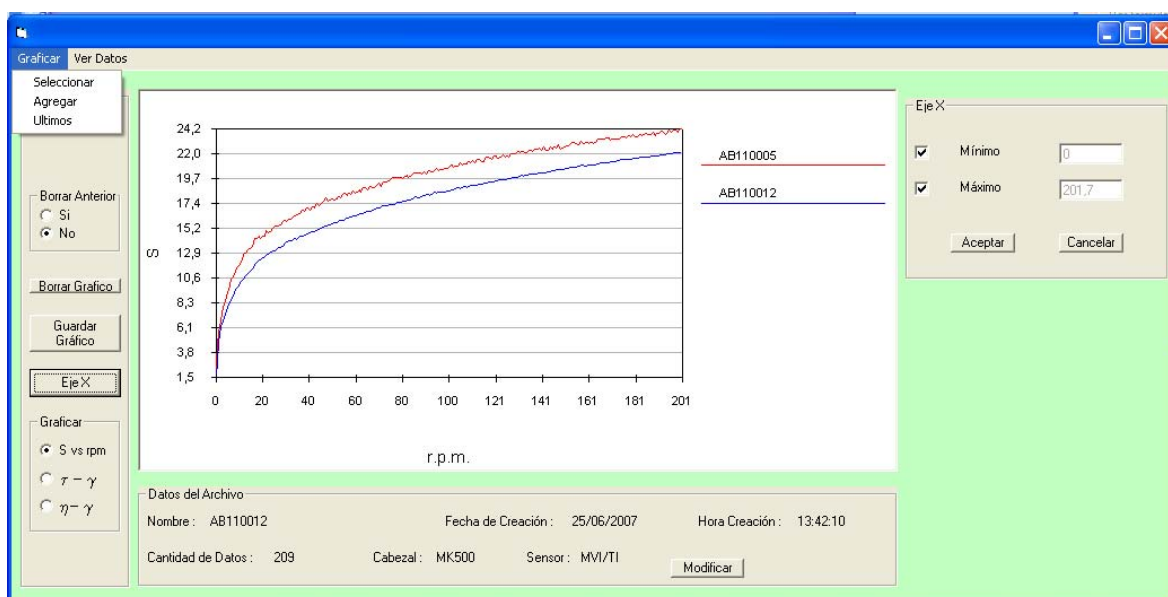
- Seleccionar el número de datos adquiridos por segundo. Esto es relativo, pues en general el sistema operativo Windows al ser multitarea, no permite obtener más de aproximadamente 18 datos “externos” por segundo.
- Calibrar los valores de velocidad 0 r.p.m., máx. r.p.m. (200 en nuestro caso), y esfuerzo 0 S y 100 S. Esto se efectúa de manera conjunta con el módulo de control del HAAKE; se calibra mecánicamente el valor correspondiente en el HAAKE y luego se calibra el software. En el caso de las calibraciones del software se toman 20 datos del voltaje correspondiente al punto que se esté calibrando en un lapso de dos segundos, se promedia y se guarda este valor en un archivo el cual se utiliza posteriormente durante la adquisición de las muestras para transformar los valores de volt a r.p.m. o S.
- Setear Haake permite la Selección del Sensor y del Tipo de cabezal. El equipo Haake se calibra como se explicó más arriba y los valores que se adquieren estarán en r.p.m. y valores de S. Para obtener los valores de Esfuerzo de Corte (τ) vs. Gradiente de Velocidad ($\dot{\gamma}$) o de viscosidad aparente (η_{ap}) vs. Gradiente de Velocidad ($\dot{\gamma}$), los valores de S y r.p.m. deben ser convertidos. Esto se efectúa mediante constantes que brinda el

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

fabricante y que dependen del Cabezal Sensor y del tipo de geometría (Copa), las cuales se han guardado en un Archivo. Al “setear” el Sensor y la copa el programa automáticamente selecciona las constantes adecuadas para posteriormente efectuar la conversión de los datos.

- Graficar los valores que se obtienen en tiempo real.

2. Graficar Datos. Permite:



En el gráfico se pueden observar las opciones que presenta esta pantalla:

En la barra superior se observan dos alternativas: Graficar y Ver datos.

2.1. En Graficar existen tres opciones:

- Seleccionar: Permite seleccionar los archivos que se van a graficar. Cuando se utiliza esta opción, se analizan los archivos y se seleccionan los máximos valores de X e Y, los que son utilizados en la escala de cada eje.
- Agregar: permite agregar un nuevo archivo redimensionando la escala de X e Y tomando

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

en cuenta los valores máximos de todos los archivos graficados.

- Últimos: vuelve a presentar en pantalla la gráfica de los últimos archivos seleccionados.

Todas estas opciones presentan el gráfico de acuerdo a lo que esté seleccionado en el recuadro “tipo de Gráfico”:

Si es S vs. r.p.m., grafica los valores obtenidos en el módulo de adquisición sin ningún tipo de transformación.

Si es τ vs. $\dot{\gamma}$, convierte los valores anteriores de S , en Esfuerzo de Corte (Pa) y de r.p.m. en Gradiente de Velocidad (1/s)

Si es η_{app} vs. $\dot{\gamma}$, calcula la viscosidad aparente en cada punto como el cociente entre el Esfuerzo de Corte y el Gradiente de Velocidad y lo grafica en función del Gradiente de Velocidad (1/s)

2.2. Ver datos

Presenta en una grilla los datos contenidos en el archivo (debe ser un único archivo el seleccionado) teniendo en cuenta lo que está seleccionado en el recuadro tipo de gráfico.

- Si es S vs. r.p.m., muestra en dos columnas los valores obtenidos en el módulo de adquisición sin ningún tipo de transformación.
- Si es τ vs. $\dot{\gamma}$, convierte los valores anteriores de S , en Esfuerzo de Corte (Pa) y de r.p.m. en Gradiente de Velocidad (1/s) y los muestra en dos columnas.
- Si es η_{app} vs. $\dot{\gamma}$, calcula la viscosidad aparente en cada punto como el cociente entre el Esfuerzo de Corte y el Gradiente de Velocidad y muestra los datos en tres columnas, en la primera aparece el gradiente de velocidad, en la segunda el esfuerzo de corte y en la

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

tercera la viscosidad aparente.

En la parte izquierda de la pantalla hay un recuadro con las siguientes opciones:

- Un recuadro “Borrar anterior” con dos botones de opciones:
- Si. Borra el gráfico que hay en pantalla y lo reemplaza con el gráfico correspondiente a los nuevos archivos elegidos. En este caso, se analizan los archivos y se seleccionan los máximos valores correspondientes a los ejes horizontal y vertical los que definen la escala de cada eje.
- No. Deja el gráfico anterior y dibuja el correspondiente a el/los nuevos archivos elegidos. En este caso cada grafico agregado ocupa toda la escala de los ejes horizontal y vertical, entre sus valores máximos y mínimos. Se borran los valores de ambos ejes ya que las escalas pueden ser muy diferentes. Se puede utilizar para comparar formas de curvas con escalas distintas.
- Un Botón “Borra Gráfico” el cual limpia la pantalla blanca.
- Un botón “Guardar Gráfico”. Al hacer clic aparece un cuadro de diálogo en donde se puede elegir el nombre y el subdirectorio en el cual se guardará la imagen del gráfico en formato de mapa de bits de Windows (.bmp).
- Un botón “Eje X”. El programa selecciona el máximo valor de X para determinar la escala. Cuando se pulsa el botón “Eje X”, aparece a la derecha un recuadro denominado “Escala Eje X”, con dos botones de chequeo “Mínimo” y “Máximo” los que inicialmente se encuentran seleccionados, mientras que los cuadros de ingreso de texto a la derecha está inhabilitados. Cuando se realiza un clic sobre un botón de chequeo, este se deshabilita y se habilita el cuadro de ingreso de texto. En este momento se pueden cambiar los valores máximo y/o mínimo de la escala. Cuando se acepta, el recuadro

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

desaparece y las gráficas se redibujan en el intervalo seleccionado. Se puede volver a cambiar los valores de la escala o si se habilitan los botones de chequeo, se deshabilitan los cuadros de ingreso de texto y se coloca allí el valor máximo y/o mínimo original.

En la parte inferior se observa un recuadro en el que aparecen los datos de:

- El archivo seleccionado, si es único.
- Los datos del último archivo si se seleccionaron varios.

Los datos que se muestran son:

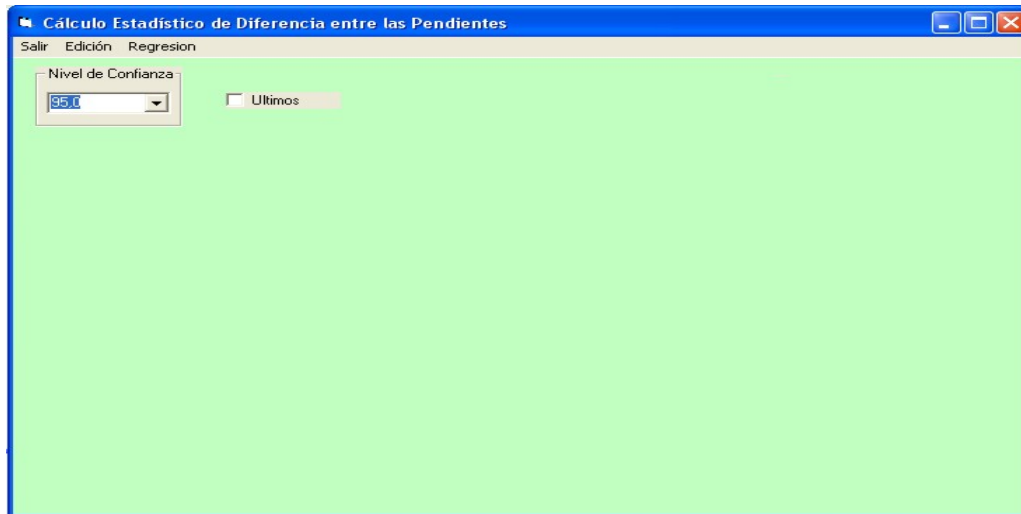
- El nombre del archivo.
- La fecha de creación
- La hora de creación.
- La cantidad de pares de datos.
- El cabezal utilizado.
- El sensor utilizado.

También hay un botón "Modificar". Este se ha agregado pues durante la operación de adquisición de datos puede haberse seleccionado incorrectamente el cabezal o el sensor utilizado. Al apretar este botón aparecen dos cuadros que permiten cambiar el cabezal y/o el sensor. Si no se colocara el cabezal y el sensor que se utilizó durante la adquisición la curva de τ vs. $\dot{\gamma}$ y de η_{app} vs. $\dot{\gamma}$ no serían las reales, pues estarían afectadas por las constantes correspondientes al sensor y/o cabezal erróneamente seleccionado.

3. Regresiones de Datos:

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

Al solicitar Regresiones de Datos desde la pantalla principal aparece la siguiente pantalla:



En la barra superior aparecen tres alternativas:

- Salir: Descarga la pantalla.
- Copiar: Copia el contenido de la regresión en el portapapeles de Windows. Luego puede pegarse el contenido en forma de tabla en Word o en Excel.
- Regresión: al hacer clic en esta opción se despliega un menú en el cual se ofrecen otras tres opciones:
 - Logarítmica: Efectúa una regresión logarítmica de los datos de τ vs. $\dot{\gamma}$. Esto se utiliza para obtener los valores de K y n del modelo de potencia.
 - Lineal: efectúa una regresión lineal de los datos de τ vs. $\dot{\gamma}$. Esto se utiliza para

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

obtener el valor de K (viscosidad) para fluidos newtonianos.

Si se selecciona cualquiera de estas dos opciones, se abre un cuadro de diálogo en el que se le solicita seleccionar los archivos a los cuales se les va a aplicar la regresión y la comparación estadística. Una vez seleccionados y pulsado el botón aceptar, aparece la siguiente pantalla:

Archivo	Valor de K	k = 0 o k > 0	Valor de n	n = 0 o n > 0	Coef. Correlac
1 AB110005	14,4394	Distinto de 0	0,273055	Distinto de 0	0,991845
2 AB110012	12,8617	Distinto de 0	0,273696	Distinto de 0	0,997905
3 AB110025	10,234	Distinto de 0	0,273958	Distinto de 0	0,997605
4 AB110038	8,4071	Distinto de 0	0,277402	Distinto de 0	0,994892
5 AB110048	7,651	Distinto de 0	0,278292	Distinto de 0	0,999455

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ordenadas al Origen
AB110005	25,6013	1,6517	Distintas
AB110012	30,5868	1,6523	Distintas
AB110025	4,3101	1,6527	Distintas
AB110038	22,0368	1,6523	Distintas
AB110048	99,1086	1,6519	Distintas

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
67,0266	3,884	Distintas

Ordenada Promedio: 10,5492

Pendiente Promedio: 0,273019

Se puede apreciar en la misma que aparece una primera estadística en la cual:

Si se ha seleccionado la regresión logarítmica se presentan por cada línea:

El nombre del archivo, el valor del índice de consistencia, si este valor es o no estadísticamente diferente de 0, el valor del índice de comportamiento, si este valor es o no estadísticamente diferente de 0 y el coeficiente de la regresión.

Si se ha seleccionado la regresión lineal se presentan por cada línea:

El nombre del archivo, el valor de la ordenada al origen, si este valor es o no estadísticamente diferente de 0, el valor de la viscosidad newtoniana en Pa.s, si este valor es o no estadísticamente diferente de 0 y el coeficiente de la regresión.

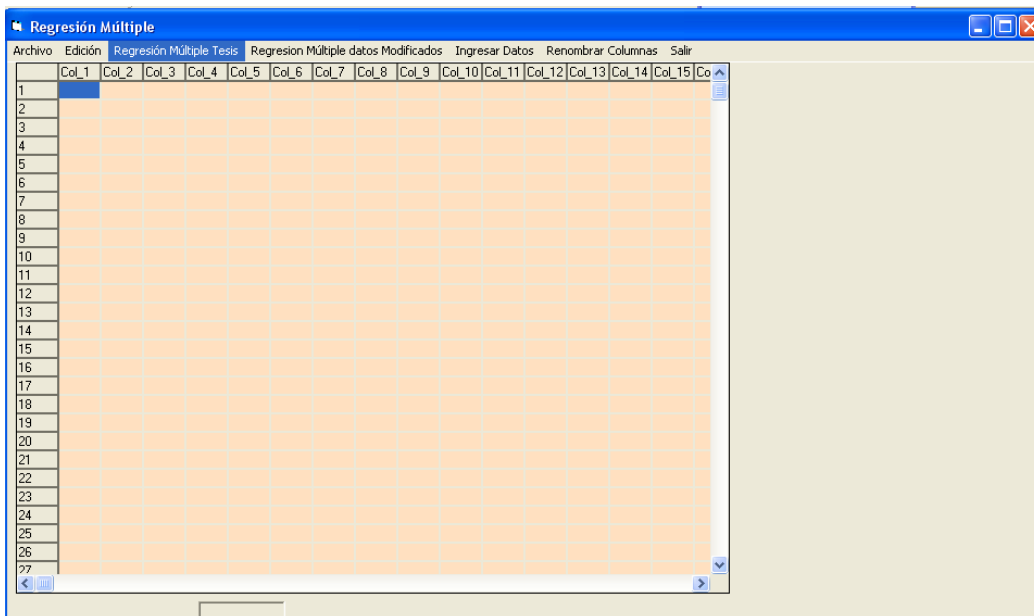
- Múltiple: Esto abre otra ventana con las opciones que aparecen en la barra de menú.

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

- Archivo: se puede seleccionar un archivo en el cual se encuentran los datos para efectuar la regresión múltiple (los datos deben estar en ASCII, guardados como archivo de texto separados por comas). En el caso de los archivos de la tesis se encuentran en líneas los datos de: concentración, temperatura, gradiente de velocidad, viscosidad aparente.
- Edición: permite pegar los datos desde el portapapeles de Windows.

Cuando aparece la pantalla los botones Regresión Múltiple tesis y Regresión Múltiple Datos Modificados se encuentran deshabilitados. Esto es para no efectuar ningún cálculo mientras no existan datos seleccionados.

- Renombrar columnas: permite cambiar el nombre que aparece en la primera fila (por



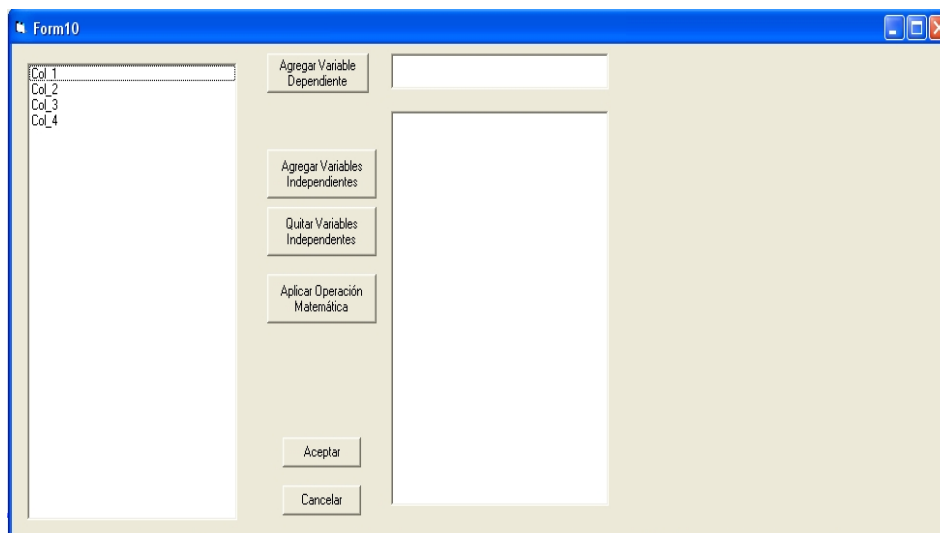
defecto Col_1, Col_2, etc.).

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

Ingresar datos: abre una nueva ventana.

Esta ventana permite:

- Para las Regresiones Múltiples de la Tesis:
- Agregar la variable dependiente. Para lograr esto se efectúa un clic sobre Col_4 en la ventana izquierda y luego se efectúa un clic en agregar variable dependiente.
- Agregar las variables independientes. Se selecciona haciendo clic en Col_1 y sin soltar el botón seleccionar hasta Col_3. Luego se efectúa un clic en el botón Agregar Variables Independientes.
- Se hace Clic en aceptar. Con esto se habilitan los botones Regresión Múltiple Tesis y Regresión Múltiple Datos Modificados. Haciendo Clic en Regresión Múltiple Tesis ,



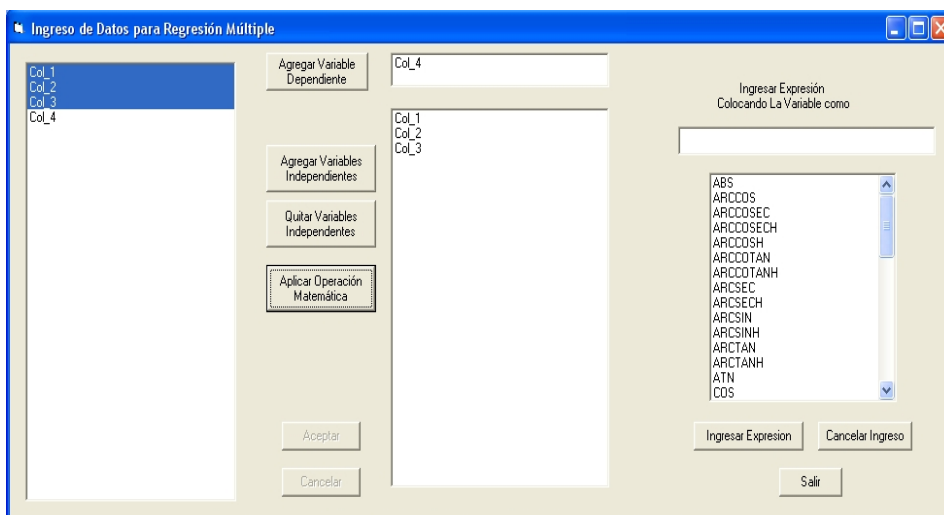
aparece una pantalla en la que se presentan los coeficientes de la regresión, el coeficiente de correlación, etc. (el programa automáticamente aplica LN a la variable

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

dependiente y a las independientes correspondientes a concentración y gradiente de velocidad, mientras que transforma el dato de temperatura en $1/(273.15+T)$)

- Para otras Regresiones Múltiples:

Se deben seleccionar las columnas que contienen los datos en la primera



pantalla. Luego hacer clic en Ingresar Datos. Se puede seleccionar cualquier columna como variable dependiente y las otras como variables independientes (la cantidad y las variables que el operador disponga).

También se puede aplicar una operación matemática sobre cualquier columna. Para ello se hace clic en Aplicar Operación Matemática, apareciendo a la derecha un cuadro de texto, un cuadro de selección y tres botones. Se selecciona la operación matemática en el cuadro de selección, luego la variable a la que se aplica en la columna del medio, y si es la operación adecuada, clic sobre el botón "Ingresar Expresión", que agrega lo seleccionado al final de la lista de variables en el cuadro del medio. Una vez

DESCRIPCION DEL SOFTWARE

ingresadas las expresiones, clic en el botón salir para cerrar el cuadro de texto, el de selección y los tres botones. Pulsar aceptar en el botón que se encuentra en medio de los cuadros de selección lo que cierra la ventana y habilita los botones Regresión Múltiple Tesis y Regresión Múltiple Datos Modificados. Al pulsar sobre Regresión Múltiple Datos Modificados aparece la misma ventana descrita en el punto anterior con la estadística.

ESTADISTICA

Estadística

En el presente trabajo se ha utilizado la estadística descriptiva en la presentación de la información de la composición de la semilla y de la goma de algarrobo, y todos los aspectos correspondiente al análisis de regresión para la comparación de los reogramas.

En el primer caso, los estadísticos usados fueron la media, definida según:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (\text{II-1})$$

y la desviación standar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{II-2})$$

Análisis de Regresión

El análisis de regresión es una técnica estadística muy útil para encontrar una relación cuantitativa entre una variable independiente y una o más variables dependientes.

Regresión Lineal Simple

El caso mas simple de funcionalidad entre dos variables es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (\text{II-3})$$

donde:

Y: variable dependiente.

X: variable independiente, aleatoria, que toma valores fijos.

ESTADISTICA

\mathcal{E} : es una medida de la variación de Y , no explicada por la regresión $\beta_0 + \beta_1 X$. Es un error al azar que se asume tiene distribución normal con media cero y varianza, σ^2

β_0 y β_1 : dos coeficientes a estimar.

Si tomamos el operador matemático Esperanza y lo aplicamos a la ecuación (1):

$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X$. El valor esperado del error es cero. Por lo que la variable Y , es aleatoria con media $\beta_0 + \beta_1 X$ y varianza σ^2 .

Si la variable X , es una variable aleatoria no fija, la ecuación (II-1) se describe como:

$$E(Y | X) = \beta_0 + \beta_1 X$$

donde $E(Y | X)$ es el valor esperado de Y cuando X tiene un valor fijo. Esta ecuación se denomina Modelo de Regresión Lineal Simple, mientras que el descrito por la ecuación (II-1) se denomina regresión simple. En los dos casos los valores de β_0 y β_1 son los parámetros de la regresión entre ambas variables.

Los parámetros β_0 y β_1 tienen el mismo significado en ambas ecuaciones, aunque presenta un tratamiento diferente el estudio de la correlación (medida de relación) entre X e Y , ya que en el caso de la ecuación (II-1) la distribución es univariada (X toma valores fijos) mientras que en (II-2) la distribución es Bivariada (tanto X como Y son variables aleatorias normales). De todas maneras, el problema de encontrar los parámetros y estadísticos envueltos en una distribución bivariada no ha sido del todo resuelto por lo que se tiende a considerar que la variable X toma valores fijos, y es fijada sin error.

Cuando se quiere estimar la relación entre dos variables X e Y , se toma una muestra de n observaciones con lo que se obtiene un conjunto de valores de X_i e Y_i .

ESTADISTICA

Luego a través de la ecuación de regresión simple se pueden obtener para cada valor dado de X_i , un valor de Y estimado (\hat{Y}) que puede o no ser igual al valor observado Y_i , es decir:

$$Y_i = \hat{Y}_i + e_i$$

Este valor de \hat{Y} se determina a través de la regresión lineal simple. Para encontrar el valor de los mejores estimadores $\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_i$ se aplica el criterio de minimizar la suma del cuadrado de los errores, conocido como Método de los cuadrados mínimos.

$$SSe = \sum_{i=1}^n e^2_i = \sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y}_i)^2$$

Tomando la derivada con respecto a cada parámetro e igualándola a cero y aplicando sumatorias desde 1 al número de datos observados se obtiene un sistema de ecuaciones dados por:

$$n \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n X_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 = \sum_{i=1}^n X_i Y_i$$

El que resuelto queda:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

ESTADISTICA

La suma de cuadrados del error (SS_E) puede escribirse

$$SS_E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i)^2$$

y se llega a:

$$SS_E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 - \hat{\beta}_1^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

El primer miembro es la suma de cuadrados total corregida (SS_{TC}) y el segundo término es la suma de cuadrados debida a la regresión (SS_R), por lo que la expresión del error queda:

$$SS_E = SS_{TC} - SS_R$$

Si no existe relación lineal, $SS_R = 0$ y si existe alguna relación lineal la suma del error disminuye a medida que aumenta el término correspondiente a SS_R .

Se puede demostrar que $SS_E / (n - 2)$ es un estimador insesgado de la varianza (σ^2).

Existen al menos dos hipótesis de interés que se pueden considerar para una regresión lineal simple:

1. Que la pendiente es distinta de cero, es decir, que hay correlación: para ello y teniendo en cuenta que la variables Y es una variable aleatoria y que X es una variable aleatoria que toma valores fijos, se llega a que

Es una combinación lineal de i variables aleatorias, y por lo tanto β_1 es una variable aleatoria con media β_1 y varianza

$$\sigma_{\beta_1}^2 = \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

ESTADÍSTICA

siendo

$$S_{\beta_1}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sum_{i=1}^n (X_{1j} - \bar{X}_1)^2}$$

Entonces la variable

$$T = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{\hat{\sigma}_{\beta_1}} = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{S_{\beta_1}} = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_1}{\sqrt{[SS_E/(n-2)] / \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

posee una distribución t de student con $n-2$ grados de libertad.

Con esta última podemos testear la hipótesis de que $\beta_1 = 0$

Se obtiene el cociente $T = \frac{\hat{\beta}_1 - 0}{S_{\beta_1}}$

Si $T = \frac{\hat{\beta}_1 - 0}{S_{\beta_1}} > t_{n-2, 1-\alpha/2}$ se puede asegurar con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ que la

pendiente es distinta de cero.

2. Que la ordenada al origen es distinta de cero:

El análisis es el mismo que para $\hat{\beta}_1$, lo único que varía es el cálculo de la varianza y su estimador la desviación standar, que en este caso son:

$$\sigma_{\beta_0}^2 = \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \sigma^2 ; S_{\beta_0}^2 = \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right] \hat{\sigma}^2$$

ESTADISTICA

Si $T = \frac{\hat{\beta}_0 - 0}{S_{\beta_0}} > t_{n-2, 1-\alpha/2}$ se puede asegurar con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ que la ordenada al origen es distinta de cero.

Análisis de Varianza en Regresión Lineal Simple

Otra manera de evaluar si la pendiente de la regresión es distinta de cero, es a través del análisis de varianza.

Se puede demostrar que

$$E(MS_E) = \sigma^2 \text{ y que } E(MS_R) = \sigma^2 + \hat{\beta}_1^2 (X_i - \bar{X})^2$$

Si no existe correlación ($\hat{\beta}_1 = 0$) el cociente:

$$F = \frac{MS_R}{MS_E}, \text{ será igual a 1.}$$

Si proponemos como $H_0: \hat{\beta}_1 = 0$, podremos rechazar la suposición de que la pendiente es igual a cero, cuando:

$$F = \frac{MS_R}{MS_E} > F_{1, n-2, 1-\alpha}.$$

Si relacionamos esta manera de considerar que la pendiente es igual o distinta de 0 con el análisis a través de la t de student, se observa que el valor t elevado al cuadrado coincide con el valor de F .

La tabla del análisis de varianza queda:

ESTADISTICA

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
Debido a la Media	1	$n\bar{Y}^2$		
Debido a la Regresión	1	$SS_R = \beta_1 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$	$MS_R = \frac{SS_R}{1}$	$F = \frac{MS_R}{MS_E}$
Error	$n-2$	$SS_E = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$MS_E = \frac{SS_E}{n-2}$	
Total	n	$\sum_{i=1}^n Y_i^2$		

Análisis de correlación

Una vez que se ha establecido que dos variables están relacionadas por la ecuación propuesta el paso siguiente es saber cuan asociadas se encuentran. Esto se denomina análisis de correlación y el estadístico que la mide se denomina coeficiente de correlación (R), y mide cuan bien la ecuación de regresión ajusta los puntos experimentales.

El coeficiente de correlación debe presentar dos características:

1. Debe ser grande cuando dos variables están muy asociadas y muy chico cuando la asociación es pequeña.
2. Debe ser independiente de las unidades de las variables medidas.

Un coeficiente que exhibe estas dos características es la raíz cuadrada de la fracción de la suma de cuadrados de la desviación de los datos originales respecto a la curva de regresión propuesta. En términos ya especificados en el análisis de varianza:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_{TC}} = 1 - \frac{SS_E}{SS_{TC}}$$

ESTADISTICA

Si $SS_E = 0$ todos los puntos caen sobre la recta de regresión.

Si $SS_R = 0$ no existe ninguna relación entre las variables.

Si R^2 varía entre 0 y 1, $r = \sqrt{R^2}$, varía entre -1 y 1 .

Un valor de $R^2 = 0.985$, implica que la regresión explica el 98,5% de la variación de los datos.

Determinación de la Igualdad de Pendientes

Se supone que se hacen n pares de observaciones X, Y las que se particionan en K grupos,

cada uno con n_i datos de manera tal que : $\sum_{i=1}^n n_i = n$. Se propone un modelo de regresión lineal

simple considerando la misma varianza para cada grupo.

Se describirá un procedimiento para verificar la igualdad de las pendientes de las K regresiones.

Caso de dos muestras:

$$\hat{\beta}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_j)(Y_{ij} - \bar{Y}_i)}{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}, \quad i = 1, 2. \quad \bar{X}_i \text{ e } \bar{Y}_i \text{ medias de la muestra } i$$

La varianza para cada pendiente será:

$$S_{\hat{\beta}_1}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sum_{j=1}^n (X_{1j} - \bar{X}_1)^2} \quad \text{y} \quad S_{\hat{\beta}_2}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sum_{j=1}^n (X_{2j} - \bar{X}_2)^2}$$

ESTADISTICA

Al ser $\hat{\beta}_1$ y $\hat{\beta}_2$ dos variables aleatorias normales, $\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2$ tendrá también una distribución

normal con media $\beta_1 - \beta_2$ y varianza $\sigma_{\beta_1} + \sigma_{\beta_2}$

Si proponemos la hipótesis nula:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2$$

Y sabiendo que $E(\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2) = \beta_1 - \beta_2 = 0$ con varianza $\sigma_{\beta_1} + \sigma_{\beta_2}$, el estadístico:

$$T = \frac{\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2}{\hat{\sigma} \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n_1} (X_{1j} - \bar{X}_1)^2} + \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_2} (X_{2j} - \bar{X}_2)^2}}}, \quad \text{con } \hat{\sigma}^2 = \frac{(SS_E)_1 + (SS_E)_2}{n_1 + n_2 - 4}$$

Si el estadístico $T > t_{n_1+n_2-4, 1-\frac{\alpha}{2}}$ o $T < t_{n_1+n_2-4, \frac{\alpha}{2}}$ se rechaza la hipótesis de la igualdad de pendientes.

Cuando el número de grupos es mayor que 2, entonces:

La expresión de las pendientes para cada grupo es la misma que para el caso de 2.

Si ahora tomamos todos los datos como correspondiente a un solo grupo obtendremos la pendiente de esta regresión "Global" o promedio:

$$\hat{\beta}_p = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})(Y_{ij} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^2}$$

ahora \bar{X} e \bar{Y} son el promedio de todos los datos de X e Y , o gran promedio ($\sum_{i=1}^n n_i = n$)

La suma de cuadrados del error para cada grupo es:

ESTADISTICA

$$(SS_E)_i = \sum_{i=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 - \hat{\beta}_i^2 \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

y para todos los grupos:

$$S_1 = \sum_{i=1}^k (SS_E)_i \text{ con } \sum_{i=1}^k (n_i - 2) = \sum_{i=1}^k n_i - 2k$$

Se puede obtener un estimador insesgado de la varianza:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{S_1}{\sum_{i=1}^k n_i - 2k}$$

La suma de cuadrados tomando todos los datos de manera conjunta es:

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})^2 = S_1 + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (\hat{\beta}_i^2 - \beta_p^2) (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 + \beta_p^2 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$$

El segundo término del lado derecho de la ecuación es la suma de cuadrados de las diferencias entre cada pendiente y la pendiente "promedio".

Para evaluar la igualdad de pendiente se utiliza el estadístico:

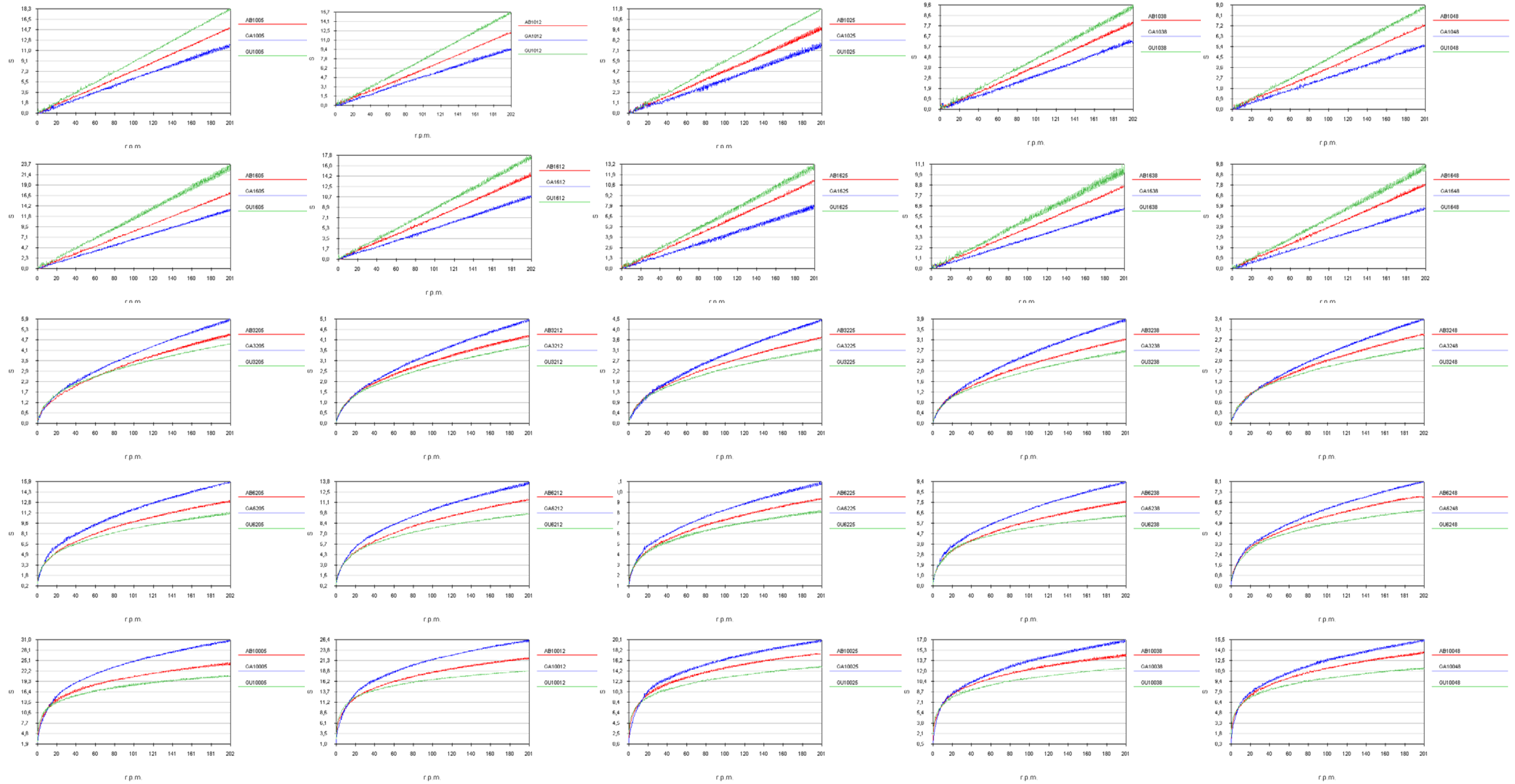
$$F = \frac{\frac{S_2}{k-1}}{\frac{S_1}{\sum_{i=1}^k n_i - 2k}}$$

que tiene una distribución $F_{k-1, \sum_{i=1}^k n_i - 2k, 1-\alpha}$

Por lo que la región de rechazo esta dada por:

$$F_{cal} > F_{k-1, \sum_{i=1}^k n_i - 2k, 1-\alpha} \quad \text{Si esto se cumple, no todas las pendientes son iguales.}$$

ANEXO III - Reogramas de las muestras de Goma de Algarrobo Blanco, Garrofin y Guar en la cual los triplicados fueron transformados en una sola muestra. Variación con la Temperatura y la Concentración



Estadística de la Comparación de Triplicados
Goma de Algarrobo Blanco

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
AB110005	14,43940	<> 0	0,27306	<> 0	0,99185
AB210005	14,51880	<> 0	0,27113	<> 0	0,99266
AB310005	14,48580	<> 0	0,27132	<> 0	0,99759

O.P.	14,48000	P.P.	0,27185
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB110005	0,22923	1,65170	Iguales
AB210005	0,23124	1,65170	Iguales
AB310005	0,05963	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,12030	3,88420	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
AB110012	12,86170	<> 0	0,27370	<> 0	0,99791
AB210012	12,73940	<> 0	0,27353	<> 0	0,99789
AB310012	12,75100	<> 0	0,27272	<> 0	0,99853

O.P.	12,78090	P.P.	0,27335
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB110012	0,97280	1,65230	Iguales
AB210012	0,49417	1,65250	Iguales
AB310012	0,45211	1,65180	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,96267	3,88360	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
AB110025	10,23400	<> 0	0,27396	<> 0	0,99761
AB210025	10,11300	<> 0	0,27477	<> 0	0,99746
AB310025	10,39550	<> 0	0,27313	<> 0	0,99498

O.P.	10,25180	P.P.	0,27386
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB110025	0,24666	1,65270	Iguales
AB210025	1,48600	1,65270	Iguales
AB310025	1,36000	1,65270	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,03970	3,88900	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB110038	8,40710	<> 0	0,27740	<> 0	0,99489
AB210038	8,48130	<> 0	0,27542	<> 0	0,99666
AB310038	8,44520	<> 0	0,27429	<> 0	0,99502

O.P.	8,44850	P.P.	0,27560
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB110038	0,47671	1,65230	Iguales
AB210038	0,48550	1,65190	Iguales
AB310038	0,04094	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
2,98380	3,88400	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB110048	7,65100	<> 0	0,27829	<> 0	0,99946
AB210048	7,70670	<> 0	0,27826	<> 0	0,99967
AB310048	7,66700	<> 0	0,27805	<> 0	0,99822

O.P.	7,67520	P.P.	0,27819
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB110048	0,97412	1,65190	Iguales
AB210048	1,63300	1,65190	Iguales
AB310048	0,18324	1,65180	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,11056	3,88380	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB16205	3,58070	<> 0	0,39341	<> 0	0,99967
AB26205	3,55790	<> 0	0,39338	<> 0	0,99956
AB36205	3,53550	<> 0	0,39315	<> 0	0,99967

O.P.	3,55810	P.P.	0,39331
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB16205	1,58253	1,65250	Iguales
AB26205	0,01494	1,65240	Iguales
AB36205	1,48935	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,13799	3,88850	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB16212	3,14330	<> 0	0,39362	<> 0	0,99966
AB26212	3,14050	<> 0	0,39369	<> 0	0,99972
AB36212	3,15160	<> 0	0,39474	<> 0	0,99972

O.P.	3,14520	P.P.	0,39401
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB16212	0,16232	1,65240	Iguales
AB26212	0,42367	1,65250	Iguales
AB36212	0,58871	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
3,21180	3,88850	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB16225	2,38390	<> 0	0,40520	<> 0	0,99817
AB26225	2,38930	<> 0	0,40746	<> 0	0,99788
AB36225	2,38130	<> 0	0,40562	<> 0	0,99866

O.P.	2,38420	P.P.	0,40615
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB16225	0,01526	1,65260	Iguales
AB26225	0,21469	1,65260	Iguales
AB36225	0,15766	1,65270	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,86380	3,88930	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB16238	2,03450	<> 0	0,40202	<> 0	0,99774
AB26238	2,01890	<> 0	0,40011	<> 0	0,99774
AB36238	2,05430	<> 0	0,39869	<> 0	0,99749

O.P.	2,03530	P.P.	0,40037
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB16238	0,04307	1,65210	Iguales
AB26238	0,80399	1,65280	Iguales
AB36238	0,86914	1,65280	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
3,05230	3,88950	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
AB16248	1,96450	<> 0	0,39399	<> 0	0,99824
AB26248	1,96600	<> 0	0,39458	<> 0	0,99789
AB36248	1,94280	<> 0	0,39453	<> 0	0,99774

O.P.	1,95780	P.P.	0,39434
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB16248	0,37979	1,65300	Igual
AB26248	0,42385	1,65300	Igual
AB36248	0,77558	1,65260	Igual

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,13025	3,88870	Igual

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
AB13205	0,66592	<> 0	0,50976	<> 0	0,99549
AB23205	0,68106	<> 0	0,50362	<> 0	0,99665
AB33205	0,68300	<> 0	0,50500	<> 0	0,99068

O.P.	0,67669	P.P.	0,50611
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB13205	0,92988	1,65190	Igual
AB23205	0,43803	1,65190	Igual
AB33205	0,37709	1,65190	Igual

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
2,90570	3,88420	Igual

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
AB13212	0,59474	<> 0	0,50661	<> 0	0,99614
AB23212	0,60754	<> 0	0,50675	<> 0	0,99729
AB33212	0,60537	<> 0	0,50721	<> 0	0,99909

O.P.	0,60343	P.P.	0,50652
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB13212	0,91518	1,65190	Igual
AB23212	0,49350	1,65250	Igual
AB33212	0,41526	1,65190	Igual

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,16688	3,88440	Igual

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB13225	0,51270	<> 0	0,50663	<> 0	0,99863
AB23225	0,51466	<> 0	0,50405	<> 0	0,99861
AB33225	0,51225	<> 0	0,50503	<> 0	0,99832

O.P.	0,51320	P.P.	0,50524
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB13225	0,10437	1,65190	Iguales
AB23225	0,30059	1,65190	Iguales
AB33225	0,17857	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,94910	3,88440	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB13238	0,41029	<> 0	0,51757	<> 0	0,99807
AB23238	0,41400	<> 0	0,51600	<> 0	0,99800
AB33238	0,42816	<> 0	0,51354	<> 0	0,99780

O.P.	0,41911	P.P.	0,51503
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB13238	1,25896	1,65260	Iguales
AB23238	1,00660	1,65260	Iguales
AB33238	1,32540	1,65180	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
3,38210	3,88360	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB13248	0,37337	<> 0	0,51938	<> 0	0,99802
AB23248	0,37410	<> 0	0,51988	<> 0	0,99889
AB33248	0,37898	<> 0	0,52045	<> 0	0,99730

O.P.	0,37561	P.P.	0,51990
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB13248	0,49248	1,65250	Iguales
AB23248	0,44400	1,65260	Iguales
AB33248	0,65582	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,22737	3,88420	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11005	0,00182	= 0	0,00942	<> 0	0,99984
AB21005	0,00015	= 0	0,00955	<> 0	0,99990
AB31005	0,00066	= 0	0,00945	<> 0	0,99990

O.P.	0,00079	P.P.	0,00947
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11005	0,32160	1,65260	Iguales
AB21005	0,24827	1,65190	Iguales
AB31005	0,05096	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
171,24700	3,88400	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11012	-0,00089	= 0	0,00776	<> 0	0,99972
AB21012	0,00182	= 0	0,00765	<> 0	0,99948
AB31012	0,00269	= 0	0,00770	<> 0	0,99962

O.P.	0,00129	P.P.	0,00770
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11012	0,61676	1,65250	Iguales
AB21012	0,11941	1,65180	Iguales
AB31012	0,35810	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
50,24650	3,88440	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11025	0,00300	= 0	0,00622	<> 0	0,99958
AB21025	0,00080	= 0	0,00594	<> 0	0,99967
AB31025	0,00039	= 0	0,00599	<> 0	0,99967

O.P.	0,00099	P.P.	0,00605
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11025	0,58501	1,65250	Iguales
AB21025	0,06726	1,65190	Iguales
AB31025	0,21325	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
695,45490	3,88440	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11038	0,00283	= 0	0,00508	<> 0	0,99959
AB21038	0,00054	= 0	0,00495	<> 0	0,99969
AB31038	0,00001	= 0	0,00500	<> 0	0,99959

O.P.	0,00102	P.P.	0,00500
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11038	0,63756	1,65270	Iguales
AB21038	0,21483	1,65180	Iguales
AB31038	0,38235	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
183,08420	3,88440	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11048	0,00568	= 0	0,00457	<> 0	0,99919
AB21048	0,00162	= 0	0,00455	<> 0	0,99947
AB31048	0,00155	= 0	0,00457	<> 0	0,99959

O.P.	0,00283	P.P.	0,00456
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11048	0,79990	1,65260	Iguales
AB21048	0,44464	1,65190	Iguales
AB31048	0,53401	1,65180	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
7,18170	3,88360	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11605	0,00225	= 0	0,01085	<> 0	0,99971
AB21605	0,00073	= 0	0,01079	<> 0	0,99974
AB31605	0,00520	= 0	0,01075	<> 0	0,99976

O.P.	0,00277	P.P.	0,01080
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11605	0,10641	1,65230	Iguales
AB21605	0,45198	1,65200	Iguales
AB31605	0,56237	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
-------------	------------	------------

30,97230	3,88440	Distintas
----------	---------	-----------

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11612	0,00250	= 0	0,00920	<> 0	0,99953
AB21612	0,00566	= 0	0,00900	<> 0	0,99967
AB31612	0,00002	= 0	0,00896	<> 0	0,99975

O.P.	0,00280	P.P.	0,00905
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11612	0,05631	1,65220	Iguales
AB21612	0,67088	1,65190	Iguales
AB31612	0,75349	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
235,72260	3,88440	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11625	0,00020	= 0	0,00708	<> 0	0,99971
AB21625	0,00012	= 0	0,00692	<> 0	0,99961
AB31625	0,00114	= 0	0,00702	<> 0	0,99963

O.P.	0,00055	P.P.	0,00701
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11625	0,10837	1,65240	Iguales
AB21625	0,11927	1,65190	Iguales
AB31625	0,16910	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
160,55330	3,88400	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11638	0,00001	= 0	0,00550	<> 0	0,99982
AB21638	0,00103	= 0	0,00543	<> 0	0,99957
AB31638	0,00003	= 0	0,00554	<> 0	0,99961

O.P.	0,00034	P.P.	0,00549
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11638	0,16667	1,65260	Iguales
AB21638	0,23772	1,65180	Iguales
AB31638	0,10487	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
126,21020	3,88850	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
AB11648	0,00154	= 0	0,00502	<> 0	0,99961
AB21648	0,00003	= 0	0,00493	<> 0	0,99975
AB31648	0,00211	= 0	0,00489	<> 0	0,99960

O.P.	0,00122	P.P.	0,00495
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
AB11648	0,12298	1,65220	Iguales
AB21648	0,58262	1,65190	Iguales
AB31648	0,35205	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
231,69020	3,88400	Distintas

Goma Garrofín

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA110005	11,58170	<> 0	0,34549	<> 0	0,99093
GA210005	11,60100	<> 0	0,34651	<> 0	0,99543
GA310005	11,80570	<> 0	0,34293	<> 0	0,99526

O.P.	11,66120	P.P.	0,34500
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA110005	0,39350	1,65260	Iguales
GA210005	0,42741	1,65230	Iguales
GA310005	0,98638	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,8896	3,88850	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA110012	9,99420	<> 0	0,34620	<> 0	0,99308
GA210012	10,11090	<> 0	0,34511	<> 0	0,99222
GA310012	9,92910	<> 0	0,34741	<> 0	0,98924

O.P.	10,01730	P.P.	0,34613
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen

GA110012	0,15274	1,65250	Iguales
GA210012	0,58934	1,65230	Iguales
GA310012	0,45948	1,65270	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,51557	3,88930	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA110025	7,61440	<> 0	0,34638	<> 0	0,98513
GA210025	7,58400	<> 0	0,34738	<> 0	0,98935
GA310025	7,67400	<> 0	0,34774	<> 0	0,98296

O.P.	7,62220	P.P.	0,34720
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA110025	0,04585	1,65240	Iguales
GA210025	0,26848	1,65240	Iguales
GA310025	0,27970	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,118655	3,88850	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA110038	6,30900	<> 0	0,34842	<> 0	0,98884
GA210038	6,36830	<> 0	0,34864	<> 0	0,98642
GA310038	6,31690	<> 0	0,34577	<> 0	0,99024

O.P.	6,32980	P.P.	0,34767
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA110038	0,17039	1,65250	Iguales
GA210038	0,28286	1,65250	Iguales
GA310038	0,11358	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,720266	3,88830	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA110048	5,71380	<> 0	0,35008	<> 0	0,99067
GA210048	5,78360	<> 0	0,35055	<> 0	0,99011
GA310048	5,68640	<> 0	0,34910	<> 0	0,99019

O.P.	5,73360	P.P.	0,34969
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA110048	0,19376	1,65250	Iguales
GA210048	0,46597	1,65280	Iguales
GA310048	0,44994	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,214628	3,88830	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA16205	3,27530	<> 0	0,43847	<> 0	0,99758
GA26205	3,26840	<> 0	0,44221	<> 0	0,99645
GA36205	3,26490	<> 0	0,44311	<> 0	0,99596

O.P.	3,26860	P.P.	0,44130
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA16205	0,18111	1,65250	Iguales
GA26205	0,00534	1,65250	Iguales
GA36205	0,07731	1,65270	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
3,5329	3,88930	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA16212	2,78760	<> 0	0,44403	<> 0	0,99713
GA26212	2,79700	<> 0	0,44495	<> 0	0,99795
GA36212	2,78330	<> 0	0,44428	<> 0	0,99656

O.P.	2,78910	P.P.	0,44444
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA16212	0,04483	1,65260	Iguales
GA26212	0,26804	1,65240	Iguales
GA36212	0,15263	1,65270	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,159692	3,88900	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA16225	2,18850	<> 0	0,44689	<> 0	0,99590
GA26225	2,17010	<> 0	0,44804	<> 0	0,99394
GA36225	2,21680	<> 0	0,44566	<> 0	0,99718

O.P.	2,19200	P.P.	0,44684
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA16225	0,10684	1,65240	Iguales
GA26225	0,55175	1,65240	Iguales

GA36225	0,91626	1,65230	Iguals
---------	---------	---------	--------

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,681345	3,88690	Iguals

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA16238	1,82750	<> 0	0,45150	<> 0	0,99707
GA26238	1,88060	<> 0	0,44673	<> 0	0,99507
GA36238	1,86250	<> 0	0,45027	<> 0	0,99423

O.P.	1,85720	P.P.	0,44944
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA16238	1,29190	1,65210	Iguals
GA26238	0,76388	1,65240	Iguals
GA36238	0,15991	1,65240	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
2,7037	3,88740	Iguals

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA16248	1,60040	<> 0	0,45183	<> 0	0,99739
GA26248	1,58060	<> 0	0,45275	<> 0	0,99538
GA36248	1,59370	<> 0	0,45017	<> 0	0,99582

O.P.	1,59250	P.P.	0,45147
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA16248	0,40779	1,65250	Iguals
GA26248	0,45186	1,65290	Iguals
GA36248	0,04811	1,65260	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,769169	3,88830	Iguals

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA13205	0,55164	<> 0	0,56665	<> 0	0,99751
GA23205	0,54620	<> 0	0,56978	<> 0	0,99918
GA33205	0,55176	<> 0	0,56709	<> 0	0,99608

O.P.	0,55029	P.P.	0,56768
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA13205	0,16508	1,65250	Iguals

GA23205	0,85890	1,65280	Iguales
GA33205	0,14013	1,65280	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,2195	3,88950	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA13212	0,47880	<> 0	0,56951	<> 0	0,99938
GA23212	0,48263	<> 0	0,57041	<> 0	0,99914
GA33212	0,48138	<> 0	0,56746	<> 0	0,99859

O.P.	0,48086	P.P.	0,56916
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA13212	0,59140	1,65220	Iguales
GA23212	0,42580	1,65240	Iguales
GA33212	0,09690	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
2,7805	3,88830	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
Ga13225	0,39885	<> 0	0,57089	<> 0	0,99622
GA23225	0,40618	<> 0	0,57392	<> 0	0,99877
GA33225	0,40548	<> 0	0,57024	<> 0	0,99946

O.P.	0,40325	P.P.	0,57181
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
Ga13225	0,59527	1,65250	Iguales
GA23225	0,68875	1,65250	Iguales
GA33225	0,77852	1,65280	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,8612	3,88970	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA13238	0,35002	<> 0	0,57518	<> 0	0,99939
GA23238	0,35314	<> 0	0,57724	<> 0	0,99839
GA33238	0,35028	<> 0	0,57657	<> 0	0,99894

O.P.	0,35118	P.P.	0,57632
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
---------	-------------	----------	-------------

GA13238	0,43591	1,65280	Iguals
GA23238	0,45338	1,65270	Iguals
GA33238	0,25450	1,65280	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,1527	3,89000	Iguals

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA13248	0,29583	<> 0	0,58099	<> 0	0,99695
GA23248	0,30262	<> 0	0,58010	<> 0	0,99812
GA33248	0,29881	<> 0	0,57882	<> 0	0,99820

O.P.	0,29863	P.P.	0,58025
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA13248	0,55730	1,65250	Iguals
GA23248	0,99069	1,65280	Iguals
GA33248	0,04528	1,65280	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,597513	3,89000	Iguals

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11605	0,00001	= 0	0,00850	<> 0	0,99983
GA21605	0,00003	= 0	0,00861	<> 0	0,99987
GA31605	0,00001	= 0	0,00832	<> 0	0,99985

O.P.	0,00016	P.P.	0,00847
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11605	0,05214	1,65230	Iguals
GA21605	0,05088	1,65250	Iguals
GA31605	0,05773	1,65220	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
828,6715	3,88620	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11612	0,00001	= 0	0,00692	<> 0	0,99964
GA21612	0,00001	= 0	0,00674	<> 0	0,99978
GA31612	0,00001	= 0	0,00662	<> 0	0,99948

O.P.	0,00029	P.P.	0,00676
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11612	0,07981	1,65260	Iguales
GA21612	0,10471	1,65230	Iguales
GA31612	0,06710	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
524,5944	3,88850	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11625	0,00001	= 0	0,00502	<> 0	0,99955
GA21625	0,00002	= 0	0,00513	<> 0	0,99966
GA31625	0,00021	= 0	0,00478	<> 0	0,99944

O.P.	0,00005	P.P.	0,00498
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11625	0,01313	1,65250	Iguales
GA21625	0,01357	1,65260	Iguales
GA31625	0,05292	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1197,3521	3,88830	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11638	0,00002	= 0	0,00407	<> 0	0,99959
GA21638	0,00003	= 0	0,00395	<> 0	0,99941
GA31638	0,00063	= 0	0,00395	<> 0	0,99936

O.P.	0,00028	P.P.	0,00399
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11638	0,11655	1,65250	Iguales
GA21638	0,09534	1,65260	Iguales
GA31638	0,13194	1,65230	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
232,953	3,88690	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11648	0,00000	= 0	0,00361	<> 0	0,99945
GA21648	0,00001	= 0	0,00353	<> 0	0,99931
GA31648	0,00003	= 0	0,00349	<> 0	0,99959

O.P.	0,00004	P.P.	0,00354
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11648	0,01396	1,65270	Iguals
GA21648	0,01064	1,65280	Iguals
GA31648	0,00403	1,65280	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
192,0614	3,88970	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
GA11005	0,00001	= 0	0,00780	<> 0	0,99960
GA21005	0,00244	= 0	0,00766	<> 0	0,99946
GA31005	0,00333	= 0	0,00747	<> 0	0,99924

O.P.	0,00102	P.P.	0,00765
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11005	0,23933	1,65230	Iguals
GA21005	0,28656	1,65260	Iguals
GA31005	0,41547	1,65260	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
325,2304	3,88850	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
GA11012	0,00248	= 0	0,00617	<> 0	0,99946
GA21012	0,00000	= 0	0,00592	<> 0	0,99971
GA31012	0,00309	= 0	0,00595	<> 0	0,99915

O.P.	0,00388	P.P.	0,00601
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GA11012	0,36608	1,65220	Iguals
GA21012	1,22640	1,65400	Iguals
GA31012	0,16460	1,65260	Iguals

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
351,8472	3,88830	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k <> 0	Valor de n	n = 0 o n <> 0	r
GA11025	0,00001	= 0	0,00503	<> 0	0,99910
GA21025	0,00059	= 0	0,00481	<> 0	0,99920
GA31025	0,00000	= 0	0,00467	<> 0	0,99809

O.P.		0,00021	P.P.		0,00484
Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen		
GA11025	0,05030	1,65260	Iguales		
GA21025	0,10354	1,65240	Iguales		
GA31025	0,03692	1,65270	Iguales		
F Calculada	F Snedecor	Pendientes			
458,6139	3,88930	Distintas			

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11038	0,00397	= 0	0,00402	<> 0	0,99867
GA21038	0,00003	= 0	0,00388	<> 0	0,99915
GA31038	0,00002	= 0	0,00394	<> 0	0,99897

O.P.		0,00154	P.P.		0,00395
Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen		
GA11038	0,61601	1,65240	Iguales		
GA21038	0,48444	1,65270	Iguales		
GA31038	0,44085	1,65230	Iguales		
F Calculada	F Snedecor	Pendientes			
111,3122	3,88690	Distintas			

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GA11048	0,00002	= 0	0,00354	<> 0	0,9995
GA21048	0,00008	= 0	0,00353	<> 0	0,9993
GA31048	0,00074	= 0	0,00343	<> 0	0,9991

O.P.		0,00010	P.P.		0,00350
Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen		
GA11048	0,03773	1,65250	Iguales		
GA21048	0,00981	1,65270	Iguales		
GA31048	0,22560	1,65260	Iguales		
F Calculada	F Snedecor	Pendientes			
184,6133	3,88850	Distintas			

Goma Guar

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU110005	18,28900	<> 0	0,20637	<> 0	0,994999

GU210005	18,19630	<> 0	0,20629	<> 0	0,998193
GU310005	18,41600	<> 0	0,20739	<> 0	0,997148

O.P.	18,29880	P.P.	0,20668
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU110005	0,06977	1,65250	Iguales
GU210005	1,23040	1,65240	Iguales
GU310005	1,08970	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,0734	3,88870	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU110012	16,54070	<> 0	0,20724	<> 0	0,995643
GU210012	16,60830	<> 0	0,20729	<> 0	0,993476
GU310012	16,56820	<> 0	0,20750	<> 0	0,994371

O.P.	16,57170	P.P.	0,20735
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU110012	0,26036	1,65260	Iguales
GU210012	0,25068	1,65250	Iguales
GU310012	0,02582	1,65250	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,032557	3,88760	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU110025	12,40340	<> 0	0,21577	<> 0	0,999608
GU210025	12,44390	<> 0	0,21520	<> 0	0,999534
GU310025	12,40250	<> 0	0,21535	<> 0	0,998381

O.P.	12,41600	P.P.	0,21545
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU110025	0,46559	1,65220	Iguales
GU210025	0,92224	1,65250	Iguales
GU310025	0,24073	1,65250	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,990392	3,88780	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU110038	10,54640	<> 0	0,21274	<> 0	0,997513
GU210038	10,46710	<> 0	0,21425	<> 0	0,997558
GU310038	10,45370	<> 0	0,21384	<> 0	0,99956

O.P.	10,48740	P.P.	0,21364
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU110038	1,00580	1,65260	Iguales
GU210038	0,34086	1,65290	Iguales
GU310038	1,35470	1,65270	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
2,8513	3,88900	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU110048	9,51620	<> 0	0,21409	<> 0	0,999523
GU210048	9,44300	<> 0	0,21498	<> 0	0,999071
GU310048	9,45240	<> 0	0,21450	<> 0	0,997451

O.P.	9,47120	P.P.	0,21451
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU110048	1,47890	1,65230	Iguales
GU210048	0,86226	1,65260	Iguales
GU310048	0,35329	1,65240	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,43	3,88740	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU16205	4,09960	<> 0	0,34849	<> 0	0,998818
GU26205	4,07800	<> 0	0,34780	<> 0	0,998127
GU36205	4,02470	<> 0	0,35074	<> 0	0,99711

O.P.	4,06860	P.P.	0,34895
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU16205	1,21250	1,65250	Iguales
GU26205	0,29054	1,65250	Iguales
GU36205	1,09040	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
3,8583	3,88870	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU16212	3,52670	<> 0	0,35091	<> 0	0,995803
GU26212	3,52420	<> 0	0,35176	<> 0	0,996826
GU36212	3,52110	<> 0	0,35183	<> 0	0,997674

O.P.	3,52420	P.P.	0,35149
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU16212	0,06136	1,65240	Iguales
GU26212	0,00001	1,65250	Iguales
GU36212	0,09688	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,265653	3,88850	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU16225	2,83630	<> 0	0,35322	<> 0	0,995656
GU26225	2,88070	<> 0	0,35346	<> 0	0,996384
GU36225	2,80060	<> 0	0,35580	<> 0	0,998728

O.P.	2,83270	P.P.	0,35462
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU16225	0,10318	1,65260	Iguales
GU26225	1,56470	1,65190	Iguales
GU36225	1,42563	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
2,8225	3,88400	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU16238	2,33570	<> 0	0,35560	<> 0	0,989651
GU26238	2,33300	<> 0	0,35665	<> 0	0,991493
GU36238	2,33350	<> 0	0,35609	<> 0	0,995187

O.P.	2,33370	P.P.	0,35616
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU16238	0,04499	1,65250	Iguales
GU26238	0,01631	1,65180	Iguales
GU36238	0,00405	1,65280	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,115073	3,88950	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU16248	2,12550	<> 0	0,35801	<> 0	0,992155
GU26248	2,12220	<> 0	0,35644	<> 0	0,992683

GU36248	2,13230	<> 0	0,35559	<> 0	0,991958
---------	---------	------	---------	------	----------

O.P.	2,12680	P.P.	0,35665
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU16248	0,03709	1,65250	Iguales
GU26248	0,13271	1,65250	Iguales
GU36248	0,16070	1,65190	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,627425	3,88400	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU13205	0,79821	<> 0	0,46804	<> 0	0,998632
GU23205	0,80647	<> 0	0,46809	<> 0	0,998027
GU33205	0,80618	<> 0	0,46579	<> 0	0,998698

O.P.	0,80291	P.P.	0,46746
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU13205	0,64648	1,65250	Iguales
GU23205	0,40473	1,65250	Iguales
GU33205	0,47426	1,65220	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1,7324	3,88590	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU13212	0,68156	<> 0	0,46724	<> 0	0,997146
GU23212	0,67865	<> 0	0,46727	<> 0	0,998428
GU33212	0,67327	<> 0	0,47032	<> 0	0,998986

O.P.	0,67774	P.P.	0,46830
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU13212	0,44106	1,65210	Iguales
GU23212	0,13868	1,65250	Iguales
GU33212	0,85567	1,65230	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
3,3107	3,88670	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU13225	0,56105	<> 0	0,46912	<> 0	0,997912

GU23225	0,56376	<> 0	0,46993	<> 0	0,99677
GU33225	0,56115	<> 0	0,46833	<> 0	0,996342

O.P.	0,56195	P.P.	0,46914
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU13225	0,14159	1,65260	Iguales
GU23225	0,22793	1,65260	Iguales
GU33225	0,09562	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,388979	3,88850	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU13238	0,47735	<> 0	0,47113	<> 0	0,99761
GU23238	0,47086	<> 0	0,47188	<> 0	0,997432
GU33238	0,47657	<> 0	0,47148	<> 0	0,995731

O.P.	0,47480	P.P.	0,47156
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU13238	0,44689	1,65240	Iguales
GU23238	0,66388	1,65260	Iguales
GU33238	0,23219	1,65240	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,087243	3,88710	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU13248	0,43749	<> 0	0,47226	<> 0	0,995344
GU23248	0,43688	<> 0	0,47312	<> 0	0,995452
GU33248	0,43712	<> 0	0,47266	<> 0	0,996044

O.P.	0,43726	P.P.	0,47263
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU13248	0,03140	1,65250	Iguales
GU23248	0,05086	1,65270	Iguales
GU33248	0,02066	1,65250	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
0,075226	3,88760	Iguales

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
---------	------------	--------------	------------	--------------	---

GU11605	0,00657	= 0	0,01496	<> 0	0,999829
GU21605	0,00275	= 0	0,01410	<> 0	0,999836
GU31605	0,00002	= 0	0,01454	<> 0	0,999559

O.P.	0,01010	P.P.	0,01452
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11605	0,67244	1,65230	Iguales
GU21605	1,27460	1,65380	Iguales
GU31605	1,20850	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1250,4866	3,88870	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11612	0,00008	= 0	0,01079	<> 0	0,999635
GU21612	0,00000	= 0	0,01095	<> 0	0,999838
GU31612	0,00121	= 0	0,01126	<> 0	0,999829

O.P.	0,00136	P.P.	0,01100
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11612	0,22938	1,65240	Iguales
GU21612	0,35318	1,65270	Iguales
GU31612	0,03984	1,65230	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
852,5978	3,88690	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11625	0,00002	= 0	0,00838	<> 0	0,999651
GU21625	0,00104	= 0	0,00833	<> 0	0,999826
GU31625	0,00001	= 0	0,00794	<> 0	0,999671

O.P.	-0,00021	P.P.	0,00822
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11625	0,05370	1,65260	Iguales
GU21625	0,41270	1,65270	Iguales
GU31625	0,05479	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1206,5176	3,88850	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11638	0,00160	= 0	0,00688	<> 0	0,999529
GU21638	0,00096	= 0	0,00633	<> 0	0,999629
GU31638	0,00059	= 0	0,00652	<> 0	0,999618

O.P.	0,00027	P.P.	0,00658
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11638	0,32414	1,65250	Iguales
GU21638	0,20777	1,65260	Iguales
GU31638	0,08967	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1789,9398	3,88870	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11648	0,00002	= 0	0,00581	<> 0	0,99966
GU21648	0,00001	= 0	0,00618	<> 0	0,999804
GU31648	0,00000	= 0	0,00590	<> 0	0,999697

O.P.	-0,00020	P.P.	0,00596
------	----------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11648	0,07570	1,65220	Iguales
GU21648	0,08713	1,65290	Iguales
GU31648	0,07209	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
1463,7016	3,88830	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11005	0,00300	= 0	0,01155	<> 0	0,999792
GU21005	0,00000	= 0	0,01149	<> 0	0,999631
GU31005	0,00001	= 0	0,01162	<> 0	0,999733

O.P.	0,00197	P.P.	0,01155
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11005	0,23207	1,65240	Iguales
GU21005	0,28561	1,65340	Iguales
GU31005	0,37823	1,65260	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
48,5097	3,88870	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11012	0,00054	= 0	0,00993	<> 0	0,999787
GU21012	0,00001	= 0	0,00978	<> 0	0,99955
GU31012	0,00212	= 0	0,00969	<> 0	0,999738

O.P.	0,00116	P.P.	0,00980
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11012	0,16162	1,65230	Iguales
GU21012	0,20276	1,65250	Iguales
GU31012	0,22572	1,65240	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
201,3278	3,88740	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11025	0,00180	= 0	0,00751	<> 0	0,999645
GU21025	0,00045	= 0	0,00742	<> 0	0,999699
GU31025	0,00107	= 0	0,00746	<> 0	0,999744

O.P.	0,00098	P.P.	0,00746
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11025	0,21202	1,65260	Iguales
GU21025	0,15296	1,65250	Iguales
GU31025	0,02607	1,65280	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
56,5638	3,88970	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11038	0,00299	= 0	0,00579	<> 0	0,999687
GU21038	0,00050	= 0	0,00596	<> 0	0,999728
GU31038	0,00070	= 0	0,00606	<> 0	0,999681

O.P.	0,00334	P.P.	0,00593
------	---------	------	---------

Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11038	0,11063	1,65380	Iguales
GU21038	1,05280	1,65260	Iguales
GU31038	0,89514	1,65250	Iguales

F Calculada	F Snedecor	Pendientes
656,5834	3,88800	Distintas

Archivo	Valor de K	k = 0 o k<>0	Valor de n	n = 0 o n<>0	r
GU11048	0,00028	= 0	0,00548	<> 0	0,999671
GU21048	0,00001	= 0	0,00564	<> 0	0,999809
GU31048	0,00001	= 0	0,00567	<> 0	0,999771

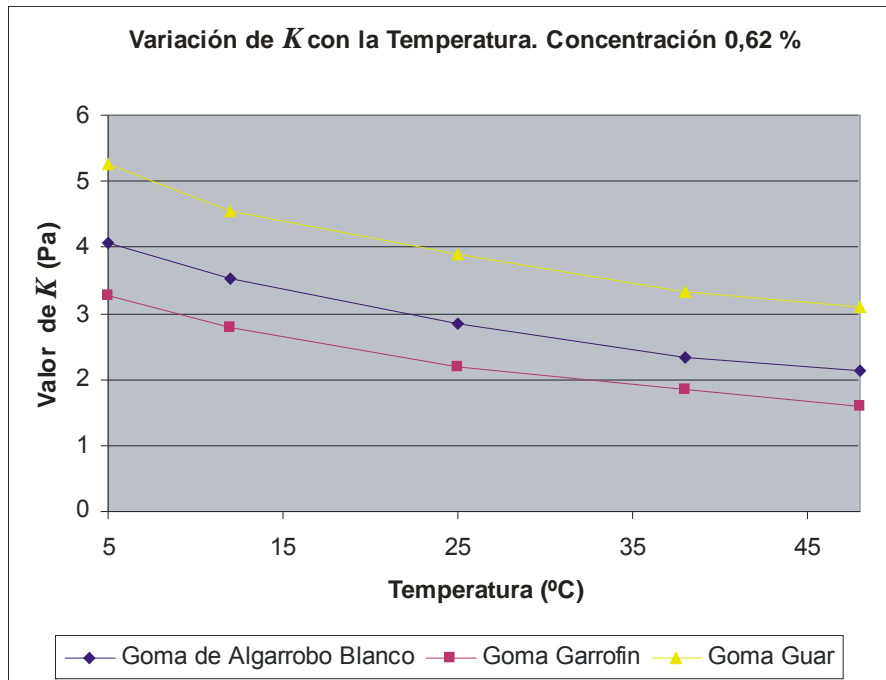
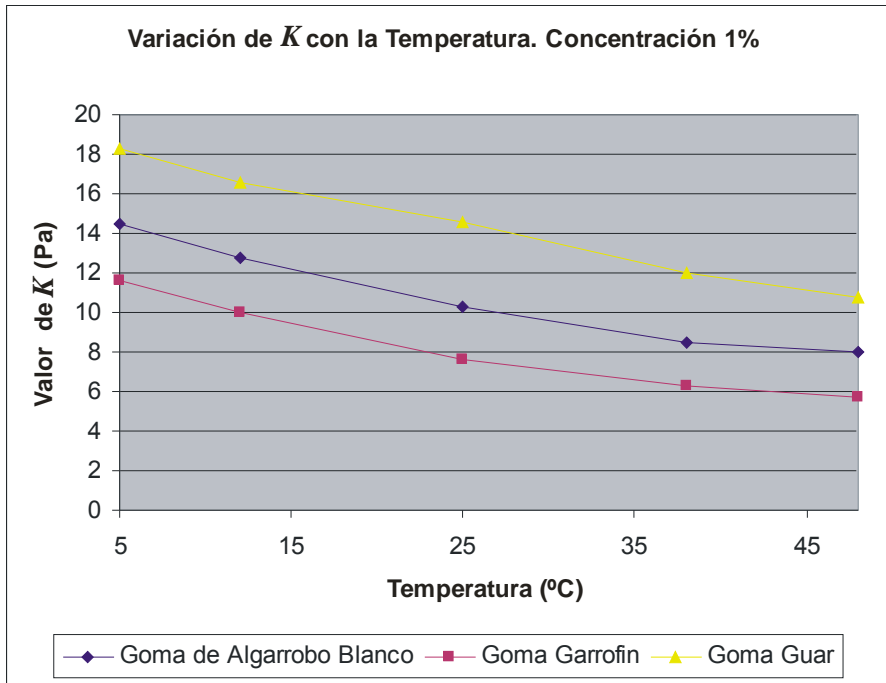
O.P.	0,00043	P.P.	0,00559
------	---------	------	---------

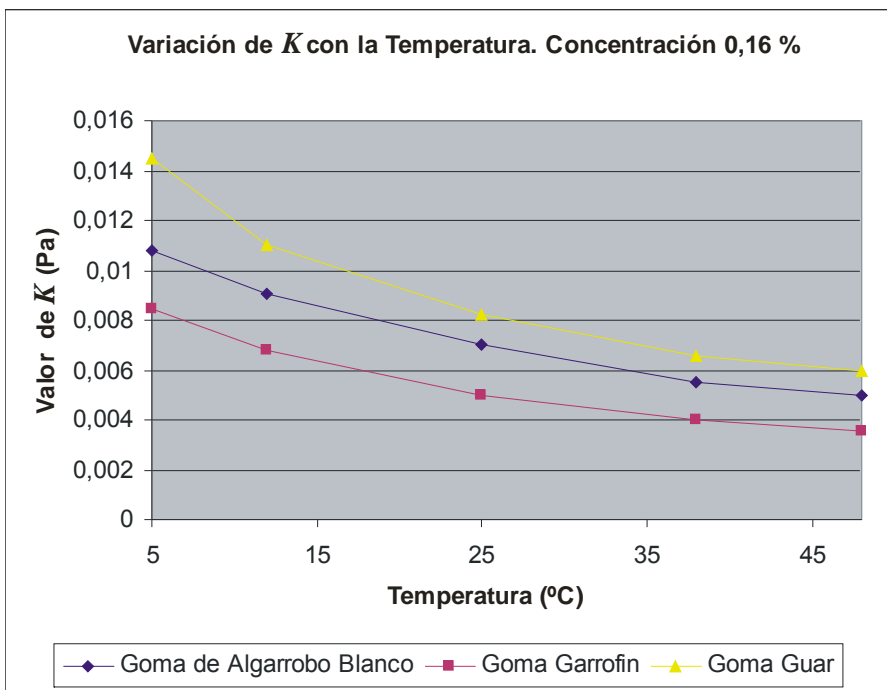
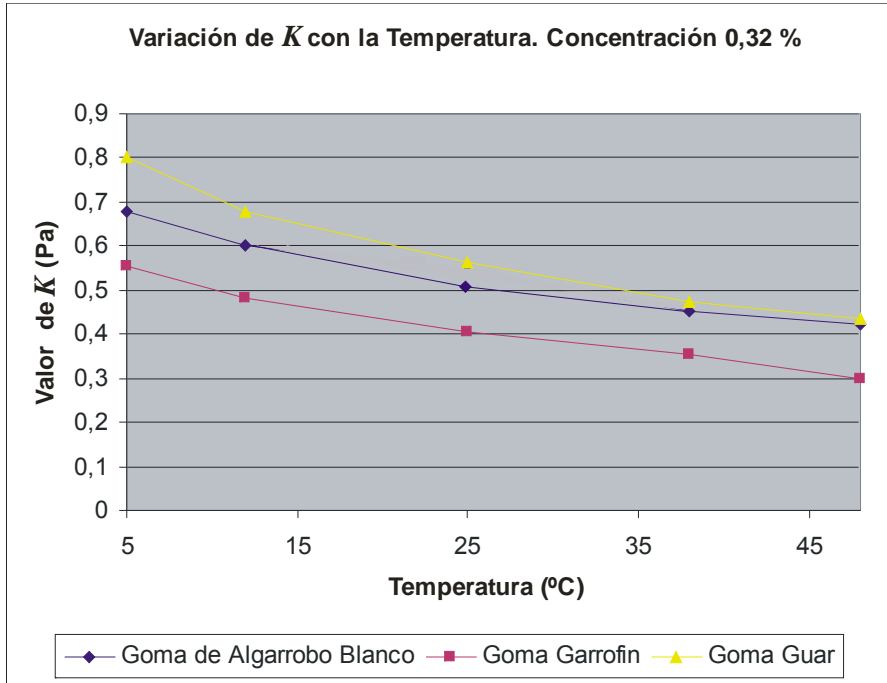
Archivo	T Calculada	T Tablas	Ord. Origen
GU11048	0,05378	1,65230	Iguals
GU21048	0,19339	1,65260	Iguals
GU31048	0,17815	1,65250	Iguals

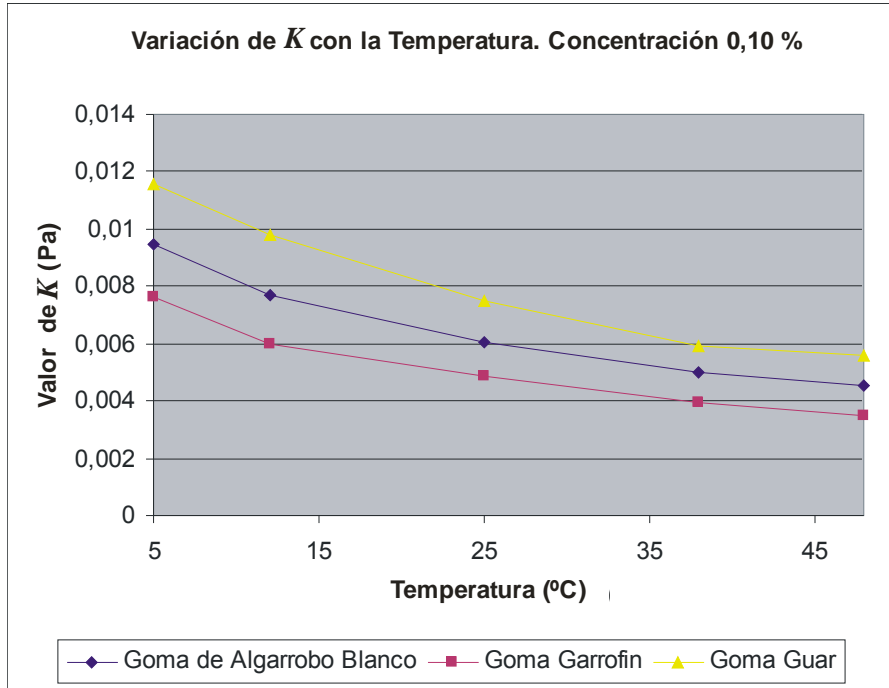
F Calculada	F Snedecor	Pendientes
516,9739	3,88800	Distintas

Variación de los valores del índice de consistencia (K) y del índice de Comportamiento (n) de las tres gomas, en función de la Temperatura y la concentración.

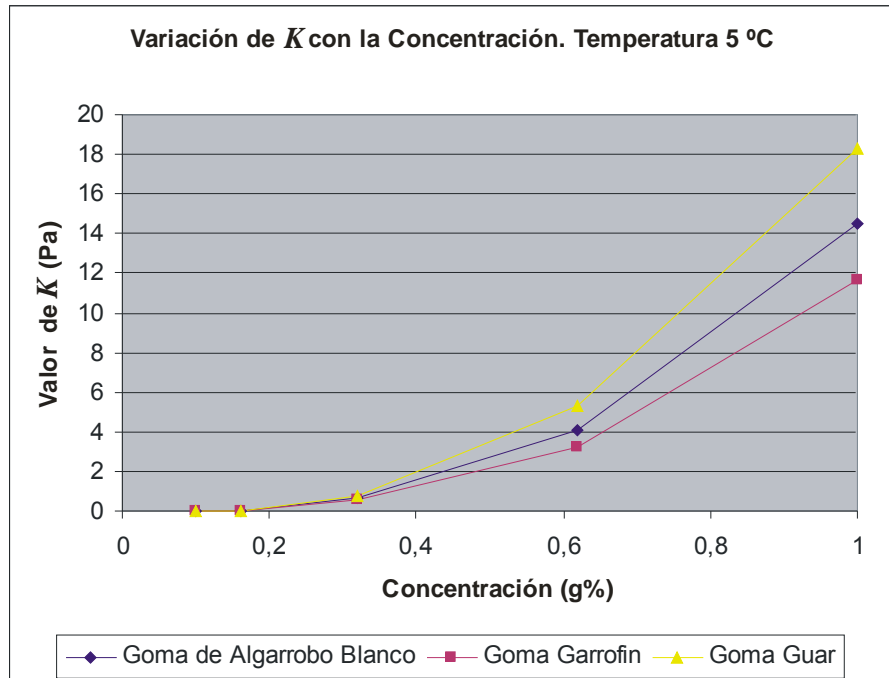
1. Variación del Índice de Consistencia (K) con la Temperatura

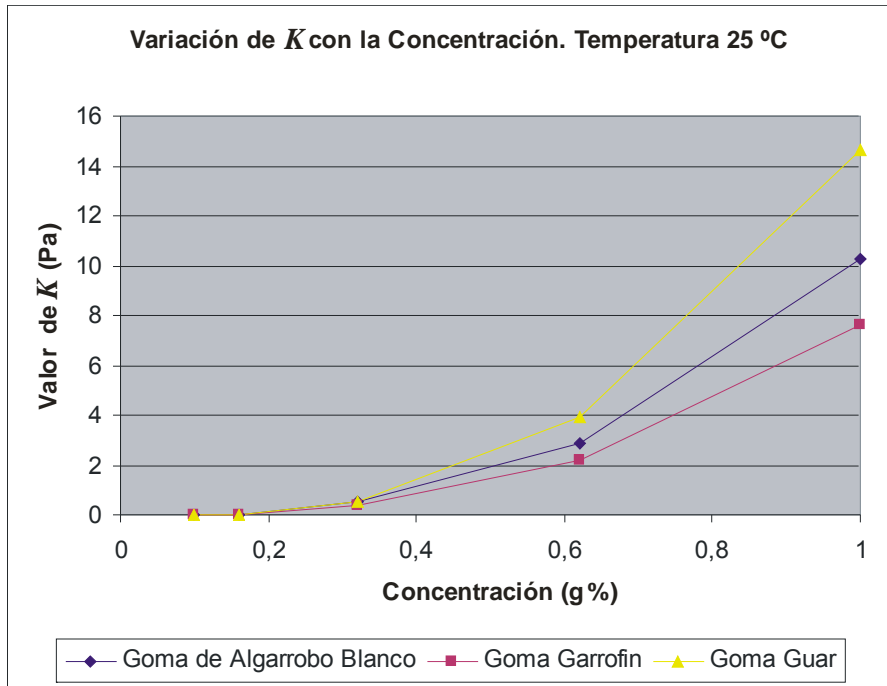
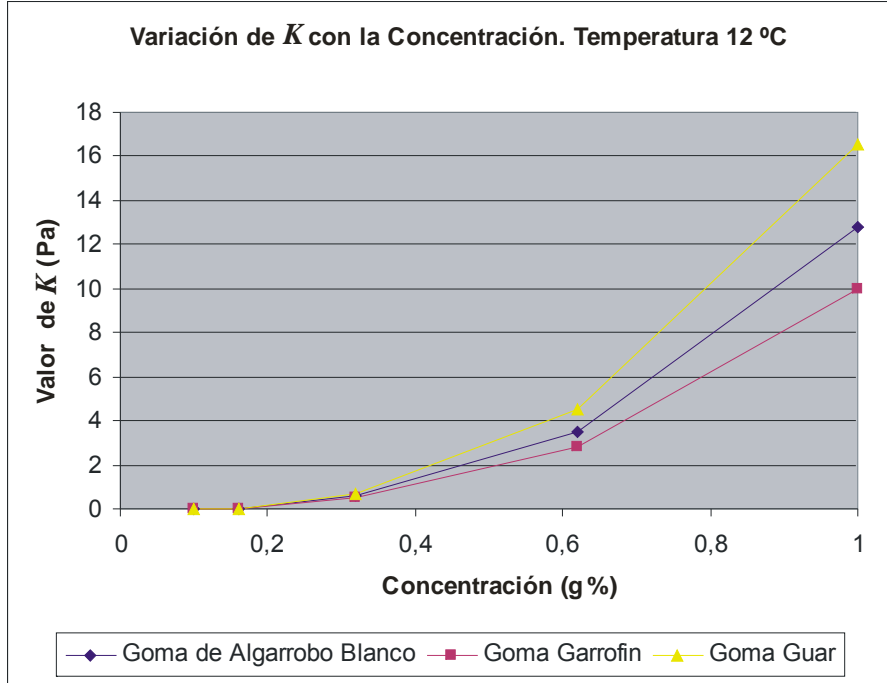


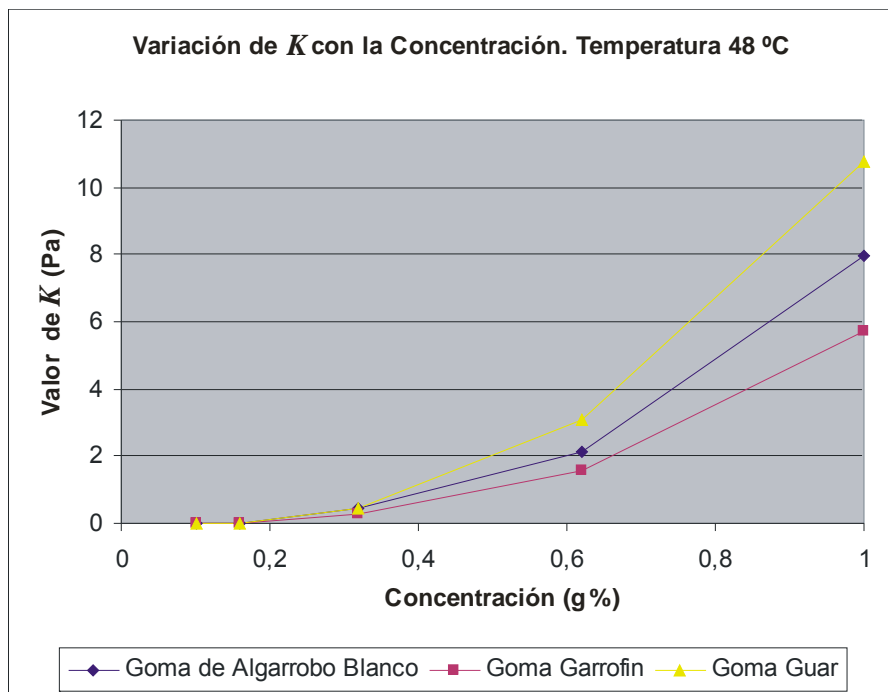
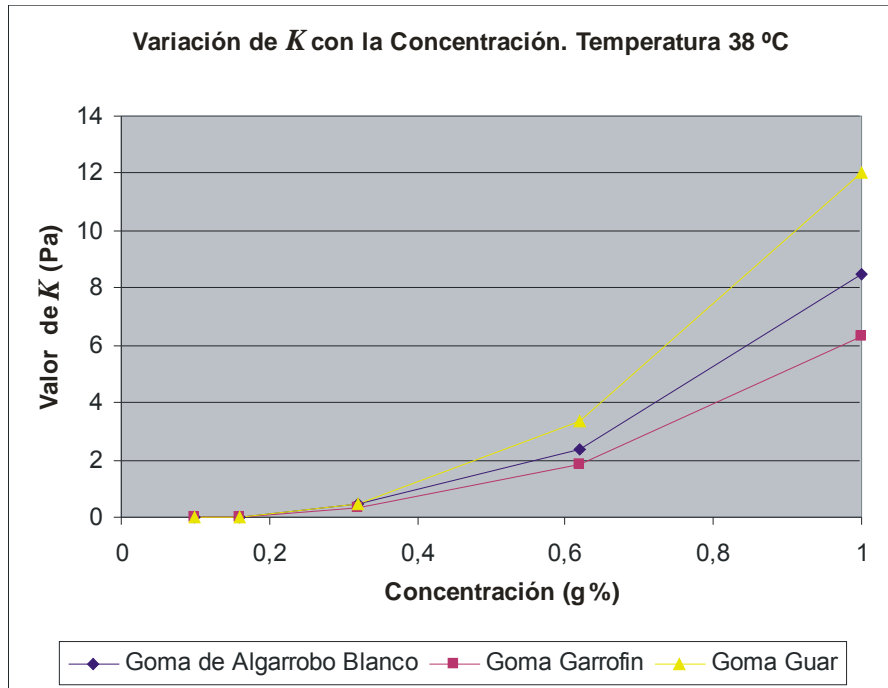




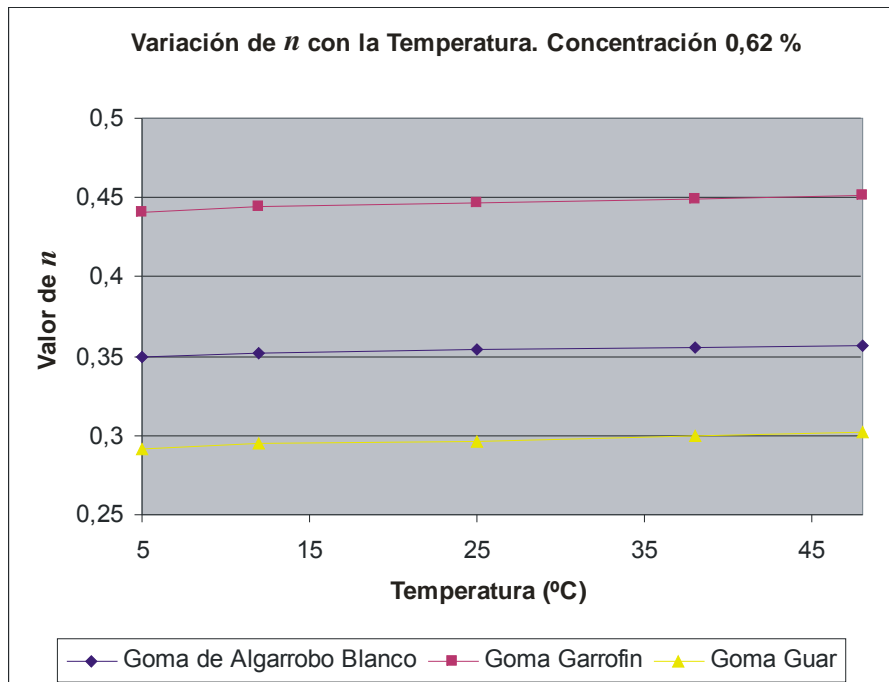
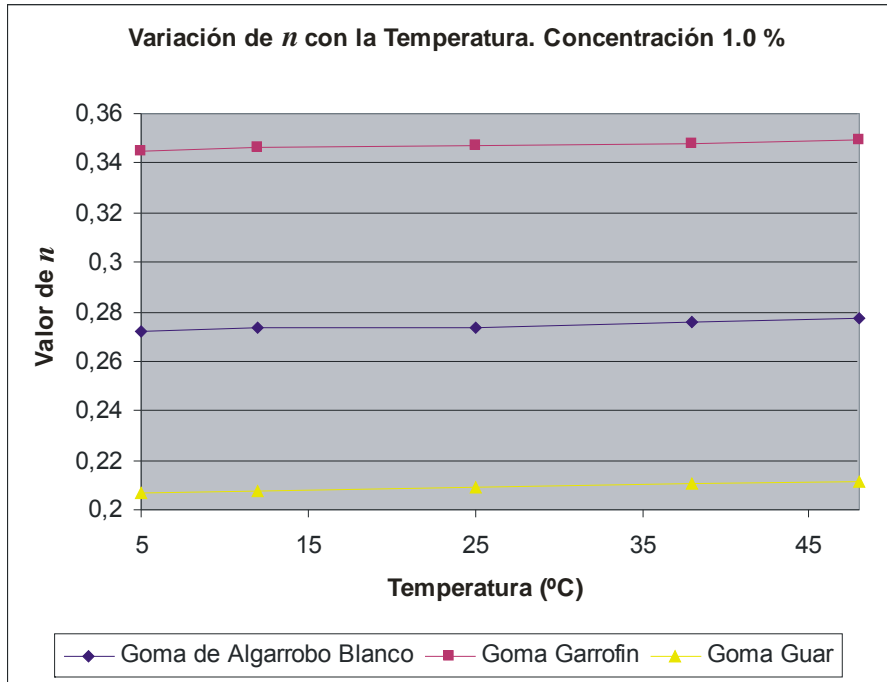
2. Variación del Índice de Consistencia (K) con la Concentración.

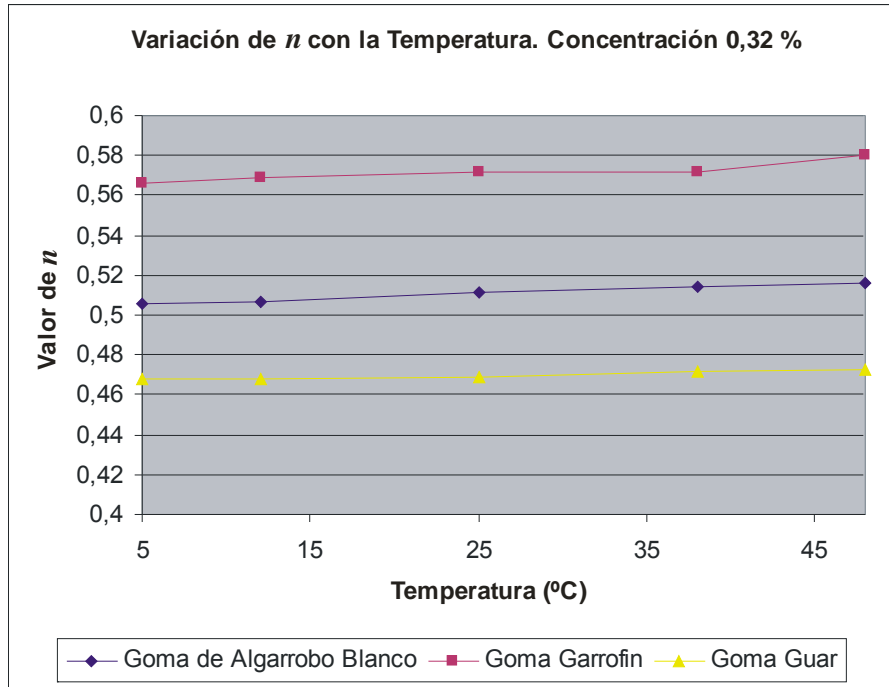




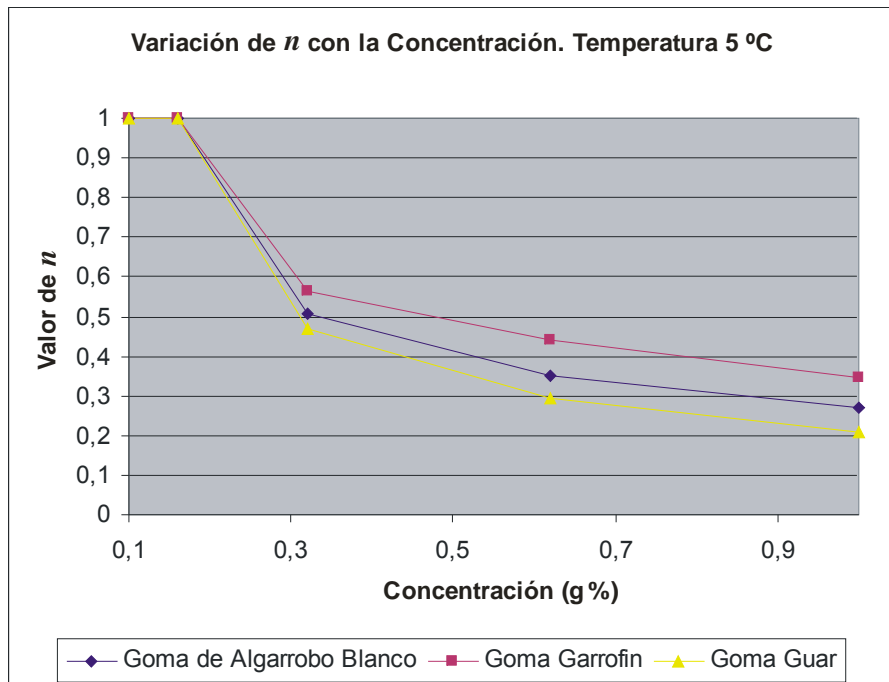


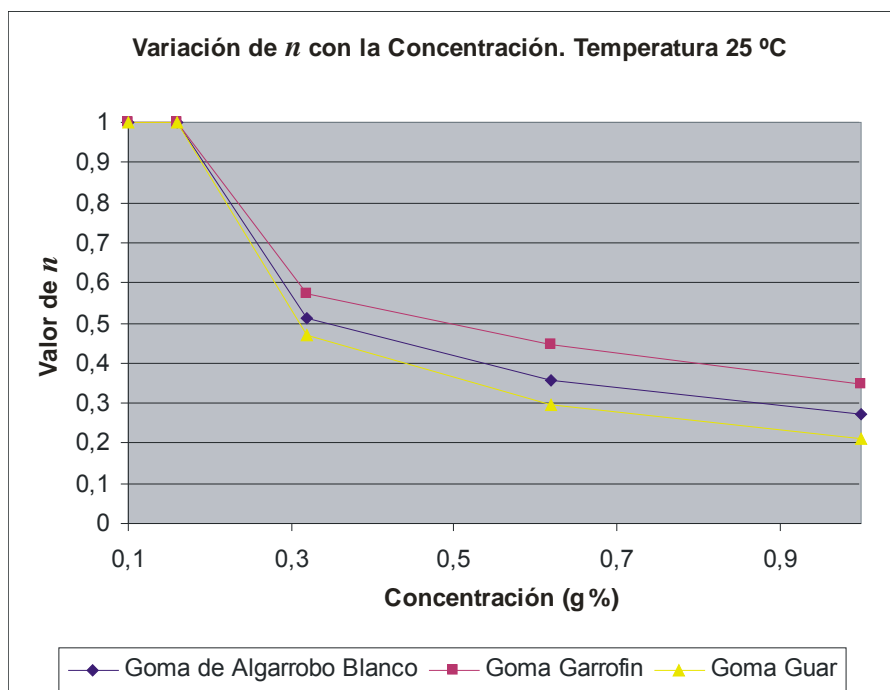
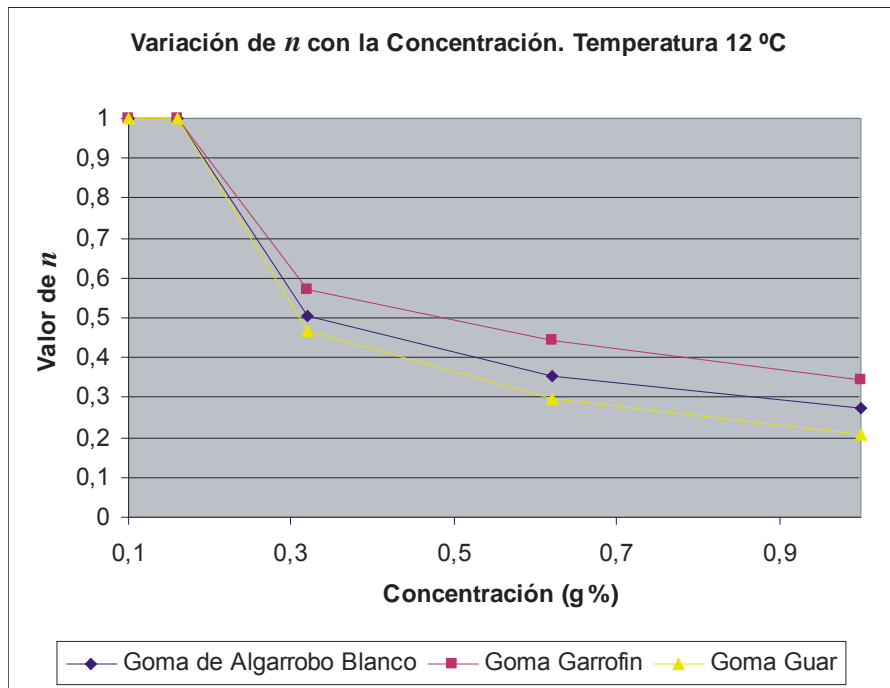
3. Variación del Índice de Comportamiento (n) con la Temperatura.

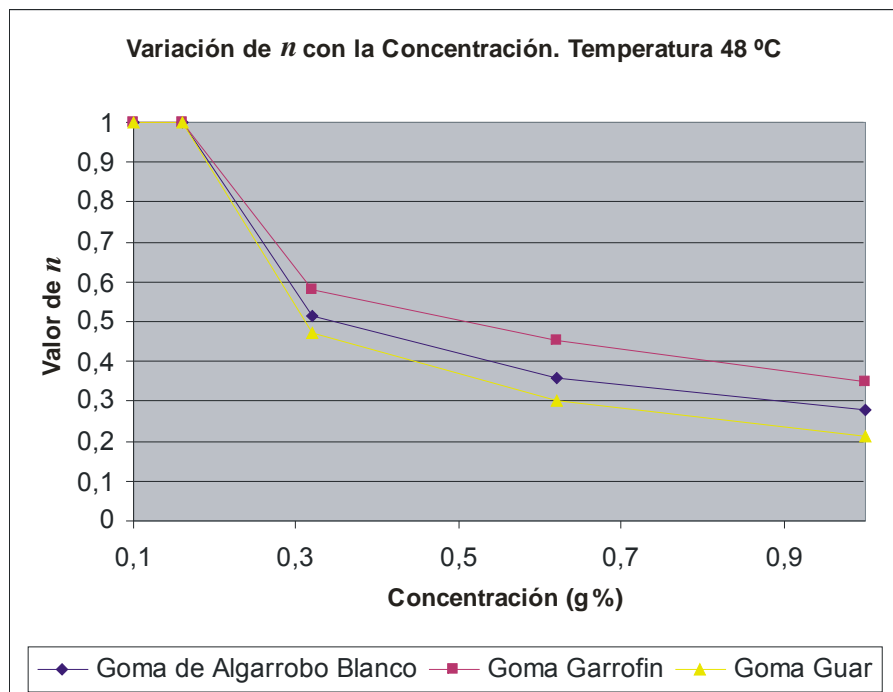
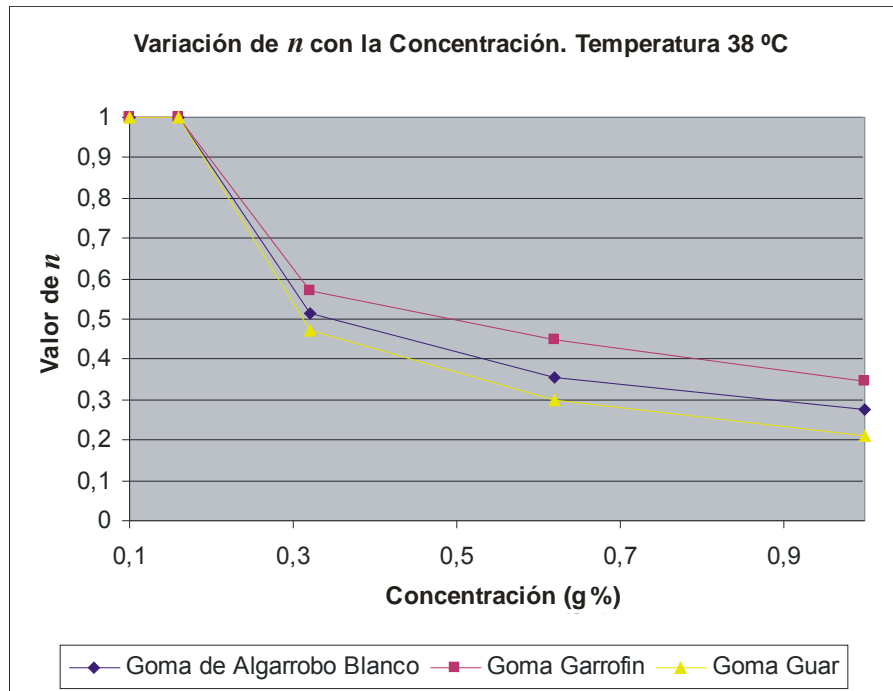




4. Variación del Índice de Comportamiento (n) con la Concentración.







Al-Hazmi, M.I.; Stauffer, K.R. (1986). "Gas chromatographic determination of hydrolyzed sugars in commercial gums". *Journal of Food Science*. 51 (4) : 1091-1097.

Alloncle, M.; Lefebvre, G.; Llamas, G.; Doublier, J.L. (1989) . "A rheological characterization of cereal starch-galactomannan mixtures" . *Cereal Chemistry*. 66 (2) : 90 - 93.

Alves, M.M.; Antonov, Y.A.; Goncalves, M.P. (1999) . "The effect of structural features of gelatin on its thermodynamic compatibility with locust bean gum in aqueous media ". *Food Hydrocolloids* . 13 : 157 – 166.

Alves, M.M.; Antonov , Y.A.; Goncalves, M.P. (2000) . "Phase equilibria and mechanical properties of gel-like water–gelatin–locust bean gum systems". *International Journal of Biological Macromolecules* . 27 : 41 – 47.

Alves, M.M.; Garnier, C.; Lefebvre, J.; Goncalves, M.P. (2001) . "Microstructure and flow behaviour of liquid water-gelatin-locust bean gum systems". *Food Hydrocolloids* . 15 : 117-125.

Andrade, C.T.; Azero, E.G.; Luciano, L.; Goncalves, M.P. (1999) . "Solutions properties of the galactomannans extracted from the seeds of *Caesalpinia pulcherrima* and *Cassia javanica*: comparison with locust bean gum". *International Journal of Biological Macromolecules*. 26: 181-185.

Añón, M.C.; Molina Ortíz, S.E. (2003) . "Efecto de la modificación estructural de las proteínas de soja sobre la capacidad espumante". En: *Proteínas Alimentarias y Coloides de Interés Industrial (JIPAC 2003)*", Ed. Girón-Calle, J.; Pedroche, J.; Rodríguez Patino, J.M.; Millán, F. Univ de Sevilla, pág: 49-58.

Appleman, D. (1996) . "API de Win32. Guía del programador de Visual Basic". Ed. Inforbook's, S.L. C/Muntaner, 18, 08036 Barcelona. Cap. 11.

Association of Official Analytical Chemists (1984) . "Official Methods of Analysis". 14th ed., Washington, DC.

Azero, E.G.; Andrade, C.T. (2002) . "Testing procedures for galactomannan purification". *Polymer Testing* . 2 : 551 - 556.

Azero, E.G.; Andrade, C.T. (2006) . "Characterisation of *Prosopis juliflora* Seed Gum and the Effect of its Addition to κ -Carrageenan Systems". *Journal of Brazilian Chemical Society*. 17 (5) : 844 - 850.

- Basurto, L. (2001). Estudios del Mercado sobre Gomas o Hidrocoloides, Resinas y Latex. <http://taninos.tripod.com/goma2.htm> (revisado el 29 de marzo de 2006).
- Bethea, R.M.; Duran, B.S.; Boullion, T.L. (1995) . "Statistical methods for engineers and scientists". Marcel Dekker INC. 270 Madison Avenue, New York.
- Bistany, K. L.; Kokini, J. L. (1983). "Dynamic viscoelastic properties of foods in texture control". *Journal of Rheology*. 27: 605 - 620.
- Bolliger, S.; Wildmoser, H.; Goff, H.D.; Tharp, B.W. (2000) . "Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream". *International Dairy Journal*. 10 : 791 – 797.
- Bouzouita, N.; Khaldi, A.; Zgoulli,S.; Chebil, L.; Chekki, R.; Chaabouni, M.M.; Thonart, P. (2007) . "The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia". *Food Chemistry*. 101 : 1508 – 1515.
- Brandt, M.; Skinner, E. and Coleman, J. (1963) . "Texture profile methods". *Journal of Food Science*. 28 : 404 – 410.
- Brummer, Y.; Cui, W.; Wang, Q. (2003) . "Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum". *Food Hydrocolloids* . 17 : 229 – 236.
- Calixto, F.S; Cañelas, J. (1982) . "Components of nutritional interest in carob pods (*Ceratonia siliqua*)". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 33 : 1319 – 1323.
- Camacho, M.M.; Martinez-Navarrete, N.; Chiralt, A. (1998) . "Influence of locust bean gum/l-carrageenan mixtures on whipping and mechanical properties and stability of dairy creams". *Food Research International* . 31 (9) : 653 – 658.
- Chen, Y.; Liao, M.L.; Boger, D.V.; Dunstan, D.E. (2001) . "Rheological characterisation of k-carrageenan/locust bean mixtures". *Carbohydrate Polymers*. 46 : 117 – 124.
- Christensen, K.L.; Pedersen, G.P.; Kristensen, H.G. (2001) . "Preparation of redispersible dry emulsions by spray drying". *International Journal of Pharmaceutics*. 212 : 187 – 194.
- Cook, D.J. ; Hollowood, T.A.; Linforth, R.D.T. ; Taylor, A.J. (2002) . "Perception of taste intensity in solutions of random-coil polysaccharides above and below c^* ". *Food Quality and Preference* . 13 : 473 - 480.

Costell, E.; Damasio, M.H.; Izquierdo, L.; Durán, L. (1992) . “Composite mechanical behaviour of carrageenan-gum mixed gels. Influence of composition”. *Food Hydrocolloids*. 6 (3) : 275 - 284.

Cruz Alcedo, G.E. (1999) . “Production and characterization of Prosopis seed galactomannan”. Dissertation Swiss Federal Institute of Technology Zurich for Doctor of Technical Sciences.. Zurich.

Dakia, P.A.; Bleckerb,C.; Roberta, C.; Watheleta, B. ; Paqueta, M. (2007) . “Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment”. *Food Hydrocolloids* doi:10.1016/j.foodhyd.2007.03.007

Dickinson, E.; Julian, D.; Blackie, M. (1996). “Protein-Polysaccharide Interactions”. *Advances of Food Colloids, Academic and Professional Chapman*. Chapter 3: 81-101.

Dintzis, F. R.; Bagley, E. B. (1995). “Effects of thermomechanical processing on viscosity behavior of corn starches”. *Journal of Rheology* . 39 (6) : 1483 -1495.

Doublier, J.L.; Garnier, C.; Renarda, D.; Sánchez, C. (2000) . “Protein-polysaccharide interactions” . *Current Opinion in Colloid & Interface Science*. 5 : 202 – 214.

Doyle, J.P.; Giannouli, P.; Martin, E.J.; Brooks, M.; Morris, E.R. (2006) . “Effect of sugars, galactose content and chainlength on freeze–thaw gelation of galactomannans”. *Carbohydrate Polymers* . 64 : 391 - 401.

Dressler, M.; Fischer, P.; Windhab, E. (2003) . “Rheological characterization and modeling of aqueous guar gum solutions”. *3th International Symposium of Food Rheology and Structure*. ETH Zurich : 249 – 253.

Dunstan, D.E.; Ghen, Y.; Liao, M.L.; Salvatore, R.; Boger, D.V.; Prica, M. (2001) . “Structure and rheology of the k-carrageenan/locust bean gum gels”. *Food Hydrocolloids* . 15 : 475 – 484.

Elfak, A.M.; Pass, G; Phillips, G.O. (1979) . “The effect of shear rate on the viscosity of solutions of guar gum and locust bean gum”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 30 : 439 - 444.

Elfak, A.M.; Pass, G; Phillips, G.O.; Morley, R.G . (1977) . “The viscosity of dilute solutions of guar gum and locust bean gum with and without added sugars”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 28 : 895 - 899.

Estévez, A.M.; Sáenz, C.; Hurtado, M.L.; Escobar, B.; Espinoza, S.; Suárez, C. (on line : 2004) . "Extraction methods and some physical properties of mesquite (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) seed gum" . *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84 : 487 - 492.

Figueiredo, A. (1983) . "Extração, identificação e características do plissacarídeo da semente de algarobeira (*Prosopis juliflora* DC)" . *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 3 (1) : 82 - 89.

Frost, J; Farkas Hegedus, E; Glisckman, M. (1984) . "Objective characterization of hydrocolloid organoleptic properties" . *Food Technology*, January : 118 – 122.

Garti, N.; Madar, Z.; Aserin, A.; Sternheim, B. (1997) . "Fenugreek galactomannans as food emulsifiers". *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. 30 : 305 – 311.

Gómez-Díaz, D. ; Navaza, J. M. (2002) . "Effect of the food stabilizers blends composition upon the rheological behaviour" . *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 1 (3) : 165-176.

González, R.J. (1988) . "Aspectos de la estructura del sistema agroalimentario en las sociedades modernas", *Boletín del I.T.A.- U.N.L. N° 7: 1 - 9*.

González, R.J.; Torres, R.L.; De Greef, D.M; Gordo, N.A; Velocci, M.E. (1991) . "Influencia de las condiciones de extrusión en las características de harinas de maíz para elaborar sopas instantáneas" . *Rev. Agroquim. Technol. Aliment. (España)* . 31 : 87 - 96

Goycoolea, F.M.; Morris, E.R.; Gidley, M.J. (1995) . "Viscosity of galactomannans at alkaline and neutral pH: evidence of hyperentanglement in solution" . *Carbohydrate Polymers* . 27 : 69 – 71.

Han, J.; BeMiller, J.N. (2007) . "Preparation and physical characteristics of slowly digesting modified food starches" . *Carbohydrate Polymers* . 67 : 366 – 374.

Harrod, M. (1989). "Apparent concentration: a method to predict the flow properties of viscous foods for process applications". *Journal of Food Process Engineering*. 11 : 277 -296.

Hemar, Y.; Hall, C.E.; Munro, P.A. ; Singh, H. (2002) . "Small and large deformation rheology and microstructure of k-carrageenan gels containing commercial milk protein products". *International Dairy Journal*. 12 : 371 – 381.

Higiro, J.; Herald, T.J.; Alavi, S.; Bean, S. (2007) . "Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution: Effect of salt". *Food Research International*. 40 : 435 - 447.

Ibañez, M.C.; Ferrero, C . (2003) . “Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds” . *Food Research International* . 36 : 455 - 460.

Khouryieh, H.A.; Herald, T.J.; Aramouni, F.; Alavi, S. (2006). “Influence of mixing temperature on xanthan conformation and interaction of xanthan–guar gum in dilute aqueous solutions”. *Food Research International*. 39 : 964 - 973.

Kielty, C.M.; Grandt, M.E. (2002). “The collagen family: structure, assembly and organization in the extracellular matrix”. In Royce, P.M., Steinmann, B. Eds. *Connective tissue and its heritable disorder, molecular, genetic and medical aspects*. Second Edition. Wiley-Liss Inc. New York . pp:159 – 221.

Kök, M.S. (2007) . “A comparative study on the compositions of crude and refined locust bean gum: In relation to rheological properties” . *Carbohydrate Polymers* . 70 : 68 - 76.

Kunkel, M.E.; Seo, A.; Minten, T.A. (1997). “Magnesium binding by gum arabic, locust bean gum, and arabinogalactan”. *Food Chemistry*. 59 (1) : 87 – 93.

Lagarrigue, S.; Alvarez, G. (2001). “The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review”. *Journal of Food Engineering*. 50: 189 - 202.

Lopes Da Silva, J.A.; Gonçalves, M.P. (1990) . “Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol”. *Food Hydrocolloids*. 4 (4) : 277 – 287.

Lopes Da Silva, J.A.; Gonçalves, M.P.; Doublier J.L.; Axelos, M.A.V.. (1996) . “Effect of galactomannans on the viscoelastic behaviour of pectin/calcium networks”. *Polymer and Networks* . 4 : 65 - 83.

Lopes Da Silva, J.A.; Gonçalves, M.P.; Rao, M.A. (1990) . “Rheological properties of high-methoxyl pectin and locust bean gum solution in steady shear”. *Journal of Food Science*. 57 (2) : 443 - 448.

López Hernández, J.; Adris, J.; Fernández de Rank, E.; Monserrat, S. (1985) . “Obtención de mucílago a partir de algarrobo (*Prosopis alba*). *La Alimentación Latinoamericana*. 155 : 62 - 64.

Lundin, L.; Hermansson, A. (1995). “Influence of locust bean gum on the rheological behaviour and microstructure of K-carrageenan”. *Carbohydrate Polymers* . 28 : 91 - 99.

- Ma, X. ; Pawlik, M. (2007) . “Intrinsic viscosities and Huggins constants of guar gum in alkali metal chloride solutions” . Carbohydrate Polymers. 70 : 15 - 24.
- Mao, C.; Rwei, S. (2006) . “Cascade analysis of mixed gels of xanthan and locust bean gum” . Polymer . 47 : 7980 - 7987.
- Mao, C-F.; Chen, J-C. (2006) . “Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: An interpretation based on thixotropic behavior” . Food Hydrocolloids . 20 : 730 - 739.
- Marti, J.T.; Battle Caravaca, I. (1990). “El Algarrobo”. Ediciones Mundiprensa, Castelló, 37. Madrid. España.
- Mazza, G.; Biliaderis, C.G. (1989). “Functional properties of flaxseed mucilage”. Journal of Food Science. 54 (5) : 1302–1305.
- Meyer, D. (1984) . “Processing, utilization and economics of Mesquite pods as a raw material for the food industry”. Dissertation Swiss Federal Institute of Technology Zurich for Doctor of Technical Sciences. Juris Druck & Verlag. Zurich.
- Montes, A.L. (1981) . Bromatología, Tomo II. Eudeba (2da. Ed.) : 315.
- Morris, V.J. (1998). “Gelation of polysaccharides”. Functional Properties of Food Macromolecules. New York. Aspen Publication : 143 - 226.
- Muller, H. G. (1973). “Introducción a la reología de los alimentos”. Cap. 10 : 119 – 133 . Ed. Acribia. Zaragoza. España.
- Patmore, J.V.; Goff, H.D.; Fernandes S. (2003) . ”Cryo-gelation of galactomannans in ice cream model systems”. Food Hydrocolloids. 17 : 161 - 169.
- Peterson, M.S. ; Johnson, A.H. (1978) . Encyclopedia of Food Science. Inc. (2) : 482 – 490 . The Avi Publishing Company.
- Prentice, J. H. (1984) (a). “Measurement in the rheology of foodstuffs”.. Elsevier Applied Science Publishers LTD. London and New York. p: 166.
- Prentice, J. H. (1984) (b). “Measurement in the rheology of foodstuffs”. Elsevier Applied Science Publishers LTD. London and New York: Cap. 5 : 51 – 85.

Rao, M.A.; Rizui, S.S.H. (1986) . "Rheological Properties of Fluid Foods". Cap. 1. Ed. Marcel Decker Inc. New York.

Regand, A.; Goff, D.H. (2003) . "Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems". Food Hydrocolloids. 17 : 95 - 102.

Remondetto, G.E.; Añón, M.C.; González, R.J. (2001) . "Hydration properties of soybean protein isolates". Brazilian Archives of Biology and Technology. 44 (4) : 425 - 431.

Richardson, P.H.; Wilmer, J.; Foster, T. (1998) . "Dilute solution properties of guar and locust bean gum in sucrose solution" . Food Hydrocolloids . 12 : 339 - 348.

Rodd, A.B.; Davis, C.R.; Dunstan, D.E; Forrest, B. A; Boger, D.V. (2000) . "Rheological characterization of weak gels carrageenan stabilized milks". Food Hydrocolloids. 14 (5) : 445 - 454.

Roig, F.A. (1993) . " Aportes a la Etnobotánica del género Prosopis". Contribuciones Mendocinas a la 5ta. Reunión Regional para América Latina y El Caribe de la red de forestación del C.H.D. (IADIZA-CRICYT-CHD) Mendoza, Argentina : 99 - 119.

Sanderson, G.R. (1996) . "Gums and their use in food systems". Food Technology . 50 (3) : 81 - 84.

Schorsch, C.; Gamier, C.; Doublier, J. (1997). "Viscoelastic properties of Xanthan/galactomannan mixtures: comparison of guar gum with locust bean gum". Carbohydrate Polymers. 34 : 165 - 175.

Skinner, E.Z. (1988) . "The Texture Profile Method". Applied Sensory Analysis of Foods. Vol 1. Chapter 5 : 89 - 107. CRC Press.

Spagnuolo, P.A.; Dalgleish, D.G.; Goff, H.D.; Morris, E.R. (2005) . "Kappa-carrageenan interactions in systems containing casein micelles and polysaccharide stabilizers". Food Hydrocolloids. 19 : 371 - 377.

Sprenger, M. (1990) . "New stabilizing systems using galactomannans". Dairy Industries International. 55 (1) : 19 - 21.

Szczecniak, A. S. (1979). "Recent developments in solving consumer oriented texture problems". Food Technology. 33 (10) : 61 - 66.

Tófano, J.; Xidieh Murr, F.E.; Park, K.J. (2005). Review. "Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos". Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, Especial. 7 (2) : 181 - 204.

Vázquez, M.; Valenzuela, E.; Canales, H. (1984). "A method to obtain mucilage from algarrobo seeds". FAO . The current state of knowledge on Prosopis tamarugo . Papers presented at the International Round Table on Prosopis tamarugo Phil. (Arica, Chile, June : 11 - 15) (OnLine). Disponible: <http://www.fao.org/docrep/006/ad316e/AD316E17.htm#ch4.1>

Vernon Carter, E.J.; Sherman, P. (1980) . "Rheological properties and applications of mesquite tree (Prosopis juliflora) Gum. 1. Rheological properties of aqueous mesquite gum solutions". Journal of Texture Studies. 11 : 339 - 349.

Wang, E.; Wang, X.J.; Sun, Z . (2002 a). "Conformational role of xanthan gum in its interaction with locusts bean gum". Journal of Food Science. 67 (7) : 2609 - 2614.

Wang, E.; Wang, X.J.; Sun, Z. (2002 b). "Conformational role of xanthan gum in its interaction with guar gum". Journal of Food Science. 67 (9) : 3289 -3293.

Wang, Q.; Ellis, P.R.; Ross-Murphy, S.B. (2002). "Disolution kinetics of guar gum powders.I. Methods for commercial polydisperse samples". Carbohydrate Polymers. 49 : 131 -137.

Wang, Q.; Ellis, P.R.; Ross-Murphy, S.B. (2003) . "Dissolution kinetics of guar gum powders. II. Effects of concentration and molecular weight". Carbohydrate Polymers. 53 : 75 - 83.

Wang, Q.; Ellis, P.R.; Ross-Murphy, S.B. (2006) . "Dissolution kinetics of guar gum powders. III. Effect of particle size". Carbohydrate Polymers. 64 : 239 - 246.

Yang, M. (2001). "Flow behavior of polyacrylamide solution. III. Mathematical treatment". Journal of Applied Polymer Science. 82 (11) : 2784 - 2789.