

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE
PROVENIENTE DEL NOSTOC (*Nostoc sphaericum* V.)”**

Presentada por:

WILLIAMS VICENTE ROLDAN CARBAJAL

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima - Perú

2015

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis adorables hijos Danna, Williams Dayana, por la comprensión en la inversión del tiempo no dedicado a ellos.

A mis padres Emma y Vicente, por darme la vida e iluminarme el camino del manantial de la esperanza, a pesar de no tenerlos a mi lado, siento la frescura de sus alegrías.

AGRADECIMIENTO

A mis maestros en especial al Ing. W. F. Salas V. docente de la UNALM, que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas paginas de mi tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS
ÍNDICE DE FIGURAS
ÍNDICE DE ANEXOS
RESUMEN
SUMMARY

	Página
I. INTRODUCCIÓN	01
II. REVISIÓN DE LITERATURA	02
2.1 Los hidrocoloides	02
2.2 El Nostoc	05
2.3 Reología de los alimentos	08
2.4 Viscosidad	09
2.5 La Ley de Newton y la viscosidad	09
2.6 Características de los líquidos no Newtonianos	12
2.7 Mediciones reológicas	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Lugar de Ejecución	21
3.2 Materiales	21
• Materia prima	21
• Materiales	21
• Reactivos	21
• Equipos	21
3.3 Métodos de análisis	22
3.4 Esquema experimental	23
3.5 Obtención del hidrocoloide	24
3.6 Estudio del comportamiento reológico	27
3.7 Análisis estadístico	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1 Materia prima	
4.1.1 Porcentaje de humedad y contenido de cenizas	32
4.1.2 Contenido de proteína	32

4.1.3	Contenido de carbohidratos	32
4.2	Extracción y caracterización del hidrocoloide producido por <i>Nostoc sphaericum</i> , V.	32
		34
4.2.1	Contenido de carbohidratos, ácidos irónicos, proteína y cenizas polisacárido producido por <i>Nostoc sphaericum</i> , V.	35
4.3	Análisis reológico.	37
4.3.1	Efecto de la concentración del hidrocoloide en solución sobre el comportamiento reológico.	46
4.3.2	Efecto de la concentración y a temperatura del hidrocoloide en solución sobre el comportamiento reológico	47
4.3.3	Efecto conjunto de la concentración del hidrocoloide en solución y la temperatura sobre el comportamiento reológico.	48
4.3.4	Umbral de fluencia (τ_0)	51
4.3.5	Índice de consistencia (K)	52
V.	CONCLUSIONES	56
VI.	RECOMENDACIONES	57
VII.	BIBLIOGRAFÍA	58
VIII.	ANEXOS	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
01 Gomas o hidrocoloides de importancia industrial	04
02 Principales algas peruanas consumidas en el Perú	08
03 Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la presión	10
04 Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la Temperatura	11
05 Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la temperatura y presión	12
06 Comportamiento de los fluidos en función al tiempo	12
07 Índices de consistencia para diferentes fluidos según el modelo de Herschel-Bulkley	15
08 Modelos reológicos que describen el comportamiento reológico de los fluidos independientes del tiempo	16
09 Analisis de varianza para determinar el efecto de la temperatura y la concentración en la viscosidad aparente del hidrocoloide del Nostoc	31
10 Características químicas del <i>Nostoc sphaericum</i> , V. al estado fresco	32
11 Composición fisicoquímica del nostoc en base seca	35
12 Composición química del hidrocoloide liofilizado del <i>Nostoc sphaericum</i> V.	36
13 Parámetros reológicos del polisacárido en función de la temperatura y la concentración	38
14 Constantes de la ecuación $k = a \cdot \exp(b \cdot C)$ a 27 °C y 70 °C	50
15 Constantes para predecir el índice de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración	50
16 Constantes de la ecuación para predecir el índice de consistencia (k) en función de la temperatura y la concentración del hidrocoloide el nostoc.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
01	Esquema experimental del trabajo de investigación	23
02	Flujo para la extracción del hidrocoloide del <i>Nostoc</i>	26
03	Diagrama de secuencia de tratamiento de datos para obtener los parámetros de los modelos.	29
04	<i>Nostoc sphaericum</i> , V. al estado natural y su hidrocoloide	36
05	Reograma del comportamiento reológico al 0,2 % de concentración a 6°C, 10°C y 15 °C	41
06	Reograma del comportamiento reológico al 0,6 % de concentración a 5 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C	42
07	Reograma del comportamiento reológico al 1,00 % de concentración a 27 °C, 35°C , 40 °C , 50 °C , 60 °C y 70 °C	42
08	Reograma del comportamiento reológico al 1,3 % de concentración a 27 °C, 35 °C, 40 °C , 50 °C , 60 °C , y 70 °C	44
09	Reograma del comportamiento reológico al 1,5 % de concentración a 30 °C, 40°C, 50 °C , 60 °C y 70 °C	44
10	Reograma del comportamiento reológico al 1,7 % de concentración a 30°C, 40°C, 50 °C , 60 °C y 70 °C	45
11	Reograma del comportamiento reológico al 2,0 % de concentración a 35°C, 40°C, 50 °C , 60 °C y 70 °C	45
12	Efecto de la temperatura en el coeficiente de temperatura a diferentes concentraciones del hidrocoloide <i>Nostoc sphaericum</i> V.	48
13	Efecto de la concentración del hidrocoloide en el coeficiente de consistencia (k) a diferentes temperaturas.	49
14	Efecto de la concentración del hidrocoloide en el índice de consistencia (k) a 27 °C y 70 °C	49
15	Efecto de la temperatura en el índice de consistencia del hidrocoloide del <i>Nostoc sphaericum</i> V. en solución en diferentes concentraciones	54

ANEXOS

	Página
01	Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura a 0,2 % de concentración del hidrocoloide. 69
02	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico (n) por modelo reológico 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura a 0,2 % de concentración del hidrocoloide. 69
03	Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura a 0,2 % de concentración del hidrocoloide. 69
04	Pruebas de Múltiple Rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia (K) por modelo reológico a 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura a 0,2 % de concentración del hidrocoloide. 69
05	Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide. 70
06	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide. 70
07	Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide. 70
08	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia (k) por modelo reológico a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide. 70
09	Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide. 71
10	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico (n) por Modelo Reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide. 71
11	Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del 71

hidrocoloide.

- 12 Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de 71
consistencia por modelo reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C
de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide.
- 13 Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 27 °C, 72
35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración
del hidrocoloide.
- 14 Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de 72
comportamiento reológico por Modelo Reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50
°C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración del hidrocoloide.
- 15 Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 72
50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración del
hidrocoloide.
- 16 Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de 72
consistencia por modelo reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C
de temperatura al 1,3 % de concentración del hidrocoloide.
- 17 Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 30 °C, 73
40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del
hidrocoloide.
- 18 Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de 73
comportamiento reológico por Modelo Reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60
°C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.
- 19 Análisis de varianza para el índice de Consistencia (K) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 73
60 °C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.
- 20 Pruebas de múltiple rangos con el mMétodoTukey al 95,0 % para el índice de 73
consistencia por modelo reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de
temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.
- 21 Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 30 °C, 74
40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del
hidrocoloide.
- 22 Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de 74
comportamiento reológico por Modelo Reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60
°C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.

23	Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.	74
24	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el Índice de consistencia por modelo reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.	74
25	Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.	75
26	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.	75
27	Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.	75
28	Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.	75
29	Análisis de varianza para predecir el coeficiente de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración del hidrocoloide.	75
30	Parametros reológicos del polisacárido en función de la temperatura y la concentración.	76

RESUMEN

El *Nostoc sphaericum* V., alga andina peruana aún no ha sido industrializada siendo un recurso renovable, depositaria de numerosos lagos, manantiales y diversos ambientes acuáticos, su larga data de consumo indica una seguridad alimentaria como complemento nutricional económico. El objetivo de la investigación fue obtener y caracterizar el comportamiento reológico del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) en solución a diferentes concentraciones y temperaturas. La población en estudio fueron las algas de la Laguna de Patococha ubicada en el distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash, se tomaron 54 kilogramos de muestra no probabilísticas seleccionadas con diámetros mayores a 1,5 centímetros. Se colocaron las muestras en un secador por convección a 60 °C, con una velocidad del aire a 3m/s a una humedad relativa de 35%. De las muestras molidas, se aisló el hidrocoloide mediante la extracción en caliente a 90 °C con 30 partes de agua y una de alga seca, el extracto fue decolorado con 0,15 g de carbón activo /70 mL de extracto por un tiempo de 30 minutos en agitación a una temperatura de 28 °C durante seis horas, se precipitaron los hidrocoloides con alcohol etílico de en proporciones de dos volúmenes de alcohol por uno de extracto para ser liofilizado a una temperatura de -40 °C durante 24 horas a una presión de sublimación de 0,004 atm. A partir del hidrocoloide del Nostoc, se prepararon diluciones de 0,2; 0,6; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0% (p/p) del hidrocoloide en agua. Las medidas reológicas se realizaron con un viscosímetro Brookfield DV-III; las temperaturas en los ensayos reológicos fueron 5±0,5 °C, 10±0,5 °C, 15±0,5 °C, 20±0,5 °C, 25±0,5 °C, 30±0,5 °C, 35±0,5 °C, 40±0,5 °C, 50±0,5 °C, 60±0,5 °C y 70±0,5 °C. De los cinco modelos probados, Oswalt, Bingahn, Casson, Casson-Modificado y Herschel-Bulkely, los modelos de Ostwald y Herschel-Bulkely son los que se ajustan a los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación. Al incrementarse la temperatura de 6 °C a 27 °C a la concentración de 0,2% del hidrocoloide, el índice de comportamiento reológico (n) aumenta de 1,146 a 1,230, mientras que el índice de consistencia (k) disminuye de 0,037 Pa sⁿ a 0,024 Pa sⁿ, comportándose como un fluido dilatante. Al incrementarse la temperatura de 35 °C a 60 °C a la concentración de 2% del hidrocoloide, el índice de comportamiento reológico (n) aumenta de 0,165 a 0,960 mientras que el índice de consistencia (k) disminuye de 63,655 Pa sⁿ a 0,424 Pa sⁿ, comportándose como un fluido pseudoplastico. El efecto de la concentración del hidrocoloide (X) sobre el

índice de consistencia (k) a 27 °C de temperatura obedece a la ecuación exponencial $k=0,0025e^{3,8026X}$, mientras que a 70 °C de temperatura obedece a la ecuación exponencial $k=0,0005e^{3,3541X}$. Al incrementarse la concentración del hidrocoloide de 0,2% a 2% y elevarse la temperatura de 6°C a 70°C, la energía de activación como un indicador del movimiento de las moléculas se incrementa de 443,937 J/mol a 2083,235 J/mol.

Palabras claves: *Nostoc sphaericum* V., reología, hidrocoloides, fluidos pseudoplásticos.

SUMMARY

The *Nostoc sphaericum* V., an algae species of the Peruvian Andes, has not yet been industrialized as a renewable resource. Deposited in numerous lakes, springs, and various aquatic environments, its long-standing consumption indicates its security as an economic nutritional food complement. The objective of the research was to obtain and characterize the rheological behavior of the hydrocolloid of the *Nostoc sphaericum* V. in solution at different concentrations and temperatures. The population used in the study were the algae in the Lagoon of Patococha located in the district of Catac, province of Recuay, department of Ancash, 54 kilograms of non-probabilistic sample were captured, selecting those with larger diameters greater than 1,5 centimeters. The samples were placed in a convection dryer at 60°C, with an air speed 3m/s at a relative humidity of 35%. From the milled samples, we isolated the hydrocolloid by heat extraction at 90°C with 30 parts of water and a dried seaweed. The extract was discolored with 0,15 g an extract of active carbon /70 mL after 30 minutes of agitation and at a temperature of 28 °C for six hours. The hydrocolloids were precipitated with ethyl alcohol in the proportions of two volumes of alcohol to one of extract in order to be freeze-dried at a temperature of -40 °C for 24 hours at a pressure of sublimation of 0,004 atm. From the hydrocolloid of the *Nostoc sphaericum* V. dilutions of 0,2; 0,6; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9, and 2,0% (p/p) hydrocolloid in water were prepared.

The rheological measures were performed using a viscometer Brookfield DV-III; the temperatures in the rheologic tests were 6±0,5 °C, 10±0,5 °C, 15±0,5 °C, 20±0,5 °C, 25±0,5 °C, 30±0,5 °C, 35±0,5 °C, 40±0,5 °C, 50±0,5 °C, 60±0,5 °C y 70±0,5 °C. Of the five models tested, Ostwald, Bingahn, Casson, Casson-Modified and Herschel-Bulkely, the models of Ostwald and Herschel-Bulkely are those that fit the data obtained in the present research work. When increasing the temperature from 6°C to 27 °C in the concentration of 0,2% of the hydrocolloid, the index of rheologic behavior (n) increased from 1,146 to 1,230, while the consistency index (k) decreased from 0,037 Pa ns to 0,024 Pa sⁿ, behaving as a dilatant fluid.

When increasing the temperature from 35°C to 60°C at a concentration of 2% of the hydrocolloid, the index of rheologic behavior (n) increased from 0,165 to 0,960 while the consistency index (k) decreased from 63,655 Pa sⁿ to 0,424 Pa sⁿ, behaving as a pseudo plastic fluid. The effect of the concentration of the hydrocolloid (X) on the consistency index

(k) at 27°C temperature obeys the exponential equation $k=0,0025e^{3,8026X}$, while at 70°C temperature it obeys the exponential equation $k=0,0005e^{3,3541X}$. When increasing the concentration of the hydrocolloid from 0,2% to 2% and raising the temperature from 6°C to 70°C, the energy of activation is indicated by a movement of molecules that increase from 443,937 J/mol to 2083,235 J/mol.

Key words: *Nostoc sphaericum* V, rheology, hydrocolloids, pseudo plastic fluids

I. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las algas marinas han sido estudiadas y explotadas en la industria de alimentos, sin embargo las de agua dulce, su explotación e información científica son escasas, sobre todo en el comportamiento reológico de su hidrocoloide como es el caso del *Nostoc*. Esta alga es un recurso natural renovable que se desarrolla en diferentes medios acuíferos como en los departamentos de Ancash, Amazonas, Cajamarca, Cuzco, Huancayo, Junin, La Libertad, Oroya, Puno, Cerro de Pasco, y parte de la selva de Huánuco.

El interés por la medida del comportamiento reológico de los aditivos alimentarios gelificantes naturales son cada vez mayores debido a su utilidad en la Industria Alimentaria como gelificantes, espesantes, emulsificantes o estabilizadores; aunque no contribuyen como aroma, sabor o valor nutritivo de los alimentos sí pueden incidir en su aceptabilidad mejorando su textura o consistencia.

El hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) es una materia prima hidrobiológica renovable con potencialidad de ser usado en la industria alimentaria y en la industria farmacéutica mejorando la textura y la consistencia de los productos terminados de consumo humano.

Teniendo en cuenta lo antes referido, se decidió realizar el presente trabajo de investigación, planteándose los siguientes objetivos:

- Obtención y caracterización del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) en solución.
- Determinar el comportamiento reológico del hidrocoloide en solución a diferentes concentraciones y temperaturas del alga (*Nostoc sphaericum* V.)

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LOS HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides o gomas son un grupo diverso de polímeros de cadena larga que se caracterizan por formar dispersiones o geles viscosos cuando se dispersan en agua. Estos materiales se encuentran en exudados de árboles o arbustos, extractos de plantas o algas marinas, harinas de semillas o granos, cienes pegajosos de procesos de fermentación y muchos otros productos naturales. Los hidrocoloides presentan una gran cantidad de grupos hidroxilo, las cuales aumentan de manera notable su afinidad para enlazar moléculas de agua, convirtiéndolos en compuestos hidrofílicos. Además, producen una dispersión intermedia entre una solución verdadera y una suspensión, exhibiendo las características de un coloide. Por tal motivo, se les denomina hidrocoloides (Milani y Maleki, 2012).

El término goma o hidrocoloide se usa para describir un grupo de polímeros de amplia aplicación, los cuales son principalmente polisacáridos y sus derivados, de origen vegetal o microbiano, que se pueden dispersar en agua fría o caliente para producir geles, dispersiones o soluciones viscosas a bajas concentraciones (Flindt *et al.*, 2005).

El término hidrocoloide hace referencia a una sustancia natural polimérica soluble o dispersable en agua. Aunque el término se aplica de forma general a sustancias de composición polisacárida, generalmente gomas, algunas proteínas como la gelatina también se clasifican como hidrocoloides. Son moléculas altamente hidrofílicas que actúan en bajas concentraciones reduciendo la movilidad del agua y aumentando la viscosidad. Adicionalmente al efecto en la viscosidad de las disoluciones acuosas o la formación de geles, este mecanismo permite modificar y/o controlar las propiedades de flujo y la textura de alimentos fluidos y bebidas y las propiedades de deformación de alimentos semisólidos. Además del efecto espesante, ofrecen muchas otras funciones en alimentos y bebidas como estabilizador, emulsionantes, agentes de suspensión, espumantes, agentes de control de la cristalización, de aglutinación, recubrimiento, encapsulación e inhibidores de la sinéresis. La razón principal de la amplia utilización de los hidrocoloides en la industria alimentaria es su capacidad de modificar la reología de los sistemas alimentarios. Esto incluye dos

propiedades básicas de los alimentos, es decir, el comportamiento de flujo (viscosidad) y sus características sólidas (textura). La modificación de la textura y/o de la viscosidad de los sistemas alimentarios ayuda a modificar sus propiedades sensoriales; por lo tanto, los hidrocoloides se utilizan como aditivos alimentarios para la mejora general de los alimentos (Angioloni, 2013).

Son diversas las fuentes naturales de hidrocoloides: plantas (paredes celulares, semillas, troncos, raíces, etc.), algas, bacterias o inclusive animales, que producen gomas, mucilagos, fibras o compuestos proteicos (Mirhosseini *et al.*, 2012). Otros se obtienen por modificación de hidrocoloides naturales, como las celulosas químicamente modificadas e hidrocoloides sintéticos (Martínez, 2005).

Los hidrocoloides poseen propiedades gelificantes, espesantes, emulsionantes, estabilizantes y organolépticas, entre otras, útiles para lograr determinadas características en los productos finales (Torres *et al.*, 2012). Sus aplicaciones van desde la industria cosmetológica hasta la industria textil. Tienen utilidad en la preparación de lociones, “shampoo” y acondicionadores para el cabello, en biotecnología para la inmovilización de células (organelos celulares) y como medio de cultivo para hongos y microalgas (Ercelebi e Ibanoglu 2007; Mirhosseini *et al.*, 2012); en textiles se usan en la impresión de estampados en tela (Grobl *et al.*, 2005); en la construcción para prevenir el secado prematuro del cemento y en la industria petrolera para incrementar la viscosidad de los fluidos de perforación de pozos petroleros (Martinez, 2005).

La goma de algarrobo o garrofin (LBG, *locust bean gum*) es un hidrocoloide natural extraído de las semillas de algarrobo, *Ceratonia siliqua L.*, árbol originario del litoral del Mediterráneo. El fruto del algarrobo es una vaina de 20 cm de largo y de 2 a 4 cm de ancho. Cada vaina contiene semillas ovoides de 8 a 9 mm de largo. Estas semillas contienen la reserva de energía que proveerá la goma espesante después de la eliminación de la testa (cubierta de la semilla) (Goncalves y Romano, 2005; Bonaduce *et al.*, 2007).

Beltran (2013) clasifica a las gomas de importancia industrial por categorías, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Gomas o hidrocoloides de importancia industrial

Categoría	Nombre común	Origen
Exudados gomosos	Goma arábica	<i>Acacia senegal</i>
	Goma tragacanta	<i>Astragalus sp.</i>
	Goma Karaya	<i>Sterculia urens</i>
	Goma ghatti	<i>Anogeissus latifolia</i>
Semillas	Algarrobo	<i>Ceratonía siliqua</i>
	Guar	<i>Cyamopsis tetragonolobus</i>
	Almidones	<i>Agrocultivos</i>
Extractos		
Algas	Agar	<i>Gelidium o Gracalaria sp</i>
	Alginatos	<i>Laminaria sp.</i>
	Carraginatós	<i>Chondrus crispus</i>
	Furcelarán	<i>Furcellaria fastigiata</i>
Plantas terrestres	Pectinas	<i>Pyrus malus L.</i>
		<i>Citrus sinensis</i>
Animal	Gelatina	<i>Bos taurus</i>
Por fermentación microbiana	Xantán	<i>Xanthomonas campestris</i>
	Gelán	
Modificados	Derivados de celulosa, almidones, pectinas y alginatos	Por modificación química, genética o enzimática de un hidrocoloide natural

Fuente: Beltran (2013)

Los hidrocoloides son utilizados en alimentos como agentes espesantes, estabilizantes y gelificantes, como consecuencia de su capacidad de cambiar las propiedades reológicas del solvente en el cual son disueltos. El cambio de la viscosidad ocurre como consecuencia del alto peso molecular, su naturaleza polimérica y las interacciones entre cadenas de polímero cuando son disueltos o dispersados. Estas propiedades han sido explotadas para su funcionalidad en sistemas de alimentos incluyendo atributos de textura y sensación bucal. Los geles formulados con el polímero hidroxietilcelulosa (HEC) a concentraciones desde 0,5 hasta 1,2 g HEC/100 g de solución presentaron un comportamiento pseudoplástico, por debajo de esta concentración el fluido se comportó como fluido Newtoniano. Un aumento de la temperatura de 27 °C a 50 °C disminuyó la viscosidad de los geles de concentración 0,5; 0,8 y 1% HEC, así como el esfuerzo de corte; manteniéndose el comportamiento pseudoplástico (Yaseen *et al.*, 2005).

Las algas tienen múltiples aplicaciones en productos que han potenciado su desarrollo. Esto posibilita la investigación y desarrollo tecnológico del sector en una

asociación entre empresas y centros de investigación. En la agricultura las algas son utilizadas como abonos y en la nutrición animal. En los cosméticos son utilizados como antienvjecimiento en cremas hidratantes, protección solar, tratamiento para el cabello y maquillaje. En la salud como productos farmacéuticos en la investigación contra el cáncer, nutrición, terapias naturales. En el medio ambiente las algas industrializadas son utilizadas como materiales biodegradables (bolsas plásticas), combustible orgánico, capturador de CO₂, eliminación radioactividad, limpieza de aguas (Moya, 2011).

2.2. EL NOSTOC

Herrera (2012) menciona que la Cordillera Andina es depositaria de numerosos lagos, arroyos, manantiales y diversos ambientes acuáticos donde es muy común observar colonias de consistencia gelatinosa de forma esférica, lobular o laminar; plantas globosas o laminares de color verde azulado estas son algas azul verdes o Cyanophyta llamadas comúnmente: “cushuro”, “llullucha”, “murmunta”, “crespito”, “jugadores”, “yurupa”, “uvas de los ríos”, “cochayuyo”, etc. que corresponden a los nombres científicos: *Nostoc sphaericum* Vauch., *Nostoc commune* Vauch., *Nostoc pruniforme* (L) Ag., *Nostoc parmelioides* Kurtz y *Nostoc verrucosum* Vauch.

La clasificación taxonomía para especies andinas según NCBI (2014) es la siguiente:

Reino: Bacteria, Planctae (clasificados en dos reinos distintos como Bacterias y Cushurus;
Filum: Cyanobacteria;
Orden: Nostocales;
Familia: Nostocaceae;
Género: Nostoc;
Especies: *N. calcicola*, *N. commune*, *N. cycadae*, *N. desertorum*, *N. edaphicum*, *N. ellipso sporum*, *N. entophytum*, *N. flagelliforme*, *N. indistinguenda*, *N. lichenoides*, *N. linckia*, *N. muscorum*, *N. paludosum*, *N. piscinale*, *N. punctiforme*, *N. sphaericum*, *N. trichormus*.

Aboal *et al.* (2010) dividió al Nostoc comestible principalmente en dos grupos, uno donde las colonias se distribuyen frecuentemente en grandes cantidades y el otro donde son raros y pocos. El primer caso lo divide en tres tipos que son: *Spheronostoc*: caracterizado por sus colonias de forma invariable esféricas, lo que significa que están sumergidas pero

no adheridas al sustrato. *Stratonostoc*: Caracterizado por sus colonias laminares de hábitat principalmente terrestre. *Nematonostoc*: Tienen colonias alargadas o filiformes. El *Nostoc sphaericum* *Vauch*, tiene talos de forma globosa verde-azulado a verde pardusco, forman colonias esféricas de tamaño variable con la superficie del talo liso, generalmente de 3 cm de diámetro, alcanzando excepcionalmente hasta 8 cm de diámetro. Vaina de tricomas próximos a la superficie del talo son de color verde amarillento con visible espesamiento transversales, los tricomas de la parte interna las vainas son hialinas y transparentes. Su hábitat forma colonias gelatinosas esféricas que flotan libremente por el borde de superficies de lagos, lagunas, charcos, puquios y diversos ambientes húmedos alto andinos.

Estas algas andino peruanas del género *Nostoc*, se pueden consumir al estado fresco, seco, deshidratándolo por deshidratación solar, donde se ha preparado y sometido a pruebas de aceptabilidad de 40 potajes en forma de entradas, sopas, guisos, postres, bebidas, siendo los más populares el chupe de cushuro, budín de cushuro, cebiche de cushuro, salto de cushuro, arroz con cushuro, revuelto de cushuro con papas, cocada de cushuro, gelatina y mermelada de cushuro y la bebida de cushuro sauer. Composición alimentaria: el *Nostoc* común andino de forma esférica, por cada 100 g de producto desecado contiene: 25,4 g de proteínas, 62,4 g de glúcidos, 0,80 g de lípidos, 6,30 g de agua, 5,10 g de ceniza, 258 mg de fósforo, 1,076 g de calcio, 19,6 mg de hierro y 10 de vitamina A (Gantar, 2008).

Se han determinado propiedades curativas: el *Nostoc* tiene algunas cualidades en medicina, por ejemplo la de inhibir la formación de colesterol (Rasmussen *et al.*, 2009), merced a su principio activo, la nostocarbolina. También podría ayudar a la regeneración de los huesos, indicando que la osteoporosis no existe en las tierras altas andinas (Becher *et al.*, 2005).

Aldave, citado por Gantar (2008) también menciona sobre los análisis químico bromatológico de las especies de *Nostoc* y revela que tienen 30-35% de proteínas, 50% de hidratos de carbono; 17% de lípidos. De los polisacáridos: 30% de ácido galacturónico y ácido glucónico; 10% ramnosa; 25% D-xilosa; 35% galactosa y glucosa.

Ponce (2014) menciona que el *Nostoc* es un alimento que debe ser considerado para futuros estudios y producción tecnificada. Su larga data de consumo por pueblos andinos tan lejanos, como China y Mongolia, entre otros, indica una seguridad alimentaria. Debido a la creciente demanda de alimentos en el mundo, es un complemento nutricional económico,

disponible en los países andinos y que ha probado durante siglos su bondad. Puede servir para abonar suelos agrícolas, al incorporar nitrógeno a la tierra. También tiene aplicaciones en la producción de combustibles ecológicos, como el etanol. Sus cualidades medicinales también están fuera de dudas, así como sus proyecciones futuras en estudios contra el cáncer y protección contra los rayos UV.

AGROECO (2014) detalla las principales algas consumidas en el Perú según el Cuadro 2. El consumo de algas se remonta a tiempos prehistóricos y en el Perú tiene una historia de por lo menos 6000 años. No son hortalizas, porque salen del mar o de lagos, pero se comen como verduras y pueden aportar grandes beneficios nutricionales. En el Cuadro 2 se muestra las principales algas consumidas en el Perú.

El exudado de la corteza del árbol camoruco *Sterculia apetala*, podría tener un comportamiento dual: como estabilizante de emulsiones (emulsionante secundario), dada su elevada viscosidad, la cual se incrementa posterior al proceso de deacetilación, y como emulsionante primario, ya que es capaz de disminuir la tensión superficial del agua y exhibir una capacidad emulsionante análoga a la descrita para otros polímeros, pero no tan eficiente cuando se compara con la goma arábica de importancia comercial. (Beltran, 2013).

Los principales agentes utilizados para encapsular son alginato, gelatina goma xantana, goma arábica y proteínas (animal y vegetal) (García y López, 2012).

Cuadro 2: Principales algas consumidas en el Perú

Nombre común	Tipo	Donde crece	Nombres científicos
Cochayuyo	Roja	mar	<i>Porphyra columbina</i> , también <i>Grateloupia</i> , <i>Rhodymenia</i> y <i>Rhodoglossum</i>
Yuyo o mococho	Roja	mar	<i>Chondracanthus chamissoi</i> , también <i>Gigartina</i> y <i>Gracilaria</i>
Piscuchaqui	Roja	mar	<i>Prionitis decipiens</i>
Cushuro	Verde azulada	Lagunas, puquios	<i>Nostoc sp</i>
Lechuga de río o mayo lacco	verde	rios	<i>Monostroma quaternarium</i>
Lechuga de mar	verde	mar	<i>Ulva fasciata</i>
Llasca	verde	lagos	<i>Cladophora crispata</i>

Fuente: AGROECO (2014)

2.3. REOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

El conocimiento de las propiedades reológicas de los alimentos es muy importante en el diseño de procesos y equipos de ingeniería tales como cintas transportadoras, tuberías, tanques de almacenamiento, pulverizadores o bombas para el manejo de alimentos, además la viscosidad se utiliza para la estimación y cálculo de fenómenos de transporte de cantidad de movimiento, calor y energía. En la evaluación sensorial los datos reológicos pueden ser muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o formulación de un producto final. Al obtener información sobre la estructura de un alimento, la reología facilita la comprensión de la distribución de los componentes macromoleculares y sus cambios durante su procesamiento. En el control de la calidad las medidas de la viscosidad en continuo son cada vez más importantes con el objeto de controlar el proceso productivo, la calidad de las materias primas, productos intermedios y acabados. Experimentalmente se demuestra que, en muchas sustancias, cuando la deformación relativa es pequeña, la tensión es numéricamente igual al producto de la deformación relativa por una constante, es decir la deformación relativa es proporcional a la tensión. La constante de proporcionalidad es el

módulo de elasticidad. La deformación elástica o reversible es cuando el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que provoca la deformación. La deformación elástica o reversible y deformación plástica o irreversible, cuando el material no regresa a su forma original (Ramírez, 2006 y Quintáns, 2008).

2.4. VISCOSIDAD

El concepto de viscosidad descrito originalmente por Newton fue definido como “la resistencia ejercida y que surge a partir de una falta en el deslizamiento de un fluido, si el resto de factores se mantienen, es proporcional a la velocidad a la que las partes de un fluido son separadas entre sí”. De este modo, se estableció la proporcionalidad existente entre el esfuerzo por unidad de área (F/A) necesario para producir un gradiente de velocidades en un fluido, siendo la constante de proporcionalidad (denominado coeficiente de viscosidad o viscosidad newtoniana μ), un factor que describe "la capacidad de deslizamiento de un fluido" (Quintáns, 2008).

2.5. LA LEY DE NEWTON Y LA VISCOSIDAD

Ley de Newton establece que el esfuerzo de corte F_x que se requiere para mantener la placa superior en movimiento es proporcional al área A de la placa y para el gradiente de velocidad $-dv_x / dz$, $F_x = -\mu A \cdot dv/dz$. Se asume que no hay movimiento que no sea en la dirección x . El factor de proporcionalidad μ se denomina viscosidad. La viscosidad es una propiedad del fluido, y representa la resistencia del fluido a la acción de cizallamiento. Sus unidades en el SI son Pascal segundo (Pa s) (Singh y Heldman, 2014).

La variación de la viscosidad aumenta exponencialmente con la presión. Los cambios de la viscosidad con la presión son bastante pequeños, en la mayoría de casos el efecto de la presión se ignora al hacer la lectura con el viscosímetro, sigue la ley exponencial (Zeki, 2013), como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la presión.

Ecuaciones	Parámetros
$\mu = \mu_o .e^{(\alpha.P)}, \alpha = (0.6 + 0.965.\log \mu).10^3$	μ_o es la viscosidad a la presión P
$\mu = \mu_o .(1 + C.P)^n$	Para presiones muy altas

Fuente: Zeki (2013).

Zeki (2013) menciona que la variación de la viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura, la dependencia es exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por cada grado centigrado modificado. La ecuación de Arrhenius permite evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad $\mu = A.e^{B/T}$, donde μ es la viscosidad dinámica (mPa.s), A y B son las constantes dependientes del líquido y T es la temperatura absoluta en Kelvin.

En el Cuadro 4 se observa las ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la temperatura detallando los parámetros y las constantes.

Cuadro 4: Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la temperatura

Ecuaciones	Parametros
$\mu = A.e^{B/T}$	donde μ es la viscosidad dinámica (mPa.s), A y B son las constantes dependientes del líquido y T es la temperatura absoluta en grados K
$\log\left(\frac{\eta}{\eta_o}\right) = E_A\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_o}\right)$	Ecuación de Arrhenius modificada para disoluciones por encima de su temperatura de transición vítrea.
$\mu = \frac{\mu_o}{1 + \alpha T + \beta T^2}$	Ecuación de Poiseville, μ_o es la viscosidad dinámica a 0 °C, T es la temperatura en °C y α , β son los coeficientes constantes.
$\log\left(\frac{\eta}{\eta_s}\right) = \log(a_r) = \frac{-C(T - T_s)}{C_2 + (T - T_s)}$	Ecuacion de Williams-Landel-Ferry, donde η_s es la viscosidad a una temperatura de referencia T_s .
$\log(\mu) = A \cdot \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{B} \right]$	Ecuacion de Van Velzen, μ es la viscosidad en cP, A y B son constantes particulares para cada líquido.

Fuente: Zeki (2013).

En el Cuadro 5 se muestra las ecuaciones utilizadas para determinar la variación de la viscosidad con la temperatura y la presión (Zeki 2013), detallando las constantes y las variables.

Cuadro 5: Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la temperatura y presión.

Ecuaciones	Parametros
$\mu = \mu_o \cdot \exp \left[AP - \frac{B}{T - T_o} \right]$	Ecuación Barus, μ_o es la viscosidad a T_o y a presión atmosférica, A equivale a 1/430 y B a 1/36
$\eta(P,T) = f(T)e^{\Gamma P}$	Ecuación general, Γ tiene valores de 2×10^{-8} y 6×10^{-1}

Fuente: Zeki (2013).

2.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS LÍQUIDOS NO NEWTONIANOS

Existen numerosos líquidos, frecuentemente empleados en las industrias alimentarias, en los que esta relación $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$ no se cumple. Suele tratarse de dispersiones acuosas, suspensiones de sólidos, o emulsiones de líquidos en el seno de otro líquido. Si la interacción depende de la velocidad de flujo, el coeficiente de viscosidad deja de ser una constante. Por esta razón, en lugar del coeficiente de viscosidad η se usa frecuentemente un “coeficiente de viscosidad aparente” η_{ap} que se define como el primero, es decir, como la tensión tangencial dividida por la velocidad de deformación. Se dan cuatro tipos generales de comportamiento, como se muestra en el Cuadro 6 (Quintáns, 2008).

Cuadro 6: Comportamiento de los fluidos en función al tiempo

Comportamiento	Independientes del tiempo	Dependientes del tiempo
Dilución	Pseudoplasticidad	Tixotropía
Espesamiento	Dilatancia	Reopexía

Fuente: Quintáns (2008).

Estos términos tienen un valor exclusivamente histórico y carecen de significado reológico, salvo en lo que se refiere al tipo de gráfica de flujo. Los líquidos dilatantes no se dilatan necesariamente, y no hay nada falso en la pseudoplasticidad. Se hablará a continuación de cada uno de los cuatro tipos de comportamiento de flujo (Zeki, 2013).

Qixin y Daubert (2013) mencionan que existe relación entre la tensión de cizallamiento y la velocidad de deformación de corte, muchos modelos para describen fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Para los productos alimenticios, el modelo Bulkley-Herschel $\sigma = \sigma_0 + k(\dot{\gamma})^n$

es de importancia práctica, ya que incorpora un límite elástico (σ_o). Los fluidos se clasifican a continuación en diferentes tipos de acuerdo con la magnitud de σ_o , K , y n .

Donde K es el coeficiente de consistencia y n es el índice de comportamiento de flujo.

Los fluidos Newtonianos ($\sigma_o = 0, n=1, K=\mu$), no tienen una tensión de fluencia, es decir, se deforman inmediatamente con una pequeña tensión; la tensión de fluencia es cero, el índice de comportamiento de flujo es 1,0, y el coeficiente de consistencia es la viscosidad newtoniana. Miel, aceite de oliva, leche cruda, agua y aire son ejemplos de fluidos Newtonianos con viscosidades de 11,0; 0,084; 0,002; 0,001; y 0,0000181 Pa-s, respectivamente, a 20 °C (Zeki, 2013; Qixin y Daubert, 2013).

Fluidos Power-Law ($\sigma_o = 0$), estos fluidos no tienen una tensión de fluencia similar a un fluido newtoniano, y tienen una viscosidad dependiente de la tasa. Al trazar la viscosidad aparente contra la velocidad de deformación de cizalla, algunos fluidos de ley de potencia tienen viscosidades aparentes pequeños en altas velocidades de deformación de cizallamiento y se llaman la cizalla o fluidos pseudo plástico. Otros muestran viscosidades aparentes más grandes a velocidades de cizallamiento altas, llamados cizalla-engrosamiento o fluidos dilatantes. La diferencia entre estos dos tipos de fluidos en un reograma es una pendiente decreciente con un aumento de la velocidad de cizallamiento para fluidos reductor de la cizalla y una pendiente de inclinación para fluidos de espesamiento de cizalladura. Para fluidos de ley de potencia, el Herschel-Bulkley ecuación se simplifica como:

$$\sigma = \sigma_o + \mu_{pl} \dot{\gamma} \quad (\text{Zeki, 2013; Qixin y Daubert, 2013}).$$

Fluidos Plásticos Bingham ($\sigma_o > 0, n=1, K = \mu_{pl}$). Estos fluidos tienen una tensión de fluencia y la curva parece ser una línea recta en un reograma, similar a los fluidos newtonianos. Sin embargo, el origen de la curva (tensión de fluencia) es mayor que cero. El símbolo utilizado para describir esta linealidad se llama la viscosidad plástica (μ_{pl}), y el modelo Herschel-Bulkley se reescribe como: $\sigma = \sigma_o + \mu_{pl} \dot{\gamma}$

Fluidos Herschel-Bulkley ($\sigma_o > 0, \infty > 1, n > 0, K > 0$). Estos líquidos también tienen un límite elástico, pero a diferencia de los fluidos plásticos de Bingham, la curva no parece ser una línea recta en un reograma. En lugar de ello, la curva tiene una apariencia similar a la de un fluido pseudo-plástico a una tensión mayor que la tensión de cizallamiento.

$$\sigma = \sigma_o + K(\dot{\gamma})^n \text{ (Zeki , 2013; Qixin y Daubert, 2013).}$$

2.7. MEDICIONES REOLOGÍCAS.

Qixin y Daubert (2013) mencionan que la reología es la deformación de la materia, es importante comprender la escala de tiempo en que ocurre esta deformación. Una silicona, polimero inorganico es un ejemplo de por qué debe incorporarse la escala temporal de la deformación en la descripción de las propiedades del material. Si una bola de masilla es colocada sobre una mesa (en una escala de tiempo largo), lentamente se aplanará la bola, es decir, fluye bajo la fuerza gravitacional como un material viscoso. Sin embargo, si esta bola es lanzada contra una pared (en un plazo de tiempo corto), rebota como una pelota de goma elástica, es decir, se comporta como un material elástico. Por lo tanto, los tiempos de procesamiento de alimentos y operaciones unitarias y las de consumo (tratamiento oral) deben ser consideradas junto con las propiedades del material durante el desarrollo de procesos y productos. El número de Deborah (De) parámetro adimensional, es muy utilizado para comparar el tiempo para que un material pueda ajustarse a una deformación, es decir, tiempo de relajación (t), el tiempo característico de un proceso de deformación (T): $De=t/T$. Un número pequeño de Deborah ($De \ll 1$) indica que un material se comporta como un líquido cuando T es mucho más grande que t . El mismo material puede comportarse como un sólido en un gran número de Deborah ($De \gg 1$, es decir, $T \ll t$).

A partir de la Segunda Guerra Mundial aparecieron modelos matemáticos que explicaban la variación del módulo de rigidez con el esfuerzo de corte, así como la viscosidad dependía del tiempo (Tixotropía y Reopexía), y se profundizó en que los materiales reales podrían presentar comportamiento viscoso, elástico o una combinación de ambos.

En general la ecuación que describe al fluido no Newtoniano es el modelo Herschel-Bulkey:

$\sigma = k(\dot{\gamma})^n + \sigma_o$, este modelo es apropiado para muchos fluidos (Steffe 1992), sus características y aplicaciones se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Índices de consistencia para diferentes fluidos según el modelo de Herschel-Bulkley.

Fluido	K	n	σ_0	Ejemplos típicos
Herschel-Bulkley	>0	$0 < n < \infty$	>0	Pasta de pescado desmenuzado
Newtoniano	>0	1	0	Agua, jugos de frutas, leche, miel aceite de vegetales.
Pseudoplástico	>0	$0 < n < 1$	0	Puré de manzana, puré de plátano, jugo de naranja concentrado
Dilatantes	>0	$0 < n < \infty$	0	Algunos tipos de miel, dispersión de almidón de maíz al 40 %.
Plásticos Bingham	>0	1	>0	Pasta dental, pasta de tomate.

Fuente: Steffe (1992).

Existen diferentes modelos que describen el comportamiento de los fluidos independientes del tiempo, como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Ecuaciones que describen el comportamiento reológico de los fluidos independientes del tiempo.

Denominación	Ecuación	Notas
Ley de Newton	$\sigma = \eta \dot{\gamma}$	1 parámetro
Modelo de Bingham	$\sigma = \eta_{pl} \dot{\gamma} + C$	2 parámetros
Modelo de Ostwald de Waele Nutiting o ley de la potencia.	$\sigma = k(\dot{\gamma})^n$	2 parámetros
Herschel-Bulkley Ley de la Potencia Modificada	$\sigma = k(\dot{\gamma})^n + c$	3 parámetros
Modelo de Casson	$\sigma^{0,5} = k_1 + k_2 \eta (\dot{\gamma})^{0,5}$	3 parámetros
Ecuación de Casson Modificado	$\sigma^{0,5} = k_1'' + k_2'' \eta (\dot{\gamma})^m$	3 parámetros
Ecuación de Elson	$\sigma = \mu \dot{\gamma} + B \sinh^{-1} + \sigma_o$	3 parámetros
Modelo de Vocadlo	$\tau = (\tau_o^{1/n} + K \dot{\gamma})^n$	3 parámetros
Modelo de Shangraw	$\sigma = a \dot{\gamma} + b(1 - \exp(-c \dot{\gamma}))$	2 parámetros
Modelo de Ellis	$\tau = \frac{\eta}{1 + \frac{(\tau_o)}{(\tau_{1/2})}} \dot{\gamma}$	2 parámetros
Modelo generalizado	$\gamma = \frac{\eta_o}{\eta} \left[\frac{1 + \left(\frac{\tau_{rz}}{\tau_m} \right)^{\alpha-1}}{1 + \left(\frac{\tau_{rz}}{\tau_m} \right)^{\alpha-1} \frac{\eta_\infty}{\eta_o}} \right]$	4 parámetros
Modelo de Sutterby	$\tau_{rz} = -\mu \left[\frac{\arcsen \beta \dot{\gamma}}{\beta \dot{\gamma}} \right]^a \dot{\gamma}$	3 parámetros
Ley de la Potencia	$\tau_{rz} = -\mu \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_o} \right]^{n-1} \dot{\gamma}$	3 parámetros
Modelo de Williamson	$\tau = A \left[\frac{\dot{\gamma}}{B + \dot{\gamma}} \right] + \mu_\infty \dot{\gamma}$	3 parámetros
Modelo de Sisko	$\tau = A \dot{\gamma} + B \dot{\gamma}^n$	3 parámetros

Fuente: Qixin y Daubert (2013) y Steffe (1992).

Donde:

K_1 , K_2 y K_3 y n_1 , n_2 son constantes arbitrarias e índices de potencia respectivamente.

Silva (2013) menciona que la viscosidad cinemática de los sistemas acuosos de los hidrocoloides disminuye exponencialmente con la temperatura y aumenta con la concentración (exponencialmente para la goma guar y linealmente para la goma tragacanto y la metilcelulosa). Esta propiedad varía para el guar y el tragacanto entre $0,5$ y $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ y entre $0,5$ y $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para la metilcelulosa en los rangos de concentración (10; 7,5; 5; 1 g/L y temperaturas de 25 a 65 °C. Se han establecido correlaciones satisfactorias entre la viscosidad cinemática, la concentración y la temperatura simultáneamente. Los sistemas de las gomas tragacanto y guar experimentan variaciones de la viscosidad aparente con el transcurso del tiempo. La goma guar disminuye la viscosidad durante los primeros 20 días, mientras que el tragacanto lo hace a partir de los primeros 15 días, también se observan durante el proceso cambios en el carácter viscoelástico durante el almacenamiento. El análisis comparativo entre los datos a tiempo cero y a tiempos más largos indican que en el caso de la goma guar la frecuencia de entrecruzamiento aumenta de 5,2 a 17,6 rad s^{-1} (a 37 días) y disminuye para la goma tragacanto desde 38,4 a 20,9 rad s^{-1} (a 47 días).

El efecto de la temperatura sobre la magnitud de la viscosidad, así como sobre los parámetros reológicos ha sido analizado observándose que a medida que aumenta la temperatura a la que se sometía a las distintas muestras, la viscosidad disminuía de manera apreciable, este mismo comportamiento fue observado para el índice de consistencia, pero en cambio, para el índice de comportamiento al flujo aumenta cuanto mayor es la temperatura del estudio, acercándose cada vez más a la unidad (correspondiente a un fluido Newtoniano) (Quintáns, 2008).

La producción de gomas por fermentación de las *Xanthomonas campestris* es una buena fuente de hidrocoloide y puede ser utilizada para la producción de goma en la escala industrial. Goma xantan mostró comportamiento pseudoplástico, la viscosidad aparente disminuyó con el aumento de la velocidad de cizallamiento (Ebubekir *et al.*, 2013).

Mahmut *et al.* (2007) en el estudio de las características reológicas de algunos hidrocoloides alimenticios procesados con irradiación gamma, determinó que la viscosidad

y la consistencia de soluciones disminuyó con el aumento de la dosis de radiación. Particularmente la goma guar fue muy sensible a la irradiación ya que sus propiedades reológicas fueron significativamente afectada. Sin embargo, las características reológicas de las soluciones de pectina y de almidones de tubérculos secos de orquideas, no cambiaron mucho con la irradiación; por lo tanto, pueden ser irradiados con fines de conservación. Nuevos esfuerzos de investigación deben ampliarse para el posible uso del proceso de irradiación para diversos hidrocoloides.

Aihui *et al.* (2011) en el estudio de las propiedades reológicas de Salecan como una nueva fuente de agente espesante, determinó que a medida que aumenta la concentración de solución de Salecan aumentó el coeficiente de consistencia K y disminuyó el índice de comportamiento de flujo “n”.

Hosseini-Parvar *et al.* (2010) estudió el comportamiento del flujo de la goma extraída de la semilla albaca *Ocimum basilicum L.* en el efecto de la concentración entre 0,5% y 2% (peso / peso) y temperaturas de 5 - 85 ° C, donde se determinó un comportamiento pseudoplástico en todas las concentraciones y temperaturas. El modelo Herschel-Bulkley fue empleado para caracterizar el comportamiento de flujo de las soluciones de la goma de la semilla de albaca desde 0,1 hasta 1000 s⁻¹ de velocidad de deformación, la pseudoplasticidad aumentó notablemente con la concentración. El comportamiento de flujo de 1% indicó una mayor viscosidad de esta goma a velocidades de deformaciones bajas en comparación con xantano, konjac y goma guar a una concentración similar. La energía de activación del flujo de la goma extraída de la semilla albaca se cuantificó usando la ecuación de Arrhenius la cual aumentó de $4,9 \times 10^3$ a $8,0 \times 10^3$ J mol⁻¹ cuando la concentración cambio de 0,5% a 2% (peso/peso), esto indicó una naturaleza resistente al calor del flujo de la goma extraída de la semilla albaca. El esfuerzo de fluencia estático era evidente entre las tasas de cizallamiento 0,001 a 0,1 s⁻¹ (9,98 Pa a 1% goma extraída de la semilla albaca a 20 °C). La existencia de la tensión de fluencia, de alta viscosidad a bajas velocidades de cizallamiento y el comportamiento pseudoplástico de BSG lo convierten en un buen estabilizador en algunas formulaciones de alimentos tales como mayonesa y aderezo de ensalada.

Koocheki *et al.* (2009) estudiaron las propiedades reológicas de mucílago extraído de la semilla *homolocarpum Alyssum* como una nueva fuente de agente espesante. Concluyeron, que la viscosidad aparente varía de acuerdo a la variación del pH, la viscosidad más alta se obtuvo a pH de 9 y la más baja a pH de 3, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los valores de pH de cinco a nueve. La viscosidad aparente se

redujo con la adición de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ($<0,01$ M) y Mg^{2+} ($<0,039$ M), mientras que aumentó con la adición de Ca^{2+} y Mg^{2+} a una concentración superior a $0,01$ M y $0,039$ M, respectivamente. Un aumento en la concentración fue acompañado con un aumento de pseudoplasticidad (k aumentó y n en disminuyó).

Cevoli *et al.* (2013) evaluaron las propiedades reológicas empíricas y fundamentales de seis dispersiones diferentes de hidrocoloides en agua como son carboximetilcelulosa (CMC), goma de tara (TG), goma guar (GG), goma de algarrobo (LBG), goma de xantano (XG) y un hidrocoloide gelificante, el alginato de sodio (AS), a diferentes concentraciones, que se utilizan en la preparación de alimentos. Todos los parámetros medidos mostraron una fuerte correlación con la concentración de la dispersión. La firmeza, consistencia, índice de viscosidad y cohesividad, medido por el reómetro, obedece al modelo de la Ley de la Potencia con un R^2 que van desde $0,966$ hasta $0,993$. El límite elástico, el coeficiente de consistencia y el índice n de las curvas de flujo y los métodos de Ostwald de Waele y Herschel-Bulkley mostraron valores modelo R^2 $0,911$ hasta $0,998$. El modelo de Ley de Potencia mostró el más alto coeficiente R^2 de determinación para todos los hidrocoloides, a excepción de la goma de xantano. Los datos de voltaje, obtenidos por el prototipo de viscosímetro rotacional, están altamente correlacionados con la concentración a través de una función de ley de potencia (R^2 $0,933$ hasta $0,999$). Este simple prototipo resultó ser capaz de predecir los parámetros empíricos con valor de R^2 $0,976$ - $0,999$ por medio de funciones lineales o exponenciales (ley de potencia), dependiendo de la hidrocoloide analizado. El prototipo también fue capaz de evaluar la viscosidad mediante la Ley de Potencia con R^2 cerca a 1 para la velocidad de deformación mayores de 50 s^{-1} . La correlación entre la viscosidad y los parámetros empíricos se caracterizó por R^2 $0,981$ - $0,999$. En conclusión, el prototipo sugerido pareció ser una herramienta útil y de bajo costo, con la capacidad de medir una tensión, correlacionada con la corriente eléctrica absorbida, en lugar de una velocidad de torsión y la rotación del cilindro.

Ortega (2008) menciona que los modelos de Newton y de Carreau-Yasuda son útiles para determinar el comportamiento newtoniano o no newtoniano de las disoluciones de alquilpoliglucósidos y alcoholes grasos etoxilados. Atendiendo a la evolución del parámetro β de la ecuación de Carreau-Yasuda y al ajuste de las curvas viscosidad velocidad de cizalla puede definirse el tipo de comportamiento reológico. El comportamiento reológico puede relacionarse con las fases presentes en el sistema tensioactivo-agua a través del diagrama de fases concentración-temperatura.

Perduca (2008) investigaron a la goma espina corona extraída de semillas de la leguminosa espina corona (*Gleditsia amorphoides*) utilizada como aditivo en la industria alimenticia y farmacológica. Su composición química corresponde a un galactomanano con una relación 2,5 M/G (manosa/galactosa). Esta relación es cercana a la goma Guar (2,0 M/G). Existe información científica sobre esta goma, pero no se ha encontrado una profundización de las investigaciones sobre la reología de la misma. Se realizó la caracterización reológica de productos purificados por distintos métodos y en comparación a la goma guar, el cual incluyo: modelo reológico de respuesta por test rotacionales (Haake RS 80), determinaciones de viscosidad en distintas condiciones de concentración, temperatura, acidez y concentraciones de NaCl. Los resultados experimentales mostraron que la viscosidad responde al modelo de ley de potencia y depende del método de purificación. La viscosidad y la pseudoplasticidad de las soluciones de esta goma disminuyen con la temperatura; mientras que la presencia de NaCl y la acidez no los afecta. En comparación con la goma guar a igual concentración los valores de viscosidad son menores.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional Agraria La Molina UNALM en la Planta Piloto de Frutas y Hortalizas y en la Universidad Nacional Agraria de la Selva UNAS en los laboratorios de Ingeniería y Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

3.2 MATERIALES.

Materia prima. La población en estudio fueron las algas (*Nostoc sphaericum* V.) de la Laguna de Patococha ubicada en el distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash, se obtuvieron de la rívera de la laguna mencionada, en cinco submuestras con un peso promedio de 11 kg (4 de ellas y una submuestra de 10 kg), seleccionados con diámetros mayores a 1,5 centímetros. La muestra total se traslado en bolsas de polietileno de baja densidad para sus respectivos análisis.

Materiales. Los materiales utilizados en los laboratorios fueron: tubos de ensayo de 10 mL, fioles de 10, 25 y 50 mL, matraz de 100, 500 y 800 mL, pipetas de 0,5 ; 1; 2; 3; 4; y 5 mL, tubos de ensayo de 10 mL, papel de filtro Wathman # 42, vasos de precipitación, pipetas y micropipetas, desecadores de vidrio y crisoles

Reactivos. Se utilizaron los siguientes reactivos: hidróxido de sodio al 0,1 N, ácido sulfúrico QP, ácido nítrico QP, ácido clorhídrico 10 % y 50%, óxido de lantano 0,1 %, agua bidestilada, alcohol etílico, cloruro de potasio, azul de metileno.

Equipos. Se utilizaron los siguientes equipos: secador de túnel; espectrofotómetro de luz visible, modelo 20 D (Milton Roy Company, New York, USA); compresora General Electric modelo 5HCD-73M-500X. made in USA; balanza analítica Ohaus Electronic, modelo 6160, capacidad de 500 g con aproximación de 0,0002 g USA; centrífuga, Fedellel Centrifugalny Tylos, modelo NYITOT, capacidad de 3000 rpm made in Hungary; mufla marca Heraeus, type 170, Hasta 1000 °C, 220 V. USA; viscosímetro rotacional de Brookfiel modelo DV-III; Liofilizador, marca Labotec modelo 01JL/12FD; digestor de proteínas;

equipo de soxhlet de laboratorio; Equipo de baño maría; cocina con termostato; refrigerador; termómetro y congelador.

3.3 MÉTODOS DE ANÁLISIS.

Para la materia prima se realizaron los siguientes análisis:

- Determinación de humedad, método utilizando estufa a presión de vacío, según la AOAC (2002), código 925.10.
- Determinación de grasa, una cantidad previamente homogenizada, seca y pesada de la muestra se sometió a una extracción con éter etílico, libre de peróxidos o mezcla de ambos. Posteriormente, se realizó la extracción total de la materia grasa libre por soxhlet, según AOAC (2002), código 969.24.
- Determinación de proteína, método de Kjeldahl, se caracteriza por el uso de ebullición del ácido sulfúrico concentrado que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco, el amonio es retenido como bisulfato de amonio y se determinó por destilación alcalina y titulación, según AOAC (2002), código 976.05.
- Determinación de fibra, se fundamenta este método en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda
- Determinación de ceniza, esta técnica se realizó mediante el uso de una mufla a temperaturas de 500 °C, el agua y los vapores son volatilizados y la materia orgánica es quemada en presencia de oxígeno en el aire, según AOAC (2002), código 942.05.
- Determinación de calcio y magnesio. Se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica recomendado por AOAC (2002).
- Determinación de sodio, potasio, hierro, cobre, zinc y manganeso. Según el método de la AOAC (2002) por espectrofotometría de absorción atómica.
- Para la determinación del fósforo se utilizó el método citado por AOAC (2002). El método se fundamenta en reconocer la naturaleza del compuesto cromógeno amarillo, pero el color se atribuye a la sustitución de los átomos del oxígeno del radical P⁻ por radicales de oxivanadio y oximolibdeno, para dar un heteropolícompuesto que es cromógeno. Según el método de la AOAC (2002).

3.4 ESQUEMA EXPERIMENTAL.

Para el presente trabajo de investigación se desarrolló considerando el esquema experimental como se muestra en la Figura 1. Se realizaron los análisis proximales del alga seca, luego se obtuvo el hidocoloide y posteriormente los análisis reológicos en muestras de diferentes concentraciones del hidocoloide en agua a 0,2; 0,6; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 y 2,0 % (peso/peso) a diferentes temperaturas desde 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 y 70 °C.

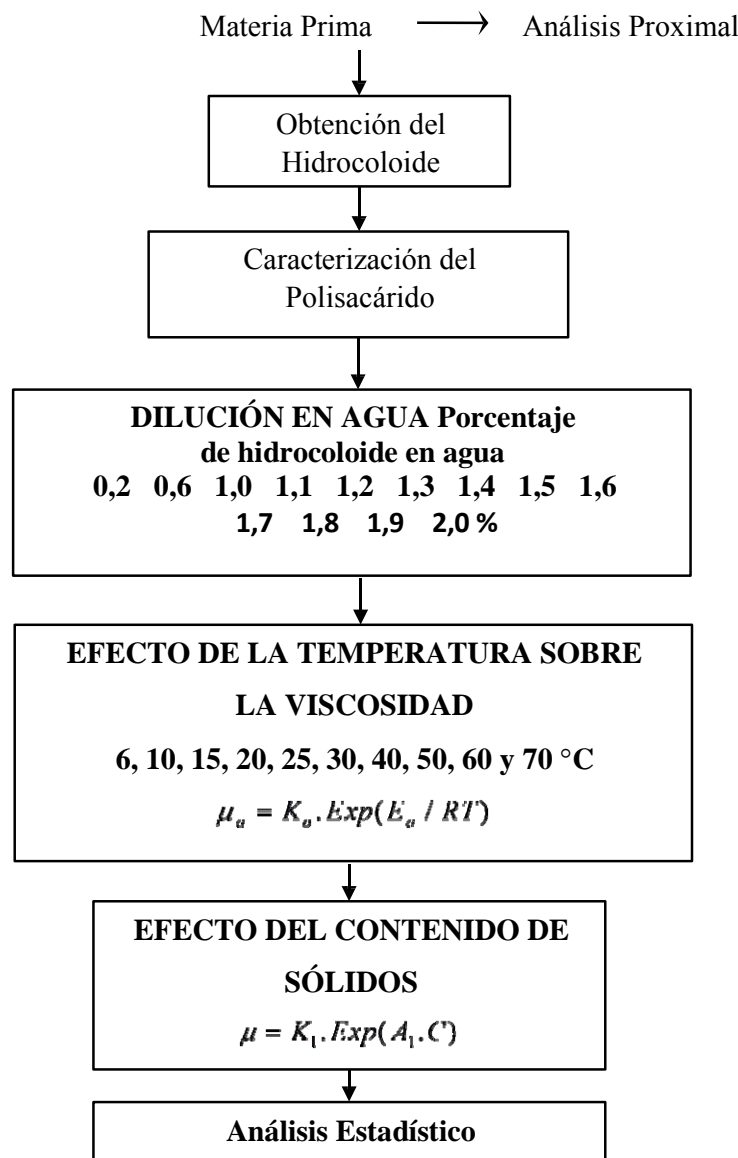


Figura 1: Esquema experimental del trabajo de investigación.

3.5. OBTENCIÓN DEL HIDROCOLOIDE.

Para la obtención del hidrocóloide del Nostoc se siguieron según el flujo modificado por Pereira *et al.* (2009), Vipul *et al.* (2014) y Rodríguez *et al.* (2003), que se muestra en la Figura 2:

- **Recolección.** Se recolectaron 54 kilogramos de nostoc de la laguna de Patococha ubicada a una altitud de 4130 m.s.n.m. en el distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash, estas muestras no probabilísticas fueron tomadas aproximadamente a un metro al borde de la laguna.
- **Selección.** Las algas fueron seleccionadas con un diámetro mayor a 1,5 cm.
- **Lavado.** Luego de la selección las algas fueron lavadas con agua potable.
- **Secado.** Las algas fueron secadas en un secador con bandejas con aire caliente con temperatura de secado a 60 °C mediante flujo continuo a una velocidad del aire de 3 m/s con HR de 35% hasta alcanzar el 6,5 % de humedad.
- **Molienda.** Las algas secas fueron molidas en un mortero groseramente con un diámetro de malla de 4 mm.
- **Extracción en caliente.** Se procedió, según lo recomendado por Hong-Bin *et al.* (2014) y Pereira *et al.* (2009) a una temperatura de extracción en caliente de 90 °C con 30 partes de agua y una de alga seca durante seis horas (40 g de alga seca y 1200 mL de agua desionizada) con agitación.
- **Decoloración.** Para la decoloración se empleó 0,15 g de carbón activo por 70 mL de extracto del hidrocóloide con agitación por 30 minutos a 28 °C.
- **Filtración.** Luego de la extracción y decoloración del hidrocóloide la mezcla se filtró en vacío y en caliente empleando papel de filtro.
- **Concentración.** El filtrado obtenido se concentró en un rotavapor a una temperatura de ebullición de 60 °C.
- **Precipitación.** A la solución concentrada se adicionó alcohol etílico en una proporción de 2:1, dos volúmenes de alcohol por uno de extracto. Se recolectó

el decantado por filtraciones sucesivas.

- **Liofilización.** El precipitado se colocó en bandejas y se liofilizó a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una presión de sublimación de 0,004 atm, durante 24 horas.
- **Molienda.** El polisacárido seco fue molido en un mortero mecánico con mallas de 2 mm de diámetro, el producto granulado fueron almacenados en frascos de vidrio de color ámbar para su posterior análisis proximal, fisicoquímico y su comportamiento reológico.

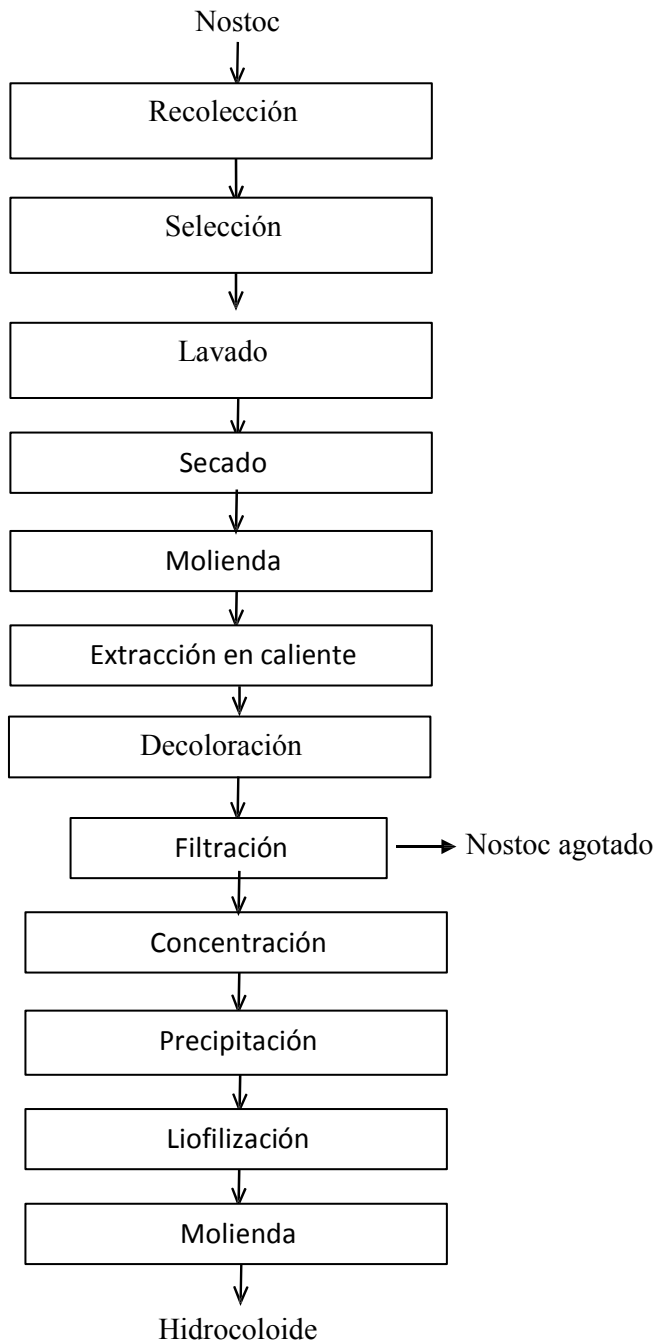


Figura 2: Flujo para la extracción del hidrocoloide del Nostoc.

3.6. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

Para la caracterización reológica del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) se utilizó un viscosímetro Brookfield modelo DV-III, adaptado a baño termostatzado, con controlador digital Modelo TC 502. Las muestras se termostatzan de acuerdo a las temperaturas $\pm 0,5$ °C. Cada muestra fue sometida a un ciclo de deformación (curvas ascendente o ida y descendente o vuelta) incrementando la velocidad cada 10 segundos variando el gradiente de velocidad. Las medidas se llevaron a cabo por triplicado. Se midió el torque para cada gradiente de velocidad. La viscosidad aparente se calculó a partir de los modelos matemáticos de Oswald, Bingahn, Casson, Casson-Modificado y Herschel-Bulkely (Ley de la Potencia). El umbral de fluencia se estimó a partir de la curva de flujo (esfuerzo vs. velocidad de deformación) extrapolando la deformación como lo describe (Ramírez, 2006). Se estudió la dependencia con el tiempo a través de la determinación de la viscosidad aparente a velocidad constante. Se selecciona la velocidad en la que se encuentre el mayor grado de histéresis, encendiendo el rotor en dicha velocidad. Se mide durante 5 minutos cada 10 s (Cevoli *et al.*, 2013).

A partir del hidrocoloide del Nostoc, se prepararon diluciones de 0,2; 0,6; 1,0; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0% (p/p) del hidrocoloide en agua. El viscosímetro se calibro con un aceite de viscosidad conocida (SAE-40 de Repsol). Las temperaturas ensayadas fueron: $5\pm 0,5$ °C, $10\pm 0,5$ °C, $15\pm 0,5$ °C, $20\pm 0,5$ °C, $25\pm 0,5$ °C, $30\pm 0,5$ °C, $35\pm 0,5$ °C, $40\pm 0,5$ °C, $50\pm 0,5$ °C, $60\pm 0,5$ °C y $70\pm 0,5$ °C. La muestra se introdujo en el sistema de medida, se mantuvo en reposo durante 10 minutos, se equilibró hasta la temperatura citada y se realizó la medida, manteniendo los cilindros en un baño de agua termostatzado.

Los cálculos de los parámetros reológicos se determinaron según Steffe (1992) y Qixin *et al.* (2013), de la siguiente manera:

Tensión de cizalla τ :

$$\tau = \frac{M}{2\pi h R_b^2}$$

$$\alpha = \frac{R_c}{R_b}$$

Deformación Newtoniana γ :

$$\gamma = (2\Omega) \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1}$$

Deformación no Newtoniana γ :

$$\gamma = \frac{2\Omega}{n} \frac{\alpha^{2/n}}{\alpha^{2/n} - 1}$$

Donde:

M = Momento del par de torsión

h = Altura del cilindro interior

R_b = Radio del cilindro interior

R_c = Radio del contenedor.

Ω = Velocidad angular

n = Índice reológico

En la Figura 3 se muestra la secuencia de las etapas en el tratamiento de datos para todos los modelos, hasta obtener finalmente la ecuación de la curva ajustada del modelo reológico que representan cada uno de los tratamientos. Para la determinación del umbral de fluencia se utilizó el método de recomendado por Silva (2010).

La ecuación que permite estudiar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad se representa mediante la ecuación de Arrhenius, mencionada por Wu *et al.* (2014).

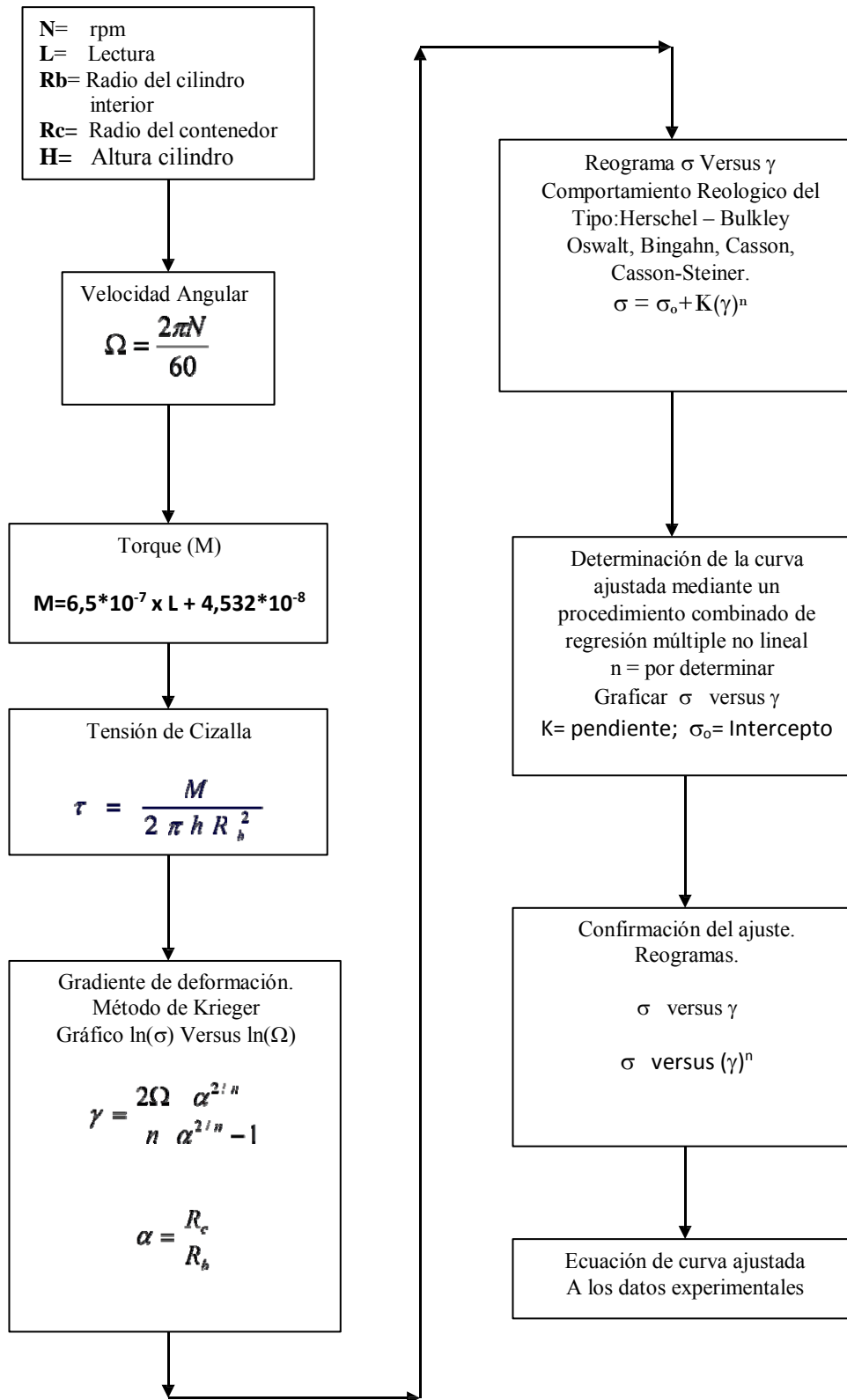


Figura 3: Diagrama de secuencia de tratamiento de datos para obtener los parámetros de los modelos.

Donde:

$$\mu_a = K_a \cdot \left(\frac{\mu_a}{T} \right)^n$$

$$\mu_a = \dots$$

$$\mu_a = \dots$$

$$\mu_a = \dots$$

$$R = \dots$$

$$T = \dots$$

Para el estudio del efecto del contenido de sólidos solubles sobre la viscosidad se utilizará el modelo exponencial mencionado por Hosseini-Parva *et al.* (2010).

$$\mu = K_1 \cdot \text{Exp}(A_1 \cdot C)$$

$K_1; A_1 = \text{Constante}$
 $C = \text{Contenido de sólidos.}$

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el análisis estadístico de la extracción del hidrocoloide se utilizará el diseño bloque completo al azar según el siguiente modelo:

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \dots$$

μ_{ij}

$$\mu = \dots$$

$\mu, \alpha, \beta, \gamma$

$$\mu_{ij} = \dots$$

M_{ij}

$$\mu_{ij} = \dots$$

$\mu_{ij} = \dots$

μ

$$\mu_{ij} = \dots$$

$\mu_{ij} = \dots$

μ_{ij}

□□□□ =

□□□□□ □□□ □□□□□□

Donde **j** varía según la temperatura (60, 70, 80 y 90 C°), e **i** desde 20, 30 y 40 partes de agua por una parte de alga seca.

Los resultados experimentales de la variación de la viscosidad con la concentración fueron ajustadas mediante un diseño completo al azar con arreglo factorial de 3X_ix5Y_jxZ, usando.

Según el modelo:

$$Y_i = \alpha + bX_i + \varepsilon, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N$$

i= toma de datos

La significación de los coeficientes de la ecuación de regresión fueron contrastados con la prueba de T, rechazándose aquellas variables cuyos coeficientes no difieren significativamente de cero para $\alpha=0,05$.

Del mismo modo se realizarán análisis estadísticos (Cuadro 9) para determinar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad, así como el efecto de los sólidos sobre la viscosidad.

Cuadro 9: Análisis de varianza para determinar el efecto de la temperatura y la concentración en la viscosidad aparente del hidrocoloide del Nostoc.

Efectos principales	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	pRazón-F	Valor-P
A:Modelo Reológico	SC por efecto del modelo reologico				
B:Temperatura	SC por efecto de la temperatura				
Residuos					
Total (corregido)					

Las diferencias significativas se realizarán mediante las pruebas de Tukey.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MATERIA PRIMA

La población esta constituida por las algas de la laguna de Patococha con una dimensión aproximada de 320 m² ubicada a una altitud de 4130 m.s.n.m. en el distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash, teniéndose como información referencial de su ubicación el punto georeferenciado: Zona 18L y coordenadas 0246891 E y 8905806 N en el sistema Datum PSad56. La nuestra recolectada de algas frescas de 54 kg en bidones.

Los resultados de las características químicas del nostoc (*Nostoc sphaericum* V.) al estado fresco se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Características químicas del alga (*Nostoc sphaericum*, V.) al estado fresco.

COMPONENTES	PORCENTAJE % b.h.
	Promedio \pm Des. Est n=7
Humedad	97,59 \pm 0,12
Proteína	1,15 \pm 7,2*10 ⁻⁴
Ceniza	0,12 \pm 7,2*10 ⁻³
Fibra	0,01 \pm 5,7*10 ⁻⁵
Grasa	0,30 \pm 1,5*10 ⁻³
Carbohidratos	0,83 \pm 2,08*10 ⁻³

4.1.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD Y CONTENIDO DE CENIZAS.

En esta investigación, el alga (*Nostoc sphaericum*, V.) al estado fresco tuvo un 97,59 % de humedad, la cual se ubica entre los organismos con mayor contenido de agua. Otras cianobacterias como *Synechococcus elongatus*, *Oscillatoria* sp. y *Limnothrix amphigranulata* han determinado un porcentaje promedio de humedad de entre 99,90% y 99,50%; también la *Oscillatoria limnetica*, *Spirulina* sp., y *Lyngbya majuscula* presentan porcentajes de humedad entre 81,5% y 84,7%, según Torres *et al.* (2012) que a pesar de ser mayores a otros organismos procariotas es considerablemente más bajo que el reportado para microorganismos de su misma especie. El porcentaje de humedad alto es común a cianobacterias de ambientes terrestres y tiene relación directa con la producción de algún

tipo de exopolisacárido, que funciona como reservorio de humedad permitiéndole sobrevivir en condiciones secas. Los exopolisacáridos producidos por microorganismos son sustancias poliméricas extracelulares de origen biológico que participan en la formación de agregados microbianos y comprende las denominaciones polisacáridos extracelulares, exopolisacáridos y exopolímeros (Trabelsi *et al.*, 2009). Núñez y Mendoza (2006) estudiaron el efecto de la ingestión de *Nostoc sphaericum*, V “cushuro” en ratas, encontró un 96,98% de humedad en muestras que fueron recolectadas de Huaraz, mientras Villavicencio *et al.* (2007) en el trabajo e investigación efectos nutritivos del nostoc (cushuro) en los niños desnutridos de 1 a 3 años del distrito de Amarilis departamento de Huánuco encontró un 98,00% de humedad, variación que depende del medio ambiente donde se desarrolla, dependiendo de la latitud y de la altura y de los cambios meteorológicos a lo largo del año.

El porcentaje de cenizas encontrados en el presente estudio en *Nostoc sphaericum*, V fue de 0,12 %, resultado comparativamente baja con respecto a lo obtenido por Villavicencio *et al.* (2008) que fue de 0,22 %.

4.1.2 CONTENIDO DE PROTEÍNA.

En el presente estudio, el porcentaje de proteína obtenido para el alga (*Nostoc sphaericum*, V.) fue de aproximadamente a 1,15 % en base húmeda y 47,71 % en base seca total del alga; Lopez *et al.* (2010) determina para *Synechococcus sp.* *Spirulina platensis*, *Anabaena cylindrica* y *Arthospira sp.* entre el 45% y 63% de proteína respectivamente en base seca, mientras que especies como *Spyrogira sp.* y *Synechocystis sp.* solo poseen entre 6% y 20% de proteína en base seca. Núñez y Mendoza (2006) encuentra un 0,17% en base húmeda de proteína para el *Nostoc sphaericum*, V , mientras que Zongjie *et al.* (2011) reporta 30,45 % en base seca, estas diferencias entre los contenidos de proteínas nos indican que entre las cianobacterias su contenido de proteínas es muy variable, debido a que estas especies tienen diferentes medios de crecimiento como la altura y temperatura de crecimiento. Becker (2007) en su estudio del contenido proteínas en las algas concluye que las especies como *Spirulina platensis* y *Arthospira maximos* tienen un 46-63% y 60-71 % respectivamente de proteína y por lo cual se les considera como una fuente proteica potencial para consumo humano y animal. En la determinación del porcentaje de proteína es válido aclarar que muchos de los reportes generados para microalgas realizan la cuantificación de proteína por determinación del nitrógeno total; dicho método puede generar sobreestimación de la cantidad de proteína existente, en especial en cianobacterias ya que la cantidad de ácidos nucleicos y otros compuestos como aminoazúcares es mayor y aporta

considerablemente al nitrógeno total cuantificado.

4.1.3 CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS.

El contenido de carbohidratos obtenidos en la especie (*Nostoc sphaericum*, V.) fue 0,83 % en base húmeda (bh) correspondiendo un 34,4 % en base seca, Zongjie *et al.* (2011) y Ponce (2014) determinaron en la misma especie un 59 % y 62,4 % de polisacáridos en materia seca respectivamente en diferentes continentes. Tradicionalmente, algunas especies de Nostoc , incluyendo *N. sphaericum* V. , se han utilizado en China como fuente de alimento, su polisacárido desempeña importantes funciones en la protección de la propia cianobacteria a la desecación extrema y alta radiación (Li *et al.* 2011). En muchas especies del genero Nostoc se ha estudiado la formación de una capa mucilaginosa extracelular que corresponde a gran parte de los carbohidratos contenidos por el alga y que puede ser excretada al medio de cultivo a nivel de laboratorio o contenida totalmente en forma de las capas exocelulares. A pesar de que la gran mayoría de Nostoc tienen capacidad formadora de mucílago gracias a su origen terrestre o de ambientes extremadamente secos, solo algunas especies excretan parte del polisacáridos al medio para modificar las propiedades del mismo, Zongjie *et al.* (2011)

En el Cuadro 11, se muestra las características fisicoquímicas del alga (*Nostoc sphaericum*, V.), Villavicencio *et al.* 2007 califica al nostoc como un alimento muy nutritivo y esencial, contiene; agua 96,98%, proteína cruda 0,90%, lípidos 0,07%, ceniza 0,22%, fósforo 25 ppm., calcio 745 ppm.

Cuadro 11: Composición de minerales del nostoc en base seca.

Constituyente	Porcentaje %
Nitrógeno	15,02
Sulfatos	14,02
Calcio	1,24
Magnesio	0,78
Sodio	0,12
Potasio	0,02
Yodo	0,87
Cloruros	0,15
Fosforo	0,18

4.2 EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL HIDROCOLOIDE PRODUCIDO POR EL ALGA (*Nostoc sphaericum*, V.)

En la etapa final de la extracción del polisacárido por precipitación con etanol se distingue fácilmente en la solución la precipitación que tiene una apariencia viscosa de color blanco no translucido. Al liofilizador ingreso 450,2 g de extracto precipitado con un contenido de 65,5 % de humedad, se congelo a -5 °C antes de entrar al liofilizador repartidos en tres platos, la temperatura fue de -40°C, la presión de sublimación fue de 0,004 atm, se obtuvo 162,74 g de hidrocoloide liofilizado. El hidrocoloide hidrolizado presenta una coloración blanca con rasgos de color verde claro indicando la presencia de pigmentos que no se pudieron extraer, tiene una estructura esponjosa porosa, al tacto presenta sensación a goma, representa el 0,81 % del alga al estado fresco.

4.2.1. CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS, ÁCIDOS URÓNICOS Y CENIZAS DEL HIDROCOLOIDE EXTRAÍDO DEL ALGA (*Nostoc sphaericum*, V.)

En el Cuadro 12 se observa que el hidrocoloide liofilizado del alga (*Nostoc sphaericum*, V.) contiene 85,54% ± 0,34% de polisacáridos, 9,19% ± 0,67% de ácidos urónicos, 4,56% ± 0,32% de humedad y 0,71% ± 0,25 % de cenizas.

Cuadro 12: Composición del hidrocoloide liofilizado extraído del *Nostoc sphaericum*, V .

COMPONENTE	PORCENTAJE
	Promedio ± Des. Estándar n=3
Carbohidratos totales	85,54% ± 0,34%
Ácidos urónicos	9,19% ± 0,67%
Humedad	4,56% ± 0,32%
Cenizas	0,71% ± 0,25 %

Estudios realizados por Richert *et al.* (2005) en seis cianobacterias muestran que los carbohidratos representan entre el 84% y 57% mientras que Mota *et al.* (2013) determinó a 21 días de crecimiento de la *Cyanothece sp.* CCY 0110 en laboratorio encontrando 7,7±

0,13% de carbohiratos en peso seco, mientras que en los 42 días fue sólo $1,7 \pm 0,20\%$. En el caso del alga (*Nostoc sphaericum*, V.) los carbohidratos totales del hidrocoloide fueron de 85,54 % valor que se encuentra dentro del rango encontrado por los otros investigadores.

Jensen *et al.* (2013) y Herrera (2012) mencionan que los exopolisacaridos juega un rol importante en la estabilización de las células durante el secado por aire, inhibiendo la fusión de la membrana vesicular durante la desecación y actuando como un inmovilizador de la matriz por la secreción de sus enzimas, manteniendo completamente activo la actividad celular después de haber sido expuesto a la intemperie almacenado por un largo plazo. Por lo tanto, el alga (*Nostoc sphaericum*, V.) puede resistir la desecación extrema y fácilmente restaurar la actividad metabólica después de la rehidratación.

En la Figura 4, se observa el alga (*Nostoc sphaericum*, V.) al estado natural con su respectivo hidrocoloide liofilizado, posee una coloración verde clara que confirma la presencia de algunos pigmentos apesar de los tratamientos previos de remoción de los mismos; tiene una estructura porosa, baja densidad y apariencia y tacto esponjosos.

Mota *et al.* (2013) menciona que otras características notables de estos polímeros son la presencia de dos ácidos urónicos, el glucurónico y el galacturónico, que confieren una alta afinidad por moléculas cargadas positivamente (por ejemplo, cationes de metales) y la presencia de desoxihexasas (22%), lo que aumenta la hidrofobicidad del polímero. Estos porcentajes son similares a los valores observados previamente en las polisacáridos del *Gloeotheca sp.* PCC 6909 (13% y 11% de ácidos urónicos y desoxihexasas,



Figura 4: *Nostoc sphaericum*, V. al estado natural y su hidrocoloide liofilizado.

respectivamente). En el presente estudio se encontró un $9,19\% \pm 0,67\%$ de ácidos urónicos valor encontrado por encima de los reportados por otras especies.

El 14,87% de ácidos urónicos en el polisacárido de *Nostoc sphaericum* V. muestra que esta cepa expresa igualmente la característica de inclusión de derivados ácidos de azúcares en la estructura de los polímeros exocelulares, lo que le confiere ventajas en posibles aplicaciones industriales alternas gracias a que la presencia de grupos cargados de naturaleza aniónica puede aumentar la capacidad de quelación de iones y retención de humedad (De Philippis *et al.*, 2000).

4.3 ANALISIS REOLÓGICO

En el Cuadro 13, se presentan los resultados de los análisis reológicos a 0,2% de concentración del polisacárido a temperaturas de 6 °C, 10 °C, 15 °C; a 0,6 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C; a 1,0 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,1 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,2 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,3 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,4 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,5 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,6 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,7 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,8 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 1,9 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C; a 2,0 % de concentración del polisacárido a temperaturas de 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C. También se observa los valores del índice del comportamiento reológico (n), índice de consistencia (K), Umbral de fluencia t_0 (N/m^2) y r^2 para los modelos Oswald, Casson modificado y Herschel-Bulkely.

De los cinco modelos desarrollados, Oswald, Bingham, Casson, Casson-Modificado y Herschel-Bulkely (Ley de la Potencia), solo los modelos de Ley de la Potencia y Oswald, son los que se ajustan a las condiciones experimentales del presente trabajo de investigación, debido a que al variar las concentraciones del hidrocoloide en solución y elevar las temperaturas, los valores de n y k varían así como lo muestra los modelos de Herschel-Bulkely (Ley de la Potencia) y Oswald, no ocurriendo así en los modelos de Bingham,

Cuadro 13: Parámetros reológicos del polisacárido en función de la temperatura y la concentración.

Concentración del polisacárido al 0,20%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t ₀ (Pa ^{0,5})	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t ₀ (Pa)	r ² (adim)
6	1,146	0,037	0,999	0,5	3,805	0,272	0,999	1,180	0,000513943	0,01324242	0,99849
10	1,185	0,030	0,995	0,5	3,955	0,371	0,998	1,237	0,00031238	0,01637188	0,99321
15	1,230	0,024	1,000	0,5	4,002	0,642	0,999	1,341	0,000137113	0,02812609	0,99951
Concentración del polisacárido al 0,60%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t ₀ (Pa ^{0,5})	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t ₀ (Pa)	r ² (adim)
6	1,147	0,041	0,989	0,5	3,396	0,558	0,989	1,21	0,0004542	0,03018442	0,99261
10	1,171	0,038	0,992	0,5	3,348	0,674	0,988	1,26	0,0003283	0,03753218	0,99554
15	1,190	0,033	0,960	0,5	3,276	1,140	0,970	1,34	0,0001606	0,05788570	0,9699
20	1,281	0,023	0,995	0,5	3,511	1,092	0,992	1,53	0,0000428	0,05889344	0,99981
Concentración del polisacárido al 1,00%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t ₀ (Pa ^{0,5})	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t ₀ (Pa)	r ² (adim)
27	1,066	0,106	0,999	0,5	2,636	0,088	0,998	1,07	0,00217837	0,00880651	0,99892
35	1,147	0,061	0,956	0,5	2,653	0,633	0,977	1,29	0,00036659	0,05277733	0,96838
40	1,203	0,047	0,969	0,5	2,753	0,798	0,981	1,44	0,00012537	0,06409481	0,98386
50	1,326	0,029	0,997	0,5	2,875	1,339	0,989	1,76	0,00001227	0,10671736	0,9946
60	1,357	0,022	0,998	0,5	3,093	1,433	0,991	1,96	0,00000273	0,10049078	0,98453
70	1,376	0,018	0,953	0,5	3,201	1,872	0,977	2,28	0,00000024	0,11180362	0,98105
Concentración del polisacárido al 1,10%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t ₀ (Pa ^{0,5})	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t ₀ (Pa)	r ² (adim)
27	0,949	0,169	0,987	0,5	2,588	0,000	0,994	0,95	0,0058721	0,00024179	0,98661
35	1,087	0,078	0,991	0,5	2,781	0,262	0,987	1,13	0,0011642	0,02073793	0,99348
40	1,092	0,069	0,988	0,5	2,909	0,322	0,987	1,14	0,0010639	0,02232384	0,99136
50	1,206	0,040	0,994	0,5	3,103	0,759	0,992	1,32	0,0002412	0,05159267	0,99777
60	1,304	0,029	0,996	0,5	3,021	1,178	0,988	1,63	0,0000302	0,08277996	0,9861
70	1,227	0,028	0,983	0,5	3,450	0,972	0,987	1,39	0,0001160	0,05148261	0,99011
Concentración del polisacárido al 1,20%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t ₀ (Pa ^{0,5})	r ² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t ₀ (Pa)	r ² (adim)
27	0,838	0,250	0,981	0,5	2,668	0,206	0,995	0,85	0,01208086	0,02304307	0,98233
35	1,247	0,055	0,987	0,5	2,483	0,672	0,991	1,52	0,00009203	0,07438829	0,997
40	1,066	0,057	0,966	0,5	3,241	0,341	0,977	1,11	0,00100701	0,0166149	0,96958
50	1,295	0,039	0,990	0,5	2,561	1,342	0,984	1,65	0,00003293	0,12952417	0,9999
60	1,392	0,025	0,999	0,5	2,775	1,570	0,991	2,73	0,00000002	0,13700408	0,9073
70	1,320	0,023	0,995	0,5	3,307	1,265	0,992	1,70	0,00001468	0,07759979	0,99846

Cuadro 13 (Continuación)

Concentración del polisacárido al 1,30%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
27	0,751	0,331	0,987	0,5	2,785	0,694	0,994	0,81	0,01714888	0,06960802	0,98685
35	0,738	0,240	0,942	0,5	2,841	0,186	0,977	0,76	0,01627930	0,02204291	0,9457
40	1,029	0,110	0,981	0,5	2,618	0,122	0,988	1,04	0,00253517	0,00993125	0,98176
50	1,337	0,039	0,999	0,5	2,527	1,108	0,995	1,74	0,00001765	0,12342757	0,99188
60	1,330	0,032	0,997	0,5	2,786	1,196	0,991	1,76	0,00001232	0,10625495	0,99451
70	1,390	0,025	1,000	0,5	2,859	1,336	0,995	2,30	0,00000031	0,11616562	0,94824
Concentración del polisacárido al 1,40%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
30	0,801	0,953	0,984	0,5	1,412	0,259	0,977	0,89	0,039567004	0,10829932	0,97457
40	0,903	0,293	1,000	0,5	2,228	0,113	1,000	0,91	0,012116698	0,01636784	0,99992
50	1,019	0,175	0,999	0,5	2,325	0,001	1,000	1,02	0,004966116	0,00018003	0,99909
60	1,097	0,116	0,999	0,5	2,389	0,120	0,998	1,12	0,002151522	0,01433528	0,99914
70	1,153	0,078	1,000	0,5	2,574	0,285	0,997	1,21	0,000889418	0,02941390	0,99965
Concentración del polisacárido al 1,50%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
30	0,805	26,967	0,993	0,5	0,253	0,158	0,975	0,83	1,246765	2,29925048	0,98701
40	0,903	9,924	1,000	0,5	0,741	3,497	0,989	0,77	0,386206	5,373765	0,98981
50	0,947	0,299	0,992	0,5	2,355	0,160	0,995	0,86	0,014995	0,02211186	0,99255
60	1,030	0,167	1,000	0,5	2,322	0,007	1,000	1,03	0,004535	0,00087428	0,99985
70	1,133	0,103	0,997	0,5	2,395	0,153	0,999	1,16	0,001564	0,01861009	0,99591
Concentración del polisacárido al 1,60%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
30	0,605	37,123	0,924	0,5	0,323	1,625	0,923	0,79	1,25934	20,1648236	0,89536
40	0,717	9,152	0,940	0,5	0,614	1,640	0,947	1,05	0,08541	4,5863754	0,82206
50	0,933	0,345	1,000	0,5	1,912	0,032	1,000	0,94	0,01235	0,00650849	0,99997
60	0,985	0,204	0,998	0,5	2,322	0,011	0,998	0,99	0,00613	0,00166665	0,99793
70	1,043	0,152	0,999	0,5	2,413	0,005	1,000	1,05	0,00365	0,00065683	0,99918
Concentración del polisacárido al 1,70%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
30	0,302	45,361	0,979	0,5	0,399	4,291	0,966	0,62	2,84790	27,99331	0,98162
40	0,526	18,168	0,995	0,5	0,530	2,529	0,987	0,74	0,82336	7,71206	0,99383
50	0,923	2,730	0,999	0,5	0,711	0,094	0,999	0,93	0,08398	0,15968	0,99931
60	1,034	0,233	0,998	0,5	2,008	0,000	0,999	1,03	0,00586	0,00005	0,99777
70	1,099	0,169	0,994	0,5	2,137	0,021	0,999	1,11	0,00316	0,00325	0,99379

Cuadro 13. (Continuación)

Concentración del polisacárido al 1,80%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
35	0,353	47,497	0,916	0,5	0,401	4,988	0,805	1,06	0,34606	32,88641	0,78328
40	0,441	23,039	0,974	0,5	0,775	15,228	0,928	0,79	0,44536	23,55579	0,90556
50	0,335	2,738	0,975	0,5	2,081	10,396	0,931	0,77	0,07833	1,86856	0,88938
60	0,976	0,335	1,000	0,5	1,811	0,005	0,999	0,98	0,01083	0,00117	0,99976
70	0,998	0,240	1,000	0,5	2,052	0,000	1,000	1,00	0,00722	0,00001	1

Concentración del polisacárido al 1,90%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
35	0,177	61,252	0,993	0,5	1,154	106,10	0,964	0,62	1,28307	65,63070	0,97534
40	0,311	30,460	0,999	0,5	1,085	48,254	0,976	0,67	0,76117	34,22105	0,96248
50	0,786	3,429	0,994	0,5	0,834	0,705	0,993	0,84	0,14362	0,86595	0,99456
60	0,947	2,414	0,999	0,5	0,719	0,038	0,998	0,95	0,07124	0,06503	0,99904
70	0,974	0,135	0,996	0,5	2,800	0,000	0,993	0,97	0,00459	0,00008	0,99561

Concentración del polisacárido al 2,00%											
	Oswalt			Casson-Steiner				Herschel Bulkley			
T (°C)	n (adim)	K (Pa s ⁿ)	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa ^{0,5} s ^{0,5})	t₀ (Pa ^{0,5})	r² (adim)	n (adim)	k' (Pa s ⁿ)	t₀ (Pa)	r² (adim)
35	0,165	63,655	0,992	0,5	1,232	126,80	0,948	0,68	0,850718	69,25141	0,8971
40	0,317	31,081	0,998	0,5	1,050	46,066	0,982	0,66	0,847436	34,49420	0,96938
50	0,960	2,801	0,999	0,5	0,652	0,027	0,998	0,96	0,066070	0,06809	0,99869
60	0,960	0,424	1,000	0,5	1,637	0,010	1,000	0,96	0,015257	0,00254	0,99976
70	1,006	0,334	0,993	0,5	1,758	0,003	0,986	1,01	0,010091	0,00194	0,99265

Casson y Casson modificado por Steiner, donde el índice comportamiento reológico **n** es constantes 1, 0,5 y 0,5 respectivamente, sin embargo se consideró también realizar el estudio según el modelo de Casson modificado por Steiner ($n = 0,5$).

Del Cuadro 13, se extraen los datos para realizar los reogramas representados en las Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10, y 11 de los distintos tratamientos, en los cuales se puede observar la relación entre la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) y el esfuerzo de corte (σ).

En la Figura 5, 6 y 7 se evidencia el comportamiento a un fluido dilatante ($n > 1$) debido a que en ellos la relación $\sigma/\dot{\gamma}$ aumenta al aumentar la velocidad de deformación Steffe (1996) y Silva (2010).

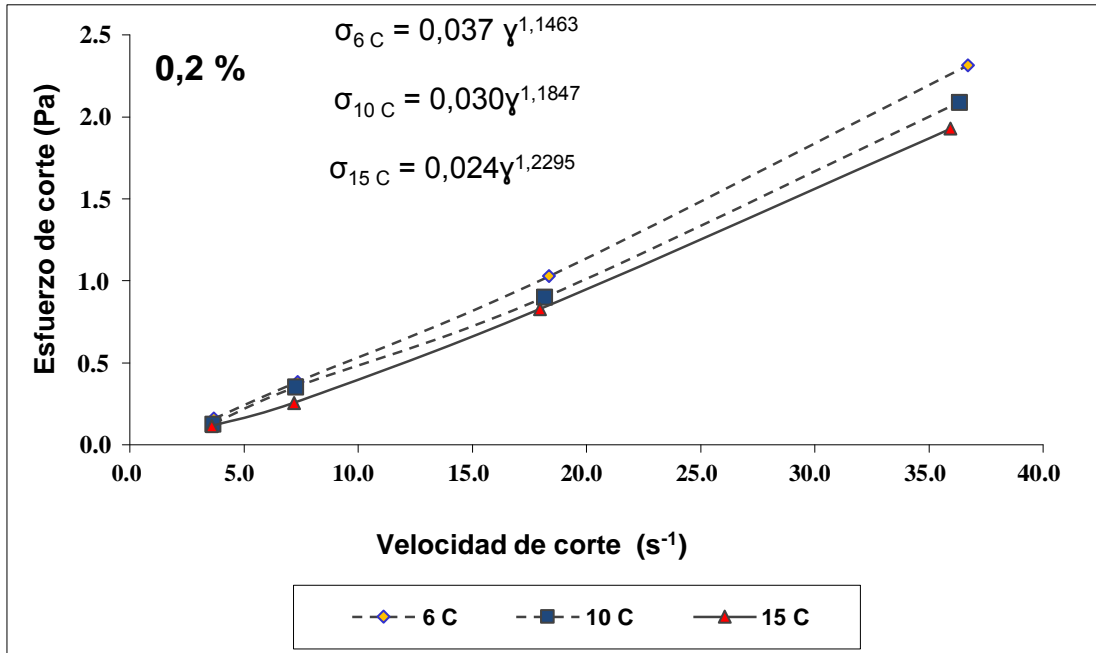


Figura 5: Reograma del comportamiento reológico al 0,2 % de concentración a 6°C, 10°C y 15 °C

En la Figura 5 a las temperaturas de 6°C, 10°C y 15 °C con 0,2 % de concentración del hidrocoloide, muestran comportamientos dilatantes, donde la curva es cóncava hacia arriba, pero se asemeja ligeramente a una recta, esto se ve reflejado en la Figura 5, donde el índice reológico se acerca a la unidad. Además, se observa que al aumentar la temperatura los esfuerzos de corte (σ) van aumentando para un mismo valor de velocidad de corte ($\dot{\gamma}$). El análisis de varianza mostrado el Anexo 1, indica que a las temperaturas de 6°C, 10°C y 15 °C al 0,2% de concentración no hay influencia sobre el índice reológico (n) según el modelo de Oswald, mientras que para los diferentes modelos se reportan diferentes índices reológicos.

En la Figura 6 y 7 a las temperaturas de 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C con 0,6 % y a 27 °C, 35°C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, y 70 °C con 1,00 % de concentración del hidrocoloide, muestran comportamientos dilatantes, debido a que los índices reológicos (n) son mayores que la unidad y se incrementa a medida que se aumenta la temperatura, también se observa que al aumentar la temperatura los esfuerzos de corte (σ) van aumentando para un mismo

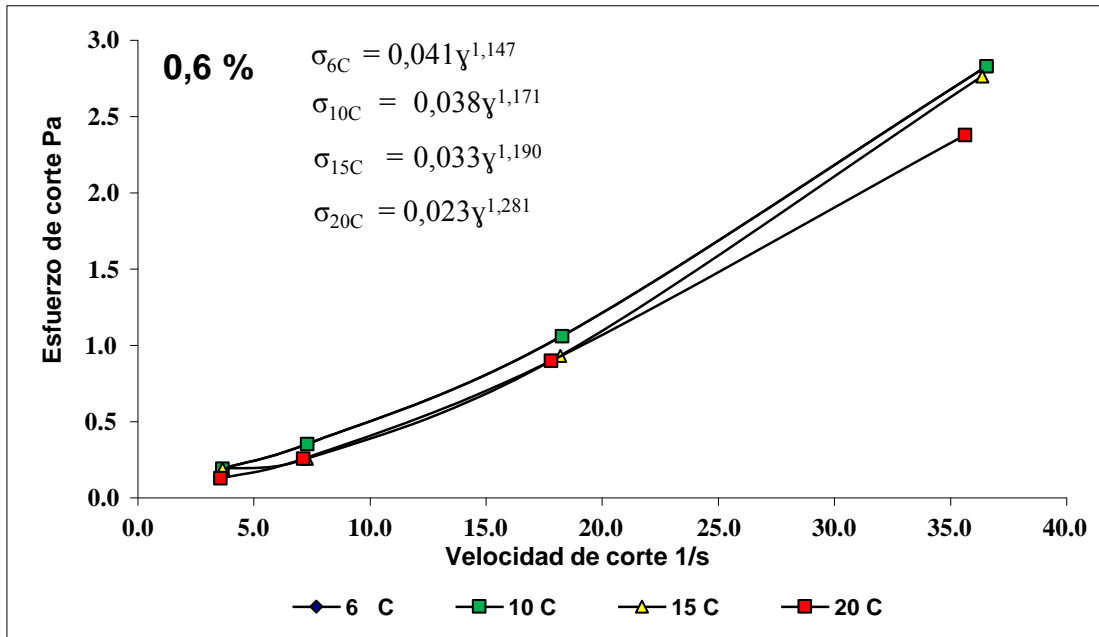


Figura 6: Reograma del comportamiento reológico al 0,6 % de concentración a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C

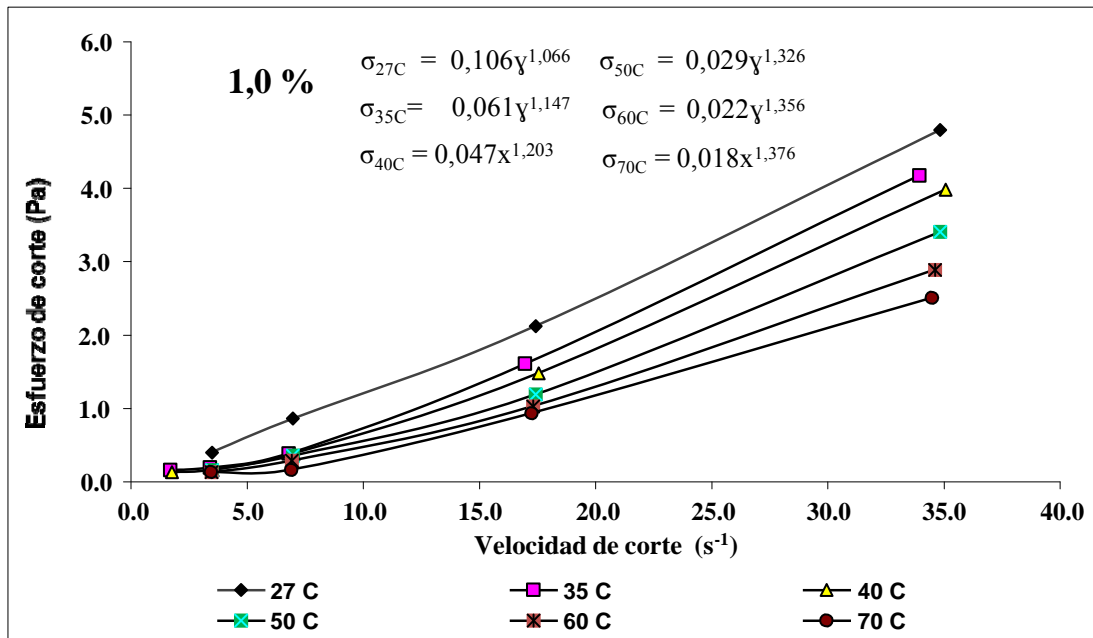


Figura 7: Reograma del comportamiento reológico al 1,00 % de concentración a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, y 70 °C

valor de velocidad de corte ($\dot{\gamma}$). Los análisis de varianza mostrados el Anexo 3 y Anexo 9 indica que a las temperaturas de 6°C, 10°C y 15 °C al 0,2% de concentración y a 27 °C, 35°C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, y 70 °C con 1,00 % no hay influencia sobre el índice reológico (n) según el modelo de Oswald, mientras que para los diferentes modelos se reportan diferentes índices reológicos.

En la Figura 8 se presenta el reograma a temperaturas de 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C al 1,3 % de concentración del hidrocoloide del *Nostoc sphaericum*, V. Se puede observar que a las temperaturas de 27 °C y 35 °C muestra a un fluido con comportamiento pseudoplástico ($n < 1$) debido a que al aumentar la concentración se aumenta la cantidad de solutos disueltos, lo que acentúa las interacciones polímero-agua aumentando la resistencia de la disolución que tiene un comportamiento de gel, otorgando una mayor firmeza y elasticidad (Karazhiyan *et al.* 2009 , Wu *et al.* 2014), mientras que a las temperaturas de 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C presentan carácter dilatante ($n > 1$).

En la Figura 9 presenta el reograma a temperaturas de 30 °C; 40 °C; 50 °C; 60 °C y 70 °C al 1,5 % de concentración del hidrocoloide del *Nostoc sphaericum*, V. A la temperatura de 30 °C, 40 °C y 50 °C muestra a un fluido con comportamiento pseudoplástico, mientras que 60 °C y 70 °C tienden a una línea recta con una ligera deformación a velocidades de deformaciones bajas mostrando un comportamiento dilatante.

En la Figura 10 se presentan los reogramas a temperaturas de 30 °C , 40 °C, 50°C, 60 °C y 70 °C al 1,7 % de concentración del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum*, V.). A la temperatura de 30 °C, 40 °C y 40 °C se muestra según el modelo de Oswald a un fluido con comportamiento pseudoplástico, en este reograma se observa que al aumentar la temperatura los esfuerzos de corte (σ) van disminuyendo para un mismo valor de gradiente de deformación ($\dot{\gamma}$).

En la Figura 11 presentan los reogramas a las temperaturas de 35 °C , 40 °C, 50°C, 60 °C y 70 °C al 2,0 % de concentración del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum*, V.). A las temperaturas de 35 °C, 40 °C, 50 °C y 60 °C se muestra a un fluido con comportamiento pseudoplástico ($n < 1$), mientras que 70 °C se muestra a un fluido dilatante con una ligera deformación a velocidades de deformaciones bajas.

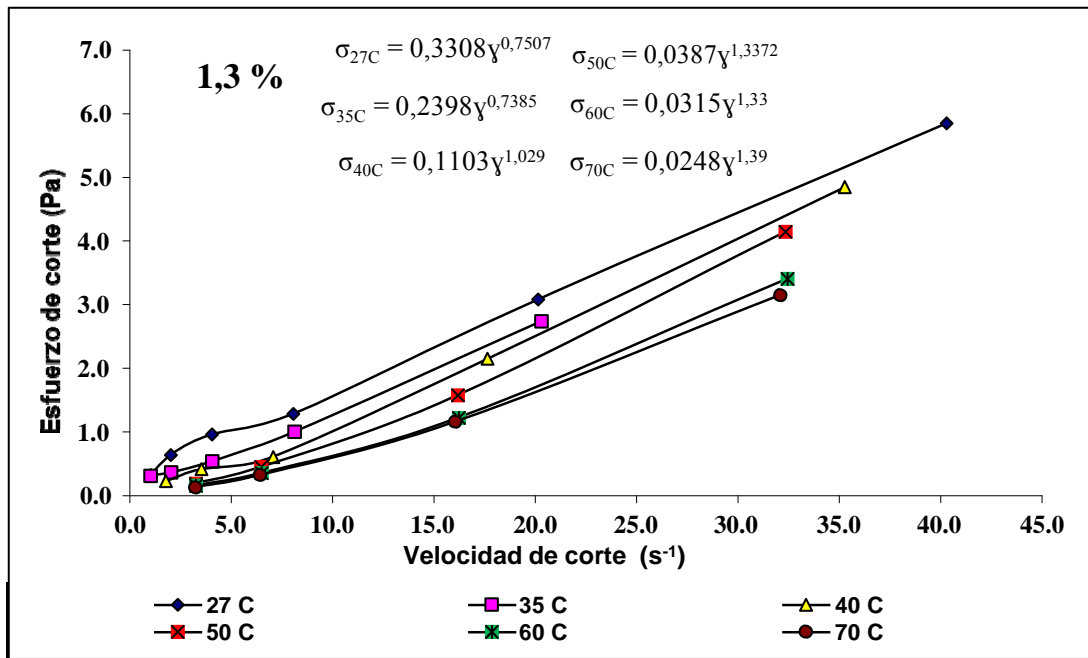


Figura 8: Reograma del comportamiento reológico al 1,3 % de concentración a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, y 70 °C

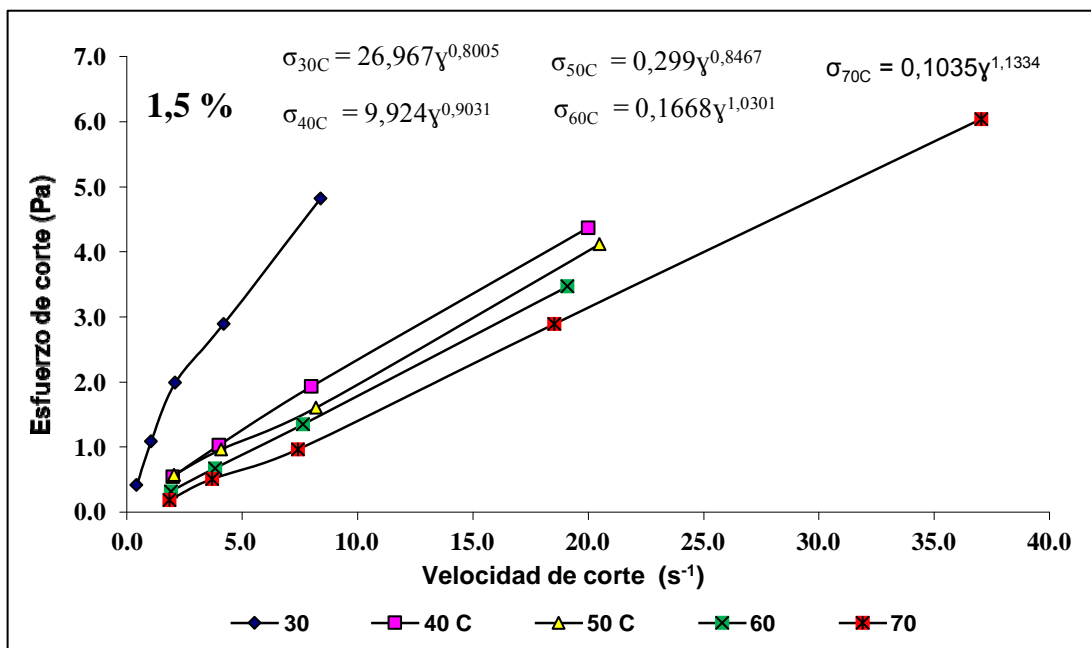


Figura 9: Reograma del comportamiento reológico al 1,5 % de concentración a 30°C, 40°C, 50 °C, 60 °C, y 70 °C

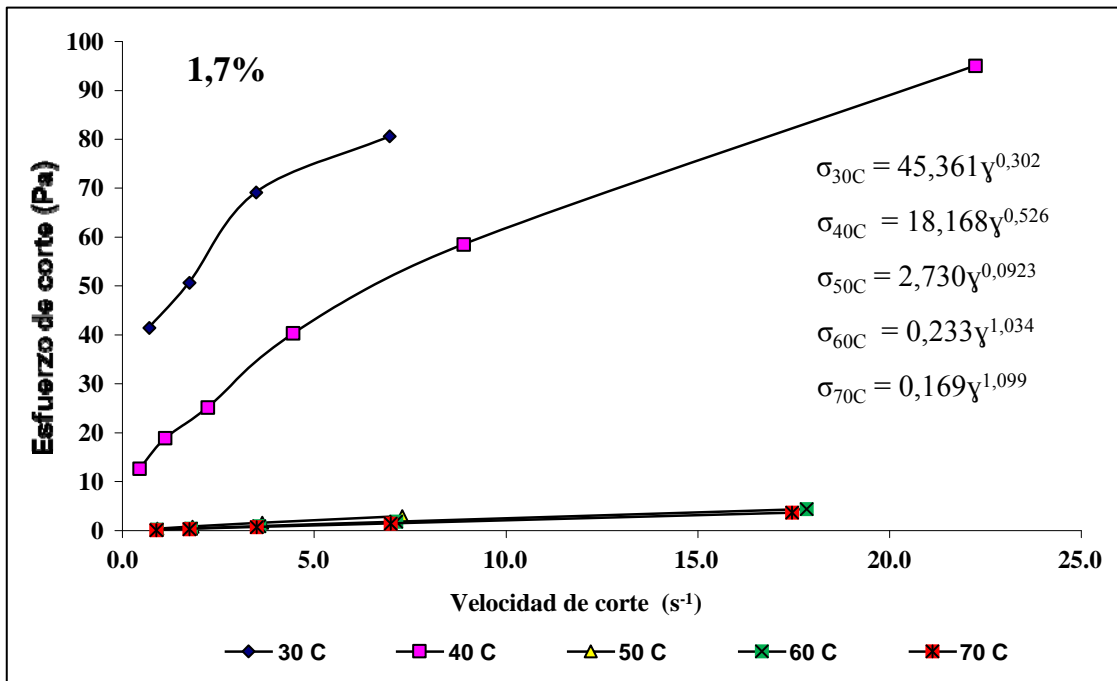


Figura 10: Reograma del comportamiento reologico al 1,7 % de concentración a 30°C, 40°C, 50 °C , 60 °C y 70 °C

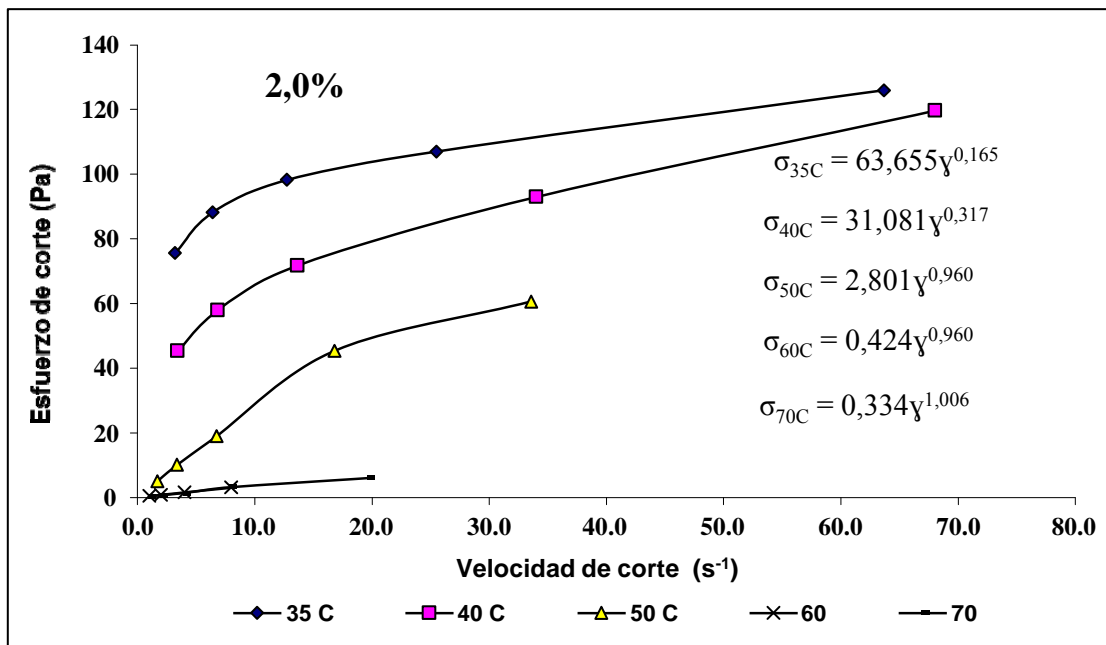


Figura 11: Reograma del comportamiento reologico al 2,0 % de concentración a 35°C, 40°C, 50 °C , 60 °C , y 70 °C

Es notorio en las Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11 donde todas las soluciones del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) desde la concentración de 0,2 hasta 2,0% mostraron una naturaleza reofluidificante que puede ser caracterizado por un comportamiento no newtoniano, debido a que las cadenas del polisacárido del *Nostoc sphaericum* V. pueden formar una red entrelándose entre sí, dependiendo de la concentración y la temperatura (Wu *et al.*, 2014). También se indica, la dependencia de la viscosidad aparente con la concentración del hidrocoloide *Nostoc sphaericum* V., que aumentó a medida que amenta la concentración. El hidrocoloide *Nostoc sphaericum* V. se compone de polisacáridos y ácidos urónicos y tiene un gran número de grupos hidroxilo en una molécula (Mota *et al.* 2013 , De Philippis *et al.* 200), por lo tanto, en una mayor concentración de la solución de hidrocoloide del nostoc, se presenta una matriz más enredada por los enlaces de hidrógeno (Wu *et al.*, 2014; Fijan *et al.*, 2007 y Gong *et al.*, 2012), esto conduce al aumento observado en la viscosidad.

4.3.1. EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL HIDROCOLOIDE SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLOGICO

A 0,20% de concentración y a diferentes temperaturas del hidrocoloide se puede observar en el Cuadro 13 según los modelos de Oswald y Herschel Bulkley, que el índice del comportamiento reológico n es mayor que la unidad, comportándose como fluidos dilatantes a temperaturas desde 6 °C a 15 °C, del mismo modo se puede observar que a medida que se incrementa la temperatura también se incrementan los valores de n en las concentraciones al 0,6%, 1,00%. Al 1,1% y a 27 °C se observa un valor de n de 0,949 cercana a la unidad, lo cual podemos afirmar que a esta temperatura y concentración la muestra tiende a comportamiento de un fluido Bingham o plástico debido al aumento de las cadenas de polisacáridos. Hosseini-Parva *et al.* (2010) compara las propiedades reológicas de una solución acuosa de C.M.C. a 20 °C, en función a la concentración; determinando que la solución de C.M.C. se comporta como un fluido pseudoplástico, pero a medida que la concentración disminuye, aumenta el valor de n , es decir el líquido se va haciendo menos pseudoplástico, también Haddarah *et al.* 2014 en el estudio reológico de goma de algarrobo, a una concentración de 1% (w / v), mostro un comportamiento pseudo-plástico sea cual sea la variedad estudiada, su viscosidad aparente es una función decreciente de la velocidad de deformación; por lo tanto, lo clasifica como un fluido no Newtoniano, comportamiento que se ajusta por el modelo de Ley de potencia (modelo de Ostwald de Waele).

A una misma temperatura y a medida que se incrementa la concentración, podemos observar que los valores de n disminuyen, mostrando un fluido con comportamiento pseudoplástico, lo cual es debido a compuestos de elevado peso molecular a concentraciones bajas, así como también la forma y tamaño de las partículas.

El polisacárido del Nostoc al dispersarse en agua se hincha y requiere una ligera agitación para su gelificación, este mecanismo no se conoce totalmente, sin embargo, Moreno (2013) al estudiar el efecto de las gomas e hidrocoloides en emulsión, menciona que los hidrocoloides de las algas marinas desarrollan estructuras helicoidales reaccionando entre si para formar una red tridimensional, a temperaturas mayores que las del punto de fusión del gel se produce una agitación térmica que impide que se formen las hélices por lo que la conformación del polisacárido en solución es al azar.

A las condiciones de 0,6% de concentración del hidrocoloide del Nostoc y a menor 6 °C; al 1,3 % y a menos de 27 °C; y al 2% y menos de 35 °C; se forman geles, la cual se torna a una estructura tridimensional donde los dobles hélices son los puntos de unión de las cadenas de los polimeros. Si se continúa enfriándose, Badui (2006), asegura que en los polisacáridos aumentaría el número de dobles enlaces y el gel se tornaría opaco.

4.3.2. EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL HIDROCOLOIDE EN SOLUCION SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLOGICO.

En el Cuadro 13, según el modelo de Oswalt se observa la disminución de los valores de índice de consistencia K y el incremento del índice comportamiento de flujo n , a medida que se incrementa la temperatura, comportamiento que obedece a las diferentes concentraciones del hidrocoloide, resultados que tienen correlación con los autores Khattar *et al.*, (2010), Aihui *et al.*, (2011), Hosseini-Parvar *et al.*, (2010) y Karazhiyan *et al.*, (2009).

En la Figura 12, se puede observar que el índice de consistencia a diferentes concentraciones del hidrocoloide del nostoc en solución disminuyó cuando la temperatura aumentó de 27 °C a 70 °C.

La respuesta de la viscosidad a la temperatura del hidrocoloide es significativo en la industria alimentaria, ya que la mayoría de los procesos de calentamiento experimentan una gama de temperaturas y la respuesta de la temperatura pueden variar con la fuente de hidrocoloide. Por ejemplo, la goma de xantano puede mantener la viscosidad a alta

temperatura (Moreno, 2013), mientras que muchos polisacáridos solubles en agua tienen una caída de la viscosidad con el aumento de las temperaturas (Wu *et al.*, 2014, Farhoosh y Riazi, 2007 y Yang y Zhu, 2007).

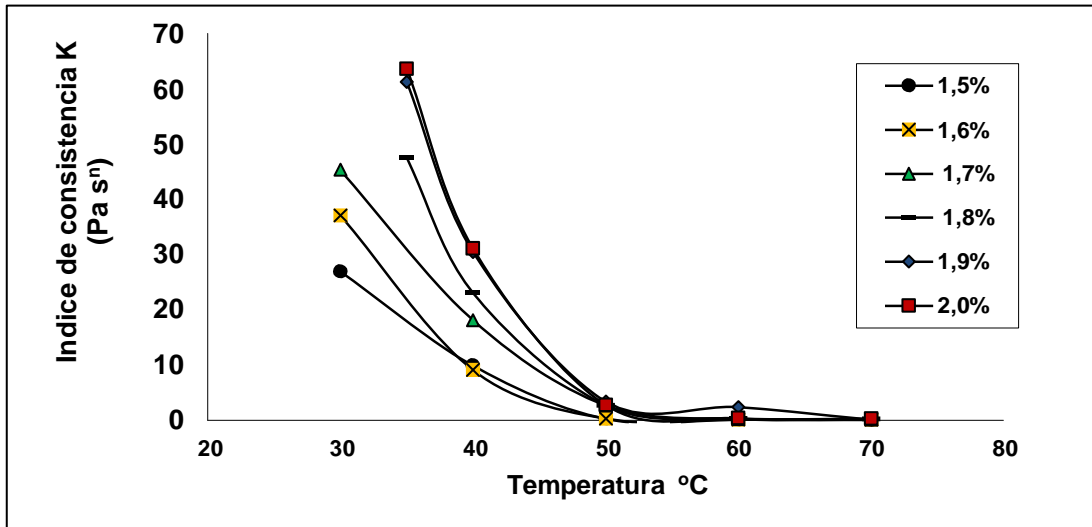


Figura 12: Efecto de la temperatura en el coeficiente de consistencia a diferentes concentraciones del hidrocoloide *Nostoc sphaericum V.*

Este fenómeno de la variación de la viscosidad aparente con la temperatura se puede atribuir al movimiento térmico de las moléculas, el cual se intensifica con el aumento de temperatura, ampliando así la distancia intermolecular y debilita las interacciones. Además, los polisacáridos del *Nostoc sphaericum V.* son capaces de hidrolizarse a alta temperatura, lo que también puede causar la disminución de la viscosidad (Kim y Yoo, 2011).

4.3.3. EFECTO CONJUNTO DE LA CONCENTRACION DEL HIDROCOLOIDE Y LA TEMPERATURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLOGICO

En la Figura 13 se puede observar el comportamiento del índice de consistencia K a diferentes concentraciones y temperaturas. En la dispersión del hidrocoloide a 1,00 % de concentración a 27 °C el índice de consistencia K aumenta, similar comportamiento se puede observar a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C

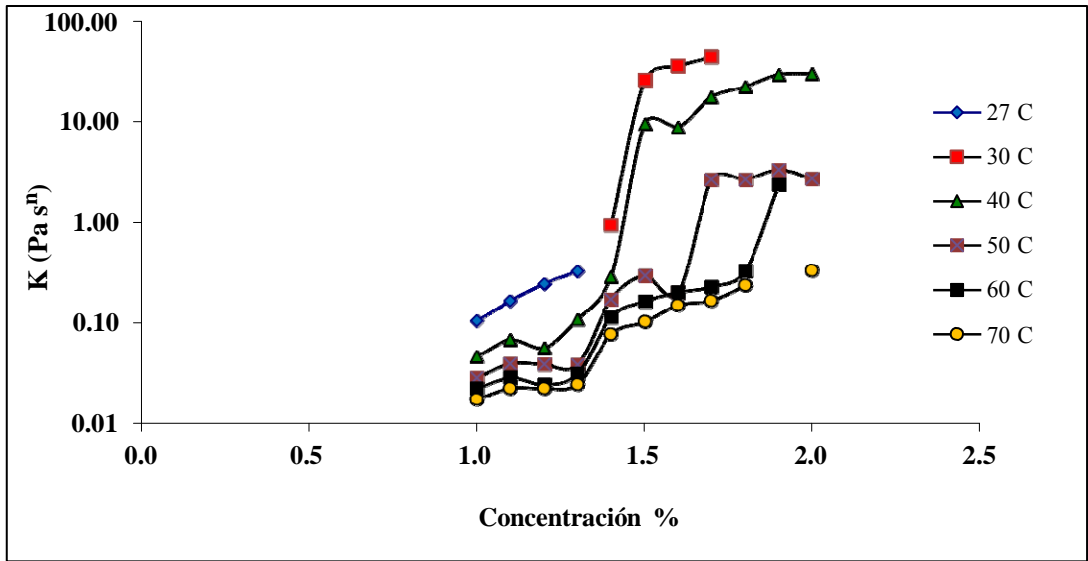


Figura 13: Efecto de la concentración del hidrocoloide en el coeficiente de consistencia (k) a diferentes temperaturas.

En la Figura 14, a temperaturas de 27 °C y 70 °C a diferentes concentraciones del hidrocoloide se observa un crecimiento exponencial del coeficiente de consistencia (k) relacionado con la ecuación $k=a.exp(b.C)$, donde C es la concentración y (a) y (b) son constantes según Hosseine-Parvar *et al.* (2010), Cevoli *et al.* (2013) y Karazhiyan *et al.* (2009).

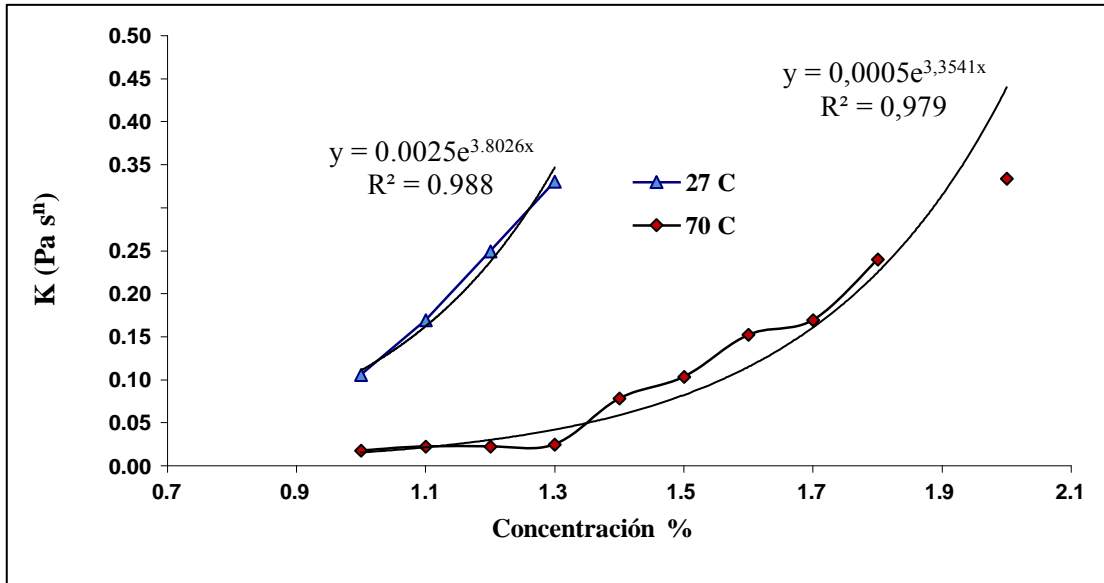


Figura 14: Efecto de la concentración del hidrocoloide en el índice de consistencia (k) a 27 °C y 70 °C.

En el Cuadro 14 y de la Figura 14 se observa que al elevar la temperatura de 27 °C a 70 °C y a diferentes concentraciones la constante “a” disminuye desde 0,0025 a 0,0005, similar fenómeno sucede con la constante “b” disminuye de 3,8026 a 3,3541. Ortega (2008), en el estudio del comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes encontró para 60 °C la constante “a” 0,043 y la constante “b” 1,24, valores bastante diferentes a los resultados del hidrocoloide del nostoc.

Cuadro 14: Constantes de la ecuación $\eta = \eta_0 \cdot \exp(\frac{a}{b})$ a 27 °C y 70 °C

Temperatura	Constante (a)	Constante (b)	R ²
27 °C	0,0025	3,8026	0,988
70 °C	0.0005	3,3541	0,979

En el Cuadro 15 se presentan las constantes de la ecuación para predecir el coeficiente de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración del hidrocoloide del Nostoc

Cuadro 15: Constantes de la ecuación para predecir el índice de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración del hidrocoloide del Nostoc

Muestras (Concentración y Temperatura)	Ln K ₁ (Pa s ⁿ)	Ea/R	a (adimensional)	R ² (b) (adimensional)
Desde 1,4 1,5 1,6 y 1,7 %, con 40, 50, 60 y 70 °C	-47,150	13 464	12,179	0,8774
Desde 1,5 1,6 y 1,7 %, con 40, 50, 60 y 70 °C	-52,188	16 001	6,349	0,930
Desde 1 1,1 1,2 y 1,3 %, con 27, 35, 40, 50, 60 y 70 °C	-13.703	3 302	2,742	0,534

^(b) altamente significativo (p<0,001)

En el Anexo 29 se presenta el análisis de variancia donde se puede observar, que existe diferencia significativa (p<0,05) de la influencia de la concentración y la temperatura en el

índice de consistencia K, concluyendo que la temperatura tiene un efecto inverso sobre coeficiente de consistencia K.

4.3.4 UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0)

En el Anexo 1 se puede observar los valores del umbral de fluencia determinados por cuatro modelos matemáticos (Bingham, Casson, Casson Modificado por Steiner, y Herschel-Bulkley) a diferentes concentraciones y temperaturas de las soluciones del hidrocoloide del Nostoc, donde se puede generalizar que el umbral de fluencia τ_0 disminuye a medida que se incrementa la temperatura manteniendo constante la concentración. Sin embargo, a concentraciones menores del 1,00% con temperaturas menores del 15 °C, se puede observar que el valor de τ_0 se incrementa debido a que el mayor porcentaje es de agua libre y que el valor del esfuerzo de corte aplicado se incrementa. A valores del umbral de fluencia dentro del 1,00% y 1,40% de concentración existe un desconcierto por lo que no existe diferencia de incremento o disminución a las diferentes temperaturas aplicadas, debido a la utilización del método por extrapolación, y se observa claramente que a estas concentraciones los fluidos se encuentran en transición del estado dilatante a pseudoplástico. Según Seyed *et al.* (2011) menciona que el parámetro τ_0 representa la magnitud de la plasticidad e indica la resistencia que el producto opone a deformarse permanentemente. También afirma que en las dispersiones de hidrocoloides, el valor del umbral de fluencia (τ_0), se encuentra relacionado con la densidad de enlaces de hidrógeno entre moléculas largas.

Sin embargo se puede observar que a concentraciones mayores del 1,60% la diferencia es notable, considerándose que a medida que se incrementa la temperatura a una misma concentración los valores del umbral de fluencia disminuyen, notándose que la temperatura influye inversamente proporcional a los valores de τ_0 .

A la concentración de 1,60 %, es posible apreciar que a 30 °C el valor del umbral de fluencia es de 20,164 Pa, a 40 °C es de 4,586 Pa, a 50 °C es de 0,022 Pa, a 60 °C es de 0,00166 Pa y a 70 °C es de 0,0006 Pa, lo que significa que al incrementarse la temperatura los valores del umbral de fluencia disminuyen, debido a que el esfuerzo cortante aplicado a la muestra para que empiece a fluir a temperaturas altas es menor; este fenómeno físico ocurre también para las concentraciones de 1,70%, 1,80%, 1,90% y 2,00%.

A las temperaturas de 30 °C y 35 °C y variando las concentraciones desde 1,60%, 1,70%, 1,80%, 1,90% y 2,00%, se puede ver que se incrementan los valores del umbral de fluencia

hasta 20,164 Pa, 27,993 Pa, 32,886Pa, 65,630 Pa y 69,251 Pa respectivamente, indicando que el porcentaje de concentración del hidrocoloide influye directamente en el esfuerzo de corte inicial para que el fluido empiece a fluir. Wu *et al.* (2014), en el estudio del comportamiento reológico de la goma de tara, observó que a un aumento de la temperatura aumenta el umbral de fluencia, pasándose del comportamiento pseudoplástico a Newtoniano.

4.3.4 ÍNDICE DE CONSISTENCIA **K**

El análisis de variancia practicado a los datos correspondientes al índice de consistencia **K** presentados en los Anexos 3, 7, 11, 15, 19, 23 y 27, indica que tanto la temperatura y la concentración tienen un efecto significativo sobre este parámetro ($\alpha \leq 0,05$). Estos resultados se asemejan a los reportados por Wu *et al.* (2014) en el estudio del comportamiento de la goma de tara, Moreno (2013) encontró que la temperatura y la concentración tiene efecto significativo en el comportamiento reológico de las gomas xanthan y goma arábica.

En términos generales, el índice de consistencia **K** disminuyó a medida que aumentó la temperatura, y aumento con el incremento en la concentración; Ebubekir *et al.* (2013) en la caracterización de las interacciones reológicas de la goma del *Gleditsia triacanthos*, menciona que a medida que se concentra las partículas de la goma en solución, el índice de consistencia disminuye. Este fenómeno se puede interpretar en la teoría de los “aglomerados”, al ir aumentando el grado de concentración, las partículas individuales quedarían más próximas unas de otras, facilitando su atracción y posible formación de grumos. Dichos grumos, a su vez, pueden unirse, dando lugar a la formación de agregados, aunque las fuerzas que los mantendrían unidos serían más débiles que las anteriores. Estos agregados también pueden agruparse para formar una red o malla, entre la que quedaría atrapada la fase dispersante, que sería difícil de separar por la acción de una fuerza centrífuga.

Del mismo modo se encontró que el índice de consistencia **K** presentó una variación con la temperatura a concentraciones constantes, variación que se ajusta en todos los casos a la ecuación de Arrhenius:

$$K = K_o + e^{\frac{E_a}{R T}}$$

La ecuación anterior al linealizarse se expresa en forma logarítmica:

$$\ln K = \ln K_o + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T}$$

donde K es una constante (viscosidad aparente a la temperatura de referencia, Pa.s), E_a es la energía de activación (J mol^{-1}), T es la temperatura absoluta (K) y R es la constante universal de los gases ($\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$). Al representar el $\ln K$ frente al inverso de la temperatura ($1/T$), se obtiene una recta, a partir de cuya pendiente es posible encontrar el valor de la energía de activación al flujo.

El modelo de Arrhenius se emplea normalmente para describir el comportamiento dependiente de muchas gomas con respecto a la temperatura, tales como carragenano, xantano, pectina y almidón (Karazhiyan *et al.*, 2009). El parámetro de energía de activación (E_a) es un indicador de movimiento de moléculas, en la que un mayor valor de (E_a) significa un cambio más rápido de la viscosidad (Koocheki *et al.*, 2013).

El efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia K se puede observar en el Cuadro 43. Según la ecuación de Arrhenius, al correlacionar el inverso de la temperatura absoluta contra el logaritmo del índice de consistencia, se cumple la linealidad prevista por el modelo, los valores de energía de activación calculados están entre 443,9 y 2983,2 J/ mol, además se ve que el índice de consistencia disminuye con el incremento de la temperatura, este mismo comportamiento fue observado por Matos-Aguilar (2010) en pulpas de tuna.

Con la finalidad de determinar la variación del índice de consistencia con la temperatura y la concentración simultáneamente se utilizó la ecuación reportada por Steffe (1996) y Silva (2010):

$$\ln K = \ln K_1 + (E_a / R)(1/T) + a \ln C$$

La cual considera el efecto conjunto de la temperatura y la concentración sobre el índice de consistencia K. Los valores $\ln K_1$, $(E_a/R)(1/T)$ y a son constantes obtenidas de la regresión lineal múltiple de $\ln K$ en función de $(1/T)$ y $\ln C$.

En el Cuadro 16 y la Figura 15 se muestra que la relación viscosidad-temperatura del hidrocoloide en solución del *Nostoc sphaericum* V. siguió el modelo de Arrhenius con valores de R^2 mayores a (0,95) para las soluciones ensayadas. La energía de activación aumenta gradualmente 443,936 a 2083,235 J/mol conforme la concentración aumenta de 0,2% a 2,0%. Los datos mostrados indican que la solución del hidrocoloide del *Nostoc sphaericum* V. fue menos sensible al cambio de temperatura en las concentraciones más bajas.

Cuadro 16: Constantes para predecir el índice de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración.

Concentración %	Ln Ko (Pa s ⁿ)	E_a (J / mol)	R (adimensional)
0,2	$6 \cdot 10^{-08}$	443,936789	0,9984
0,6	$2 \cdot 10^{-08}$	499,165792	0,9538
1,0	$7 \cdot 10^{-08}$	509,184468	0,9703
1,1	$1 \cdot 10^{-09}$	508,691352	0,9665
1,3	$5 \cdot 10^{-11}$	816,335661	0,9777
1,5	$4 \cdot 10^{-22}$	1914,97428	0,9760
1,7	$4 \cdot 10^{-22}$	1942,1558	0,9880
1,9	$5 \cdot 10^{-19}$	1712,19531	0,9985
2,0	$4 \cdot 10^{-18}$	2083,23511	0,9535

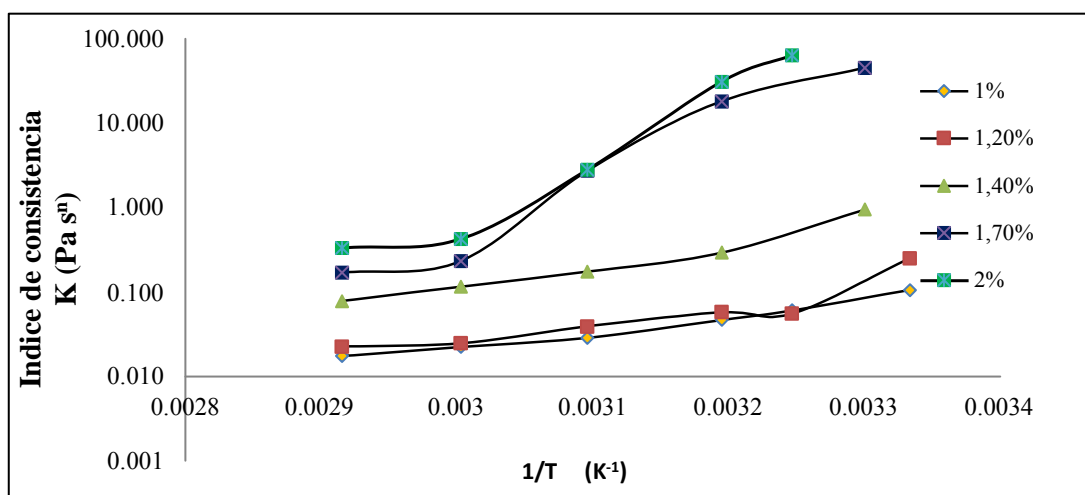


Figura 15: Efecto de la temperatura en el índice de consistencia del hidrocólide del *Nostoc sphaericum* V. en solución en diferentes concentraciones.

La energía de activación indica la barrera de energía que debe ser superada antes de que el proceso de flujo primaria puede ocurrir. La magnitud del efecto de la temperatura varió con la concentración como se muestra en el Cuadro 16. En general, cuanto mayor es la energía de activación, mayor será el efecto de la temperatura sobre la viscosidad (Karazhiyan *et al.*, 2009).

V. CONCLUSIONES

- Es factible la extracción del hidrocoloide del (*Nostoc sphaericum* V.) cuya población en estudio fueron las algas de la Laguna de Patococha ubicada en el distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash.
- El rendimiento de la extracción del hidrocoloide liofilizado fue de 0,81 % del alga al estado fresco, con una humedad de 4,56 %.
- De los cinco modelos matemáticos estudiados, Oswalt, Bingahn, Casson, Casson-Modificado y Herschel-Bulkely, solo los modelos de Ostwald $\sigma = k(\dot{\gamma})^n$ y Herschel-Bulkely $\sigma = \sigma_0 + k(\dot{\gamma})^n$ son los que se ajusta a las condiciones experimentales del presente trabajo de investigación.
- Al incrementarse la temperatura de 6 °C a 27 °C a la concentración de 0,2% del hidrocoloide, el índice de comportamiento reológico (n) aumenta de 1,146 a 1,230, mientras que el índice de consistencia (k) disminuye de 0,037 Pa sⁿ a 0,024 Pa sⁿ, comportándose como un fluido dilatante. Al incrementarse la temperatura de 35 °C a 60 °C a la concentración de 2% del hidrocoloide, el índice de comportamiento reológico (n) aumenta de 0,165 a 0,960 mientras que el índice de consistencia (k) disminuye de 63,655 Pa sⁿ a 0,424 Pa sⁿ, comportándose como un fluido pseudoplástico.
- El efecto de la concentración del hidrocoloide (X) sobre el índice de consistencia (k) a 27 °C de temperatura obedece a la ecuación exponencial $k=0,0025e^{3,8026X}$, mientras que a 70 °C de temperatura obedece a la ecuación exponencial $k=0,0005e^{3,3541X}$.
- Al incrementarse la concentración del hidrocoloide de 0,2% a 2% y elevarse la temperatura de 6°C a 70°C, la energía de activación como un indicador del movimiento de las moléculas se incrementa de 443,937 J/mol a 2083,235 J/mol.

IV. RECOMENDACIONES

- Determinar el comportamiento viscoelástico del flujo del hidrocoloide alga (*Nostoc sphaericum* V.) en solución a diferentes concentraciones, temperaturas y pH.
- Desarrollar tecnologías para aplicar el hidrocoloide en diferentes procesos de alimentos.
- Investigar sobre las interacciones sinérgicas reológicas del hidrocoloide del alga (*Nostoc sphaericum* V.) con hidrocoloides utilizados comúnmente (xantano, κ -carragenano, carboximetil celulosa (CMC) y alginato considerando el efecto con la temperatura, concentración y pH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboal, M; Cristobal JC; Marin-Murcia JP. 2010. Presencia de *Nostoc sphaericum* var. Flagelliforme (*Nostocaceae*, *Cyanophyceae*) en suelos arcillosos de regiones áridas del sureste español. Acta Botanica Malacitana 35
- AGROECO. 2014. Intensificación ecológica y socioeconómica de la pequeña agricultura andina.. Cuarenta y viejas verduras para diversificar tu alimentación y nutrirte mejor. Programa de Hortalizas. Universidad Nacional Agraria. La Molina. Lima. Perú.
- Angioloni A. 2013. Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. Tecnifood. La revista de la tecnología alimentaria Valencia, España.
- Aihui, X; Mengyi, Z; Bin, Z; Shiming, W; Jianfa, Z. 2011. Rheological properties of Salecan as a new source of thickening agent Center for Molecular Metabolism, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China Food Hydrocolloids 25 1719-1725
- A.O.A.C. 2002. Official methods of analysis of the association official analytical Chemistry. 17th Edition. 3ed. Washington DC. USA. Chapter 3, 1-35 pp; Chapter 9, 1-46 pp; Chapter 37, pp 1-29; Vol I y Vol II.
- Badui D. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación, México.
- Becher, P; Beuchat, J; Gademann, K; Jüttner, F. 2005. Nostocarboline: Isolation and Synthesis of a New Cholinesterase Inhibitor from Nostoc 78-12A. J. Nat. Prod., 68 (12): 1793-1795.
- Becker, E.W. 2007. Microalgae as a source of protein. Biotechnology Advances, 25(1): 207-210.
- Beltrán O. 2013. Nuevos enfoques en el estudio de las gomas de *Acacia tortuosa* y *Sterculia apetala*. Tesis para optar al grado de Doctora en Química. Univesidad de Zulia. Venezuela
- Bonaduce I; Brecoulaki H; Colombini MP; Lluveras A, Restivoo V; Ribechini E. 2007. Gas chromatographic mass spectrometric characterisation of plant gums in samples from painted works. Journal of Chromatography A 1144, 275–282.

- Cevoli, C; Balestra F; Ragni L; Fabbri A. 2013. Rheological characterisation of selected food hydrocolloids by traditional and simplified techniques. *Food hydrocolloids*. 33 142-150
- De Phillipis, R; Ena, A; Paperi, R; Sili, C; Vincenzini, M. 2000. Assessment of the potential of Nostoc strains from the Pasteur Culture Collection for the production of polysaccharides of applied interest. *Journal of Applied Phycology*, 12(1): 401-407
- Ebubekir C.; Mahmut D.; Karaman S. 2013. Characterization of rheological interactions of Gleditsia triacanthos gum with some hydrocolloids: Effect of hydration temperature. *Food Hydrocolloids* 32 453-462
- Ercelbi, E; Ibanoglu, E. 2007. Influence of hydrocolloids on phase separation and emulsion properties of whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*. 80. 454-459.
- Farhoosh, R; Riazi, A. 2007. A compositional study on two current types of salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 660–666.
- Fijan, S; Sostar-Turk, R. J., y Lapasin, R. 2007. Rheological study of interaction between non-ionic surfactants and polysaccharide thickeners used in textile printing. *Carbohydrate Polymers*, 68, 708–717.
- Flindt, S; Al-Assaf, G; Williams, P. 2005. Studies on acacia exudates gums. Part.V. Structural features of Acacia seyal. *Food Hydrocolloids*. 687-701.
- Gantar, M. 2008. Microalgae and Cyanobacteria: Food for Thought. *Phycol*, 44: 260-268. Phycological Society of America.
- Garcia A; Lopez A. 2012. Biopolimeros utilizados en la encapsulación. Tesis de Maestria. Universidad de la Americas. Mexico.
- Goncalves S; Romano A. 2005. Locust bean gum (LBG) as a gelling agent for plant tissue culture media. *Science horticulture*. 106, 1, 129-134.
- Gong, H; Liu, M; Chen, J; Han, F; Gao, C; Zhang, B. 2012. Synthesis and characterization of carboxymethyl guar gum and rheological properties of its solutions. *Carbohydrate Polymers*, 88(3), 1015–1022.

- Grobl, M; Harrison, S; Kaml, I; Kenndler, E. 2005. Characterisation of natural polysaccharides (plant gums) used as binding media for artistic and historic works by capillary zone electrophoresis. *Journal of Chromatography A*. 1077. 80-89.
- Haddarah, A.; Bassal, A.; Ismail, Ali; Gaiani, C.; Ioannou, I.; Charbonnel, C.; Hamieh, T.; Ghoul, M. 2014. The structural characteristics and rheological properties of Lebanese *Journal of Food Engineering* 120 204–214
- Herrera RM. 2012. Evaluación de los exopolisacáridos producidos por una cepa nativa de cianobacteria *Nostoc sp.* Como sustrato en la producción de bioetanol Tesis para optar el grado Magister en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Bogotá D.C., Colombia.
- Hong-Bin, W.; Sheng-Jun, W.; Dou, L. 2014. Preparation of polysaccharides from cyanobacteria *Nostoc sphaericum* and their antioxidant activities. *Carbohydrate Polymers* 99 (2014) 553– 555.
- Hosseini-Parvar, SH; Matia-Merino L; Goh KT; Razavi MA. 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum L.* seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering* 101 236–243.
- Jensen, BO.; Petersenb,S; Omarsdottira, BS; Paulsenc, JØ; Duusb, ES; Olafsdottira. 2013. Structural characterisation of a complex heteroglycan from the cyanobacterium *Nostoc sphaericum*. *Carbohydrate Polymers* 91 370-376
- Khattar, JI.; Jindal N. 2008. Isolation and characterization of exopolysaccharides produced by the cyanobacterium *Phormidium valderianum*. *Journal of Biotechnology* 136S S402–S459
- Karazhiyan, H; Seyed MA; Razavi, GO; Phillips, YF.; Saphwan A.; Katsuyoshi, RF. 2009. Rheological properties of *Lepidium sativum* seed extract as a function of concentration, temperature and time. *Food Hydrocolloids* 23 2062–2068
- Kim WW; Yoo B. 2011. Rheological and thermal effects of galactomannan addition to a corn starch paste. *LWT. Food Science and Technology* 44 759-764

- Koocheki, A; Mortazavi, SA; Shahidi, F; Razavi SM; Taherian F. 2009. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source of thickening agent. *Journal of Food Engineering* 91 490–496
- Li HF; Xu, J; Liu, YM; Ai, SB; Qin, F. 2011. Antioxidant and moisture-retention activities of the polysaccharide from *Nostoc sphaericum* *Carbohydrate Polymers*, 83, pp. 1821–1827
- Mahmut D.; Kayaciera A.; Erhan I. 2007. Rheological characteristics of some food hydrocolloids processed with gamma irradiation Faculty of Engineering, Food Hydrocolloids 21 392–396. Ankara, Turkey
- Martínez, M. 2005. Aplicación de la resonancia magnética nuclear bidimensional al estudio de exudados gomosos con potencial aplicación médica e industrial. Tesis de grado para optar al título de Doctora en Ciencias Humanas, Facultad de Humanidades y Educación, L.U.Z.
- Matos, A.; Aguilar, DA. 2010. Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa de tuna (*Opuntia ficus Indica*). *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1, N° 1
- Milani, J.; Maleki, G. 2012. Hidrocoloides en la industria de alimentos. Categoría: Tecnología de alimentos Subcategoría: Aditivos para alimentos. Editor: InTech. Iran.
- Mirhosseini, H; Bahareh, B. 2012. A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International* 46 (2012) 387–398.
- Moreno, AS. 2013. Comparación de las gomas xanthan y arábica en las propiedades reológicas de la mayonesa. Tesis para optar el Título de Ingeniería de Alimentos. Universidad Tecnica de Ambato. Ecuador.
- Mota R; Guimarãesa R; Büttela Z; Rossib F; Colicab G; Silva CJ; Santos C; Galesa L; Zillea A; De Philippis R; Pereira SB.; Tamagninia P. 2013. Production and characterization of extracellular carbohydrate polymer from *Cyanothece sp.* CCY 0110. *Carbohydrate Polymers* 92 1408–1415

- Moya, JA. 2011. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Algas. Tesis para optar al título profesional de Arquitecto. Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). 2014. NCBI Taxonomy. Accessed via <http://www.gbif.org/species/105948654> on 2014-01-31
- Nuñez J; Mendoza A. 2006. A fatty acids composition and nutritional effect in rats of cushuro (*Nostoc sphaericum vaucher*). Virginia Tech Center for Genomics (VIGEN), Department of Biochemistry and Fralin Biotechnology Center, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA
- Ortega M. 2008. Comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos. Tesis Doctoral Universidad de Granada. España
- Perduca SL. 2008. Caracterización reológica de soluciones de goma espina corona. 2do Encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales. Argentina.
- Pereira, L; Amado, AM; Critchley, A; Van de Velde F.; Paulo JA; Ribeiro C. 2009 Identification of selected seaweed polysaccharides (phycocolloids) by vibrational spectroscopy (FTIR-ATR and FT-Raman) Food Hydrocolloids 23 1903-1909
- Ponce E. 2014. Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica Volumen 32, N° 2. Páginas 115-118 IDESIA (Chile) Volumen 32, N° 2. Páginas 115-118 IDESIA (Chile).
- Qixin Z.; Daubert CR. 2013. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Second Edition). Pages 403-426 Academic Press. New York. EEUU
- Quintáns LC. 2008. Reología de productos alimenticios. Memoria para optar grado de Doctora . Universidad de Santiago de Compostela. Galicia. España
- Ramirez J. 2006. Introducción a la Reología de los Alimentos. Universidad del Valle Cali. Colombia.
- Rasmussen, HE; Blobaum, KR; Jesh, ED; Kc, CS; Park, YK; Lu, F; Carr, TP; Lee, JY. 2009. Hypocholesterolemic effect of *Nostoc sphaericum var. sphaeroides Kützinger*, an edible blue-green alga. Eur. J. Nutr. 48: 387-394

- Richert, L; Golubic, S; Le Guedes, R; Ratiskol, J; Payri, C; Guezennee, J. 2005. Characterization of exopolysaccharides produced by cyanobacteria isolated from polynesian microbial mats. *Current Microbiology*, 51(1): 379-384
- Rodríguez, ES; Sandoval, A; Ayala, Aponte A. 2003. Hidrocoloides naturales de origen vegetal. Investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos *Tecnura* No. 13. II semestre.
- Seyed MA; Razavi, Hesam Taheri; Quinchia, Lida A. 2011. Steady shear flow properties of wild sage (*Salvia macrosiphon*) seed gum as a function of concentration and temperature. *Food Hydrocolloids* 25 (2011) 451e458
- Singh RP; Heldman DR. 2014. Introduction to Food Engineering (Fifth Edition). Academic Press USA. Pages 421-474
- Silva CA. 2010. Caracterización reológica de hidrocoloides alimentarios: goma guar, goma tragacanto, metilcelulosa y sus mezclas. Tesis doctoral. Universidade de santiago de Compostela. Departamento de Enxeñaría Química. Galicia España.
- Steffe JF. 1992. Rheological methods in food process engineering. Freeman Press 228p
- Torres, M; Moreira, R; Chenlo, F; Vázquez, M. 2012. Water adsorption isotherms of carboxymethyl cellulose, guar, locust bean tragacanth and xanthan gums. *Carbohydrate Polymers* 89: 592– 598.
- Trabelsi, L; M'sanki, NH; Ouada, HB; Bacha, H; Roudesli, S. 2009. Partial characterization of extracellular polysaccharides produced by cyanobacterium *Arthrospira platensis*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14(1): 27-31.
- Villavicencio M; Alvarez L; Fonseca A; Ibazeta AC; Alvarado O. 2007. Efectos nutritivos del nostoc (cushuro) en los niños desnutridos de 1 a 3 años del distrito de Amarilis-2007. Investigacion Valdizana. *Revista Científica de la Universidad Nacional Hermelio Valdizan* V 3 Nro. 1
- Vipul, D; Pankaj, M; Maheriya, G; Himanshu, ki. 2014. Review Carrageenan: A natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate Polymers* 105 97–112
- Wu, Y; Ding, W; Jia, L; Qiang He. 2014 The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*) *Food Chemistry* 168 (2015) 366–371

- Yang, X; Zhu, W. 2007. Viscosity properties of sodium carboxymethylcellulose solutions. *Cellulose*, 14(5), 409–417.
- Yaseen, E; Aramouni, h; Alavi, S. 2005. Rheological properties of selected gum solutions. *En: Food Research International*. 38, p. 111–119.
- Zeki, B. 2013. *Food Process Engineering and Technology, Second Edition Academic Press.US*. p.77 - 125
- Zongjie, H; Dunhai, L; Yanhui, L; Zhicong, W; Yuan, X; Gaohong,W; Yongding, L; Chunxiang Hu, Qifang Liu. 2011. *Nostoc sphaeroides* Ku'tzing, an excellent candidate producer for CELSS. *Advances in Space Research* 48 (2011) 1565–1571

ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura y a 0,2 % de concentración del hidrocoloide

EFFECTOS PRINCIPALES	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	pRazón-F	Valor-P
A:Modelo Reológico	1,60804	4	0,402011	298,71	0,0000
B:Temperatura	0,00609613	2	0,00304807	2,26	0,1662
RESIDUOS	0,0107665	8	0,00134582		
TOTAL (CORREGIDO)	1,62491	14			

ANEXO 2: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico (n) por modelo reológico 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura y a 0,2 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson Modificado	0,5	0,0211803	X
Casson	0,5	0,0211803	X
Bingahn	1,0	0,0211803	X
Oswalt	1,187	0,0211803	X
Herschel-Bulkley	1,25267	0,0211803	X

ANEXO 3: Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura y a 0,2 % de concentración del hidrocoloide

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo	35,4011	4	8,85028	3830,14	0,0000
B:Temperatura	0,00290479	2	0,0014524	0,63	0,5578
RESIDUOS	0,0184856	8	0,00231069		
TOTAL (CORREGIDO)	35,4225	14			

ANEXO 4: Pruebas de Múltiple Rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el Índice de consistencia (K) por modelo reológico a 6 °C, 10 °C y 15 °C de temperatura y a 0,2 % de concentración del hidrocoloide

Modelos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Herschel Bulkley	0,000321145	0,027753	X
Oswalt	0,0303333	0,027753	X
Bingahn	0,0604713	0,027753	X
Casson	0,254794	0,027753	X
Casson Modificado	3,92067	0,027753	X

ANEXO 5: Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	2,4295	4	0,607375	158,98	0,0000
B:Temperatura	0,0237341	3	0,00791138	2,07	0,1577
RESIDUOS	0,0458466	12	0,00382055		
TOTAL (CORREGIDO)	2,49908	19			

ANEXO 6: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson	0,5	0,0309053	X
Casson Modificado	0,5	0,0309053	X
Bingahn	1,0	0,0309053	X
Oswalt	1,19725	0,0309053	X
Herschel Bulkley	1,335	0,0309053	X

ANEXO 7: Análisis de varianza para el índice de consistencia(K) a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide .

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	34,6722	4	8,66804	4110,27	0,0000
B:Temperatura	0,00428642	3	0,00142881	0,68	0,5824
RESIDUOS	0,0253065	12	0,00210888		
TOTAL (CORREGIDO)	34,7018	19			

ANEXO 8. Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia (k) por modelo reológico a 6 °C, 10 °C, 15 °C y 20 °C de temperatura al 0,6 % de concentración del hidrocoloide

<i>Modelo Reológico</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Herschel Bulkley	0,000246475	0,0229613	X
Oswalt	0,03375	0,0229613	X
Bingahn	0,078141	0,0229613	X
Casson	0,291314	0,0229613	X
Casson Mod. por Ste	3,38275	0,0229613	X

ANEXO 9: Análisis de Varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	5,75803	4	1,43951	37,66	0,0000
B:Temperatura	0,328007	5	0,0656013	1,72	0,1768
RESIDUOS	0,764386	20	0,0382193		
TOTAL (CORREGIDO)	6,85043	29			

ANEXO 10: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico (n) por Modelo Reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson Mod. por Ste	0,5	0,0798116	X
Casson	0,5	0,0798116	X
Bingahn	1,0	0,0798116	X
Oswalt	1,24577	0,0798116	X
Herschel Bulkley	1,63416	0,0798116	X

ANEXO 11: Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	36,5307	4	9,13266	699,01	0,0000
B:Temperatura	0,0250095	5	0,00500191	0,38	0,8546
RESIDUOS	0,261302	20	0,0130651		
TOTAL (CORREGIDO)	36,817	29			

ANEXO 12: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia por modelo reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,0 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Herschel Bulkley	0,000447595	0,0466639	X
Oswalt	0,0470206	0,0466639	X
Bingahn	0,109945	0,0466639	X
Casson	0,345422	0,0466639	X
Casson Modificado	2,86844	0,0466639	X

ANEXO 13: Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	3,22682	4	0,806705	15,38	0,0000
B:Temperatura	0,628344	5	0,125669	2,40	0,0739
RESIDUOS	1,0487	20	0,0524349		
TOTAL (CORREGIDO)	4,90386	29			

ANEXO 14: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson Modifivado	0,5	0,0934835	X
Casson	0,5	0,0934835	X
Bingahn	1,0	0,0934835	X
Oswalt	1,09595	0,0934835	X
Herschel Bulkley	1,31357	0,0934835	X

ANEXO 15: Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	32,4966	4	8,12414	1267,97	0,0000
B:Temperatura	0,0582723	5	0,0116545	1,82	0,1548
RESIDUOS	0,128144	20	0,00640718		
TOTAL (CORREGIDO)	32,683	29			

ANEXO 16: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia por modelo reológico a 27 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,3 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Herschel Bulkley	0,00599894	0,0326782	X
Bingahn	0,104182	0,0326782	X
Oswalt	0,129331	0,0326782	X
Casson	0,362587	0,0326782	X
Casson Modificado	2,73597	0,0326782	X

ANEXO 17: Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	1,16621	4	0,291553	25,48	0,0000
B:Temperatura	0,114772	4	0,028693	2,51	0,0832
RESIDUOS	0,183067	16	0,0114417		
TOTAL (CORREGIDO)	1,46405	24			

ANEXO 18: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson	0,5	0,0478366	X
Casson Modificado	0,5	0,0478366	X
Oswalt	0,865797	0,0478366	X
Herschel Bulkley	0,93103	0,0478366	X
Bingahn	1,0	0,0478366	X

ANEXO 19: Análisis de varianza para el Índice de Consistencia (K) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	162,511	4	40,6278	1,47	0,2584
B:Temperatura	303,509	4	75,8772	2,74	0,0654
RESIDUOS	443,082	16	27,6926		
TOTAL (CORREGIDO)	909,102	24			

ANEXO 20: Pruebas de múltiple rangos con el mMétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia por modelo reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,5 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Herschel Bulkley	0,330813	2,35341	X
Casson	1,29163	2,35341	X
Casson Modificado	1,6132	2,35341	X
Bingahn	3,65889	2,35341	X
Oswalt	7,49189	2,35341	X

ANEXO 21: Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	1,02536	4	0,256341	10,13	0,0003
B:Temperatura	0,24143	4	0,0603575	2,38	0,0946
RESIDUOS	0,404936	16	0,0253085		
TOTAL (CORREGIDO)	1,67173	24			

ANEXO 22: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson Modificado	0,5	0,0711456	X
Casson	0,5	0,0711456	X
Oswalt	0,776908	0,0711456	XX
Herschel Bulkley	0,885575	0,0711456	X
Bingahn	1,0	0,0711456	X

ANEXO 23: ANEXO 1:Cuadro 39: Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	574,996	4	143,749	2,07	0,1330
B:Temperatura	431,098	4	107,775	1,55	0,2355
RESIDUOS	1112,64	16	69,5398		
TOTAL (CORREGIDO)	2118,73	24			

ANEXO24: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el Índice de consistencia por modelo reológico a 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 1,7 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Herschel Bulkley	0,752853	2,35341	X
Casson	1,29163	2,35341	X
Casson Mod. por Ste	1,6132	2,35341	X
Bingahn	3,65889	2,35341	X
Oswalt	7,49189	2,35341	X

ANEXO 25: Análisis de varianza para el índice de comportamiento reológico (n) a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	0,970368	4	0,242592	7,57	0,0013
B:Temperatura	0,263782	4	0,0659455	2,06	0,1342
RESIDUOS	0,512446	16	0,0320279		
TOTAL (CORREGIDO)	1,7466	24			

ANEXO 26: Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 %, para el índice de comportamiento reológico por Modelo Reológico a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Casson	0.5	0.0800348	X
Casson Modificado	0.5	0.0800348	X
Oswalt	0.681673	0.0800348	XX
Herschel Bulkley	0.854938	0.0800348	X
Bingahn	1.0	0.0800348	X

ANEXO 27: Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Modelo Reológico	1414,54	4	353,634	2,29	0,1046
B:Temperatura	628,414	4	157,104	1,02	0,4278
RESIDUOS	2470,27	16	154,392		
TOTAL (CORREGIDO)	451322	24			

ANEXO 28. Pruebas de múltiple rangos con el MétodoTukey al 95,0 % para el índice de consistencia por modelo reológico a 35 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C y 70 °C de temperatura al 2,0 % de concentración del hidrocoloide.

Modelo Reológico	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Power low Modelo Cos	0,357914	5.55683	X
Casson	0,881174	5.55683	X
Casson Mod. por Ste	0,967636	5.55683	X
Bingahn	1,26583	5.55683	X
Oswalt	19,6591	5.55683	X

ANEXO 29: Análisis de Varianza para predecir el Coeficiente de consistencia (K) en función de la temperatura y la concentración del hidrocoloide del Nostoc

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
(1) Concentración (L)	1,308	1	1,308	942,620	0,000001
(2) Temperatura (L)	0,071	1	0,071	51,234	0,00078
1 y 2	0,045	1	0,045	30,670	0,0012
Error	0,0079	5	0,001		
Total SS	1.6929	10			

ANEXO 30. Parámetros reológicos del polisacárido en función de la temperatura y la concentración

0.20%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
6	0,037	1,146	0,999	1	0,0652	-0,104	0,998	0,5	0,2626	0,01324	0,9992	0,5	3,805	0,272	0,999	1,180	0,000513943	0,0132424	0,9985
10	0,030	1,185	0,995	1	0,0596	-0,106	0,997	0,5	0,2522	0,01637	0,9977	0,5	3,955	0,371	0,998	1,237	0,00031238	0,0163719	0,9932
15	0,024	1,230	1,000	1	0,0566	-0,133	0,997	0,5	0,2495	0,02813	0,9985	0,5	4,002	0,642	0,999	1,341	0,000137113	0,0281261	0,9995

0,60%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
6	0,041	1,147	0,989	1	0,0795	-0,203	0,989	0,5	0,2913	0,03018	0,9893	0,5	3,396	0,558	0,989	1,21	0,0004542	0,0301844	0,9926
10	0,038	1,171	0,992	1	0,0812	-0,225	0,986	0,5	0,2952	0,03753	0,9883	0,5	3,348	0,674	0,988	1,26	0,0003283	0,0375322	0,9955
15	0,033	1,190	0,960	1	0,0806	-0,281	0,974	0,5	0,2962	0,05789	0,9704	0,5	3,276	1,140	0,970	1,34	0,0001606	0,0578857	0,9699
20	0,023	1,281	0,995	1	0,0713	-0,226	0,989	0,5	0,2826	0,05889	0,9921	0,5	3,511	1,092	0,992	1,53	0,0000428	0,0588934	0,9998

1,00%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
27	0,106	1,066	0,999	1	0,1402	-0,151	0,997	0,5	0,3784	0,00881	0,9977	0,5	2,636	0,088	0,998	1,07	0,0021784	0,0088065	0,9989
35	0,061	1,147	0,956	1	0,1274	-0,295	0,984	0,5	0,3681	0,05278	0,9765	0,5	2,653	0,633	0,977	1,29	0,0003666	0,0527773	0,9684
40	0,047	1,203	0,969	1	0,1178	-0,301	0,983	0,5	0,3562	0,06409	0,9808	0,5	2,753	0,798	0,981	1,44	0,0001254	0,0640948	0,9839
50	0,029	1,326	0,997	1	0,1049	-0,365	0,983	0,5	0,3441	0,10672	0,9892	0,5	2,875	1,339	0,989	1,76	0,0000123	0,1067174	0,9946
60	0,022	1,357	0,998	1	0,09	-0,316	0,985	0,5	0,3205	0,10049	0,9912	0,5	3,093	1,433	0,991	1,96	0,0000027	0,1004908	0,9845
70	0,018	1,376	0,953	1	0,0794	-0,299	0,985	0,5	0,3052	0,11180	0,9767	0,5	3,201	1,872	0,977	2,28	0,0000002	0,1118036	0,981

1,00%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
12	9,320	0,245	0,982	1	0,9813	7,9049	0,936	0,5	1,0995	5,88375	0,9879	0,5	0,899	3,520	0,988	0,62	0,541214063	5,8837524	0,9873
15	4,918	0,314	0,941	1	0,5342	4,3045	0,944	0,5	0,8474	2,81866	0,9875	0,5	1,165	2,823	0,987	0,66	0,254579524	2,818664	0,9769
20	4,878	0,301	0,974	1	0,4595	4,3763	0,94	0,5	0,7788	2,66582	0,9308	0,5	1,257	1,909	0,931	0,91	0,075370311	2,9696199	0,7885
25	1,325	0,840	0,915	1	0,6471	1,5143	0,95	0,5	0,798	0,30560	0,9316	0,5	1,167	0,196	0,932	0,99	0,020264438	0,3056	0,8765
30	0,163	0,886	0,999	1	0,1131	0,0793	0,995	0,5	0,3392	0,00841	0,9974	0,5	2,940	0,052	0,997	0,91	0,004352153	0,0084147	0,9988
35	0,085	1,009	1,000	1	0,0865	-0,001	1	0,5	0,2943	0,00002	0,9999	0,5	3,397	0,000	1,000	1,01	0,001423747	1,643E-05	0,9999
40	0,069	1,084	0,996	1	0,0809	-0,005	1	0,5	0,2821	0,00049	0,9988	0,5	3,540	0,005	0,999	1,09	0,000784421	0,0004939	0,9956

Continuación

1,10%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
27	0,169	0,949	0,987	1	0,1497	-0,039	0,997	0,5	0,384	0,00024	0,9937	0,5	2,588	0,000	0,994	0,95	0,005872096	0,0002418	0,9866
35	0,078	1,087	0,991	1	0,1232	-0,216	0,986	0,5	0,3551	0,02074	0,9875	0,5	2,781	0,262	0,987	1,13	0,001164198	0,0207379	0,9935
40	0,069	1,092	0,988	1	0,1118	-0,22	0,985	0,5	0,3392	0,02232	0,9866	0,5	2,909	0,322	0,987	1,14	0,001063940	0,0223238	0,9914
50	0,040	1,206	0,994	1	0,0937	-0,262	0,99	0,5	0,3197	0,05159	0,9919	0,5	3,103	0,759	0,992	1,32	0,000241153	0,0515927	0,9978
60	0,029	1,304	0,996	1	0,0963	-0,321	0,98	0,5	0,3269	0,08278	0,9877	0,5	3,021	1,178	0,988	1,63	0,000030199	0,08278	0,9861
70	0,028	1,227	0,983	1	0,074	-0,228	0,988	0,5	0,2861	0,05148	0,987	0,5	3,450	0,972	0,987	1,39	0,000116022	0,0514826	0,9901

1,20%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
27	0,250	0,838	0,981	1	0,1463	0,1502	0,999	0,5	0,3731	0,02304	0,9954	0,5	2,668	0,206	0,995	0,85	0,01208086	0,0230431	0,9823
35	0,055	1,247	0,987	1	0,1464	-0,31	0,993	0,5	0,3992	0,07439	0,9911	0,5	2,483	0,672	0,991	1,52	0,00009203	0,0743883	0,997
40	0,057	1,066	0,966	1	0,0883	-0,172	0,985	0,5	0,3014	0,01661	0,9769	0,5	3,241	0,341	0,977	1,11	0,00100701	0,0166149	0,9696
50	0,039	1,295	0,990	1	0,1316	-0,468	0,98	0,5	0,3844	0,12952	0,9844	0,5	2,561	1,342	0,984	1,65	0,00003293	0,1295242	0,9999
60	0,025	1,392	0,999	1	0,1109	-0,402	0,983	0,5	0,3571	0,13700	0,9911	0,5	2,775	1,570	0,991	2,73	0,00000002	0,1370041	0,9073
70	0,023	1,320	0,995	1	0,0793	-0,262	0,989	0,5	0,2999	0,07760	0,9918	0,5	3,307	1,265	0,992	1,70	0,00001468	0,0775998	0,9985

1,30%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
27	0,331	0,751	0,987	1	0,1381	0,2866	0,998	0,5	0,3569	0,06961	0,9939	0,5	2,785	0,694	0,994	0,81	0,017148879	0,069608	0,9869
35	0,240	0,738	0,942	1	0,1287	0,0759	0,992	0,5	0,344	0,02204	0,9773	0,5	2,841	0,186	0,977	0,76	0,016279296	0,0220429	0,9457
40	0,110	1,029	0,981	1	0,1398	-0,173	0,993	0,5	0,3773	0,00993	0,9877	0,5	2,618	0,122	0,988	1,04	0,002535168	0,0099313	0,9818
50	0,039	1,337	0,999	1	0,1376	-0,41	0,99	0,5	0,3937	0,12343	0,995	0,5	2,527	1,108	0,995	1,74	0,000017648	0,1234276	0,9919
60	0,032	1,330	0,997	1	0,1126	-0,359	0,985	0,5	0,3557	0,10625	0,991	0,5	2,786	1,196	0,991	1,76	0,000012321	0,1062549	0,9945
70	0,025	1,390	1,000	1	0,1059	-0,34	0,988	0,5	0,3479	0,11617	0,9946	0,5	2,859	1,336	0,995	2,30	0,000000309	0,1161656	0,9482

Continuación

1,40%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
30	0,953	0,801	0,984	1	0,5269	0,5426	0,976	0,5	0,6924	0,10830	0,9774	0,5	1,412	0,259	0,977	0,89	0,039567004	0,1082993	0,9746
40	0,293	0,903	1,000	1	0,2109	0,1761	0,999	0,5	0,4487	0,01637	0,9996	0,5	2,228	0,113	1,000	0,91	0,012116698	0,0163678	0,9999
50	0,175	1,019	0,999	1	0,1846	-0,017	1	0,5	0,4299	0,00018	0,9995	0,5	2,325	0,001	1,000	1,02	0,004966116	0,00018	0,9991
60	0,116	1,097	0,999	1	0,1702	-0,184	0,997	0,5	0,4179	0,01434	0,9983	0,5	2,389	0,120	0,998	1,12	0,002151522	0,0143353	0,9991
70	0,078	1,153	1,000	1	0,1434	-0,226	0,995	0,5	0,3875	0,02941	0,9973	0,5	2,574	0,285	0,997	1,21	0,000889418	0,0294139	0,9996

1,50%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
30	26,967	0,725	0,993	1	15,82	9,1056	0,955	0,5	3,8532	2,29925	0,975	0,5	0,253	0,158	0,975	0,83	1,246765	2,2992505	0,987
40	9,924	0,593	1,000	1	1,9317	13,893	0,975	0,5	1,3345	5,37377	0,9894	0,5	0,741	3,497	0,989	0,77	0,386206	5,373765	0,9898
50	0,299	0,847	0,992	1	0,1923	0,1431	0,998	0,5	0,4227	0,02211	0,9953	0,5	2,355	0,160	0,995	0,86	0,014995	0,0221119	0,9925
60	0,167	1,030	1,000	1	0,1832	-0,033	1	0,5	0,4307	0,00087	0,9999	0,5	2,322	0,007	1,000	1,03	0,004535	0,0008743	0,9999
70	0,103	1,133	0,997	1	0,1668	-0,165	0,999	0,5	0,4171	0,01861	0,9989	0,5	2,395	0,153	0,999	1,16	0,001564	0,0186101	0,9959

1,60%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
30	37,123	0,605	0,924	1	8,8036	50,044	0,935	0,5	2,8558	20,16482	0,9231	0,5	0,323	1,625	0,923	0,79	1,25934	20,164824	0,8954
40	9,152	0,717	0,940	1	2,5714	15,369	0,951	0,5	1,5425	4,58638	0,9466	0,5	0,614	1,640	0,947	1,05	0,08541	4,5863754	0,8221
50	0,345	0,933	1,000	1	0,2792	0,1101	0,999	0,5	0,5229	0,00651	0,9997	0,5	1,912	0,032	1,000	0,94	0,01235	0,0065085	1
60	0,204	0,985	0,998	1	0,1859	0,0729	0,998	0,5	0,4296	0,00167	0,9976	0,5	2,322	0,011	0,998	0,99	0,00613	0,0016667	0,9979
70	0,152	1,043	0,999	1	0,1698	-0,018	1	0,5	0,4144	0,00066	0,9999	0,5	2,413	0,005	1,000	1,05	0,00365	0,0006568	0,9992

continuación

1,70%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
30	45,361	0,302	0,979	1	6,1965	40,558	0,924	0,5	2,4216	27,99331	0,9664	0,5	0,399	4,291	0,966	0,62	2,84790	27,99331	0,9816
40	18,168	0,526	0,995	1	3,6671	17,699	0,963	0,5	1,8643	7,71206	0,9873	0,5	0,530	2,529	0,987	0,74	0,82336	7,71206	0,9938
50	2,730	0,923	0,999	1	2,0261	2,1198	0,999	0,5	1,4048	0,15968	0,9993	0,5	0,711	0,094	0,999	0,93	0,08398	0,15968	0,9993
60	0,233	1,034	0,998	1	0,2456	0,0165	0,999	0,5	0,4976	0,00005	0,999	0,5	2,008	0,000	0,999	1,03	0,00586	0,00005	0,9978
70	0,169	1,099	0,994	1	0,2141	-0,041	1	0,5	0,4676	0,00325	0,999	0,5	2,137	0,021	0,999	1,11	0,00316	0,00325	0,9938

1,90%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
35	47,497	0,353	0,916	1	4,7705	51,712	0,695	0,5	2,0086	32,88641	0,8051	0,5	0,401	4,988	0,805	1,06	0,34606	32,88641	0,7833
40	23,039	0,441	0,974	1	1,6806	42,549	0,877	0,5	1,1967	23,55579	0,9279	0,5	0,775	15,228	0,928	0,79	0,44536	23,55579	0,9056
50	2,738	0,335	0,975	1	0,2807	2,8402	0,887	0,5	0,4472	1,86856	0,9307	0,5	2,081	10,396	0,931	0,77	0,07833	1,86856	0,8894
60	0,335	0,976	1,000	1	0,3049	0,06	0,999	0,5	0,5518	0,00117	0,9994	0,5	1,811	0,005	0,999	0,98	0,01083	0,00117	0,9998
70	0,240	0,998	1,000	1	0,2377	0,0058	1	0,5	0,4874	0,00001	1	0,5	2,052	0,000	1,000	1,00	0,00722	0,00001	1

2,00%	Oswalt			Bingahn				casson				Casson Mod. por Steiner				Power low Modelo Costell y Duran			
T (C)	K	n	r ²	n	k	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²	n	k'	τ _o	r ²
35	63,655	0,165	0,992	1	0,7269	82,767	0,882	0,5	0,7701	69,251415	0,9483	0,5	1,232	126,80	0,948	0,68	0,850718	69,25141	0,8971
40	31,081	0,317	0,998	1	1,073	50,52	0,95	0,5	0,9347	34,494198	0,9816	0,5	1,050	46,066	0,982	0,66	0,847436	34,49420	0,9694
50	2,801	0,960	0,999	1	2,3487	1,7635	0,997	0,5	1,5295	0,0680928	0,9976	0,5	0,652	0,027	0,998	0,96	0,066070	0,068093	0,9987
60	0,424	0,960	1,000	1	0,3806	0,0643	1	0,5	0,6105	0,0025449	0,9997	0,5	1,637	0,010	1,000	0,96	0,015257	0,002545	0,9998
70	0,334	1,006	0,993	1	0,3089	0,168	0,982	0,5	0,5611	0,0019391	0,9862	0,5	1,758	0,003	0,986	1,01	0,010091	0,001939	0,9926

