

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AGROINDUSTRIAL



**“COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL HIDROCOLOIDE
PROVENIENTE DEL CUSHURO (*N. Commune* y *N. Sphaericum*)
OBTENIDO POR LIOFILIZACION Y AIRE CALIENTE”**

PRESENTADO POR:

Bach. YUPANQUI BACILIO CARLA IVON

Bach. TORRES MAZA ANTONY JOEL

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

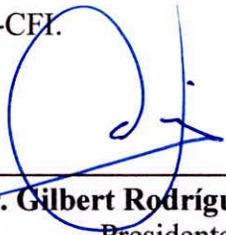
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

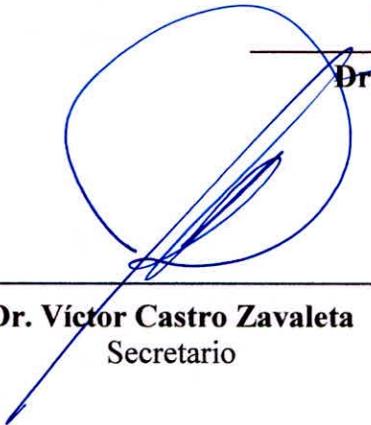


HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “**COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE PROVENIENTE DEL CUSHURO (*N. Commune* y *N. Sphaericum*) OBTENIDO POR LIOFILIZACIÓN Y AIRE CALIENTE**”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los Bachilleres YUPANQUI BACILIO CARLA IVON y TORRES MAZA ANTONY JOEL, teniendo como asesor al docente Dr. Víctor Castro Zavaleta, designado por resolución N° 274-2016-UNS-FI . Ha sido revisado y aprobado el día 08 de Noviembre del 2018 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N°471-2018-UNS-CFI.



Dr. Gilbert Rodríguez Paucar
Presidente



Dr. Víctor Castro Zavaleta
Secretario



Ms. Jorge Domínguez Castañeda
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 8:00 a.m. del 08 de Noviembre del dos mil dieciocho se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N°471-2018-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Gilbert Rodríguez Paucar (Presidente)
- Dr. Víctor Castro Zavaleta (Secretario)
- Ms. Jorge Domínguez Castañeda (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE PROVENIENTE DEL CUSHURO (*N. Commune* y *N. Sphaericum*) OBTENIDO POR LIOFILIZACIÓN Y AIRE CALIENTE”, elaborada por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- Yupanqui Bacilio Carla Ivon
- Torres Maza Antony Joel

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Víctor Castro Zavaleta**

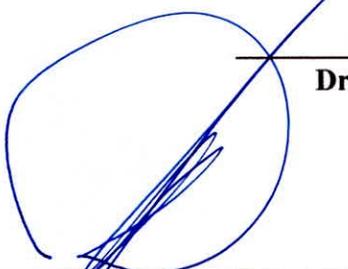
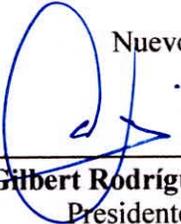
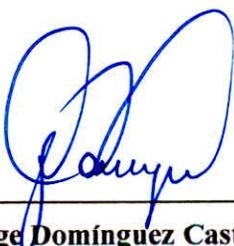
Finalizada la sustentación, los Tesistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
- Torres Maza Antony Joel	19	EXCELENTE

Siendo las 9:00 a.m. del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 08 de Noviembre del 2018.

 _____ Dr. Víctor Castro Zavaleta Secretario	 _____ Dr. Gilbert Rodríguez Paucar Presidente	 _____ Ms. Jorge Domínguez Castañeda Integrante
---	---	---

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 8:00 a.m. del 08 de Noviembre del dos mil dieciocho se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N°471-2018-UNS-CFI integrado por los docentes:

- Dr. Gilbert Rodríguez Paucar (Presidente)
- Dr. Víctor Castro Zavaleta (Secretario)
- Ms. Jorge Domínguez Castañeda (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE PROVENIENTE DEL CUSHURO (*N. Commune* y *N. Sphaericum*) OBTENIDO POR LIOFILIZACIÓN Y AIRE CALIENTE”, elaborada por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- Yupanqui Bacilio Carla Ivon
- Torres Maza Antony Joel

Asimismo, tienen como Asesor al docente: **Dr. Víctor Castro Zavaleta**

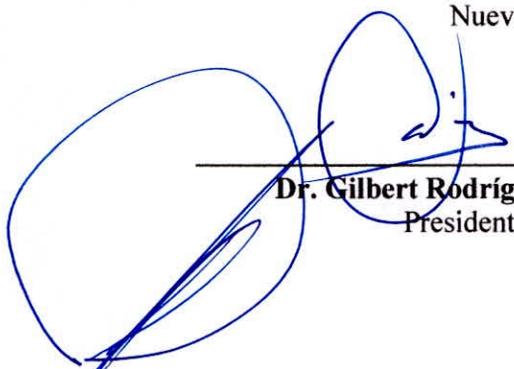
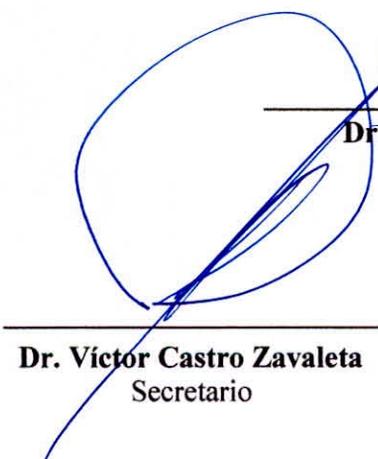
Finalizada la sustentación, los Tesistas respondieron las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
- Yupanqui Bacilio Carla Ivon	19	EXCELENTE

Siendo las 9:00 a.m. del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 08 de Noviembre del 2018.

 _____ Dr. Gilbert Rodríguez Paucar Presidente	 _____ Ms. Jorge Domínguez Castañeda Integrante	
 _____ Dr. Víctor Castro Zavaleta Secretario		

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



**“COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL HIDROCOLOIDE PROVENIENTE
DEL CUSHURO (*N. Commune* y *N. Sphaericum*) OBTENIDO POR
LIOFILIZACION Y AIRE CALIENTE”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TESISTAS:

Bach. YUPANQUI BACILIO CARLA IVON

Bach. TORRES MAZA ANTONY JOEL

ASESOR:

Dr. CASTRO ZAVALA VÍCTOR

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Este trabajo representa no solo la culminación de mis estudios universitarios que realicé durante 5 años con trabajo y dedicación, representa también el aliento, esfuerzo y amor de mis queridos padres Nélida Bacilio Merejildo y Manuel Yupanqui Avalos, a quienes dedico este trabajo de investigación y la culminación de mi carrera satisfactoriamente.

Gracias a ellos porque a pesar de los momentos difíciles siempre han estado brindándome su incondicional apoyo, cariño y comprensión; son mi motivación y mi fortaleza de cada día.

A mis 3 hermanos: Ingryd, Fernanda y Adriano por compartir conmigo risas, alegrías, y también enojos pero a pesar de todo por el gran cariño que siempre me dan.

De manera muy especial a mis amados abuelitos: Estela Merejildo Peláez e Isidro Bacilio Lázaro porque son el mejor ejemplo a seguir de humildad, honradez, laboriosidad y perseverancia; porque me apoyaron en cada momento de mis estudios y celebran cada paso que doy.

A mis profesores y compañeros con quienes compartí muchas experiencias y gratos momentos por sus enseñanzas y compañía.

Yupanqui Bacilio Carla Ivon

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza y cubrirme de bendiciones siempre.

A mis padres por el apoyo constante e incondicional.

A nuestro asesor Dr. Víctor Castro Zavaleta por su apoyo y guía, asimismo agradecer a los docentes que desinteresadamente nos orientaron y guiaron en diferentes aspectos para la realización de este trabajo.

A mis amigos por su afecto, confianza, respeto y apoyo durante todos estos años de estudio, en especial a mi compañera de Tesis, por su apoyo y paciencia.

Muchas gracias

Torres Maza Antony Joel

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer Dios por darnos fortaleza, paciencia y salud para realizar este proyecto.

A nuestros padres y familiares por su apoyo constante y motivación que nos permitió culminar satisfactoriamente esta investigación.

Un agradecimiento muy especial a nuestro asesor Dr. Víctor Castro Zavaleta y al estimado profesor Dr. Gilbert Rodríguez Paucar por su guía, orientación y soporte desde el inicio de este proyecto de investigación hasta su culminación. Así mismo al Ing. Lenin Palacios por las facilidades de los equipos utilizados, guía desinteresada y su generosa amabilidad.

RESUMEN

Actualmente los consumidores se preocupan cada día más por las nuevas tecnologías y piden que los alimentos sean lo más naturales, seguros y lo menos procesados posible. Por ello los aditivos alimentarios, como los estabilizantes (espesantes) deben ser también lo más naturales posibles, una alternativa es la extracción del hidrocoloide de la alga andina denominada "Cushuro", que abunda en nuestro país. El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de los métodos de secado por liofilización y aire caliente, en el comportamiento reológico del hidrocoloide en polvo obtenido a partir de dos especies de Cushuro (*N. Comune* y *N. Sphaericum*). De la materia prima (alga fresca) proveniente de Catac - Recuay se extrajo el hidrocoloide y se deshidrató, obteniendo así un producto en seco. Luego las 4 muestras de hidrocoloide en polvo se diluyeron en agua al 0.15% y 0.25%, y se evaluaron en un reómetro de cilindros concéntricos con lecturas a 7, 20, 40, 60 y 80°C. Asimismo bajo estos parámetros se diluyó las muestras de hidrocoloide y CMC en condiciones de néctar (12°Brix y 4.5 pH) para su posterior comparación. Las 4 muestras de hidrocoloide disueltas en agua se ajustaron mejor al modelo reológico de Herschel-Bulkley con un R^2 de 0.9977, las variables de especie, método de secado y su interacción influyeron significativamente en la viscosidad (Pa.s), siendo el hidrocoloide de la especie *N.Sphaericum* obtenido por liofilización el que sobresalió por tener mayor viscosidad a 7°C y a 0.25% con un valor de 0.1183 Pa.s ; superando 4 veces más al hidrocoloide de la especie *N. Comune* obtenido por aire caliente con una baja viscosidad de 0.0280 Pa.s a las mismas condiciones de evaluación. Además el hidrocoloide con mayor viscosidad mantuvo un comportamiento pseudoplástico a diferencia de los otros 3 hidrocoloides que tuvieron un comportamiento dilatante y entre las cuales no existió diferencia significativa en sus valores de viscosidad. Asimismo se evaluó el efecto de la temperatura del hidrocoloide más viscoso, mediante el modelo de Arrhenius, donde hubo

influencia del ritmo cortante sobre la Ea, y el efecto de la concentración adecuándose mejor al modelo potencial. Por otro lado, de las muestras que se diluyeron en condiciones de Néctar, no existió diferencia en el modelo que describe mejor el comportamiento tanto de los hidrocoloides como del CMC y fue el modelo de Herschel-Bulkley. De la misma forma se observó una disminución de la viscosidad al pasar de diluir en agua a diluir en condiciones de néctar. Realizando comparaciones se obtuvo que 3 de los hidrocoloides (*N.Sphaericum*-Liofilizado, *N.Sphaericum*- Aire Caliente y *N.Commune*-Liofilizado) superaron al CMC en cuanto a los valores de viscosidad y solo un hidrocoloide (*N.Commune* - Aire caliente) mostro valores inferiores, sin embargo esta diferencia no es significativa y el CMC puede ser reemplazado por cualquiera de ellos, pero la mejor opción es la especie *N.Sphaericum* por liofilizado por necesitar tan solo una concentración de 0.0758% para alcanzar la viscosidad del CMC al 0.15%.

Palabras Claves: Hidrocoloide, *Nostoc*, Liofilizado, Aire Caliente, Reología.

ABSTRAC

urrently consumers are increasingly concerned about new technologies and ask that food be as natural, safe and as less processed as possible. Therefore food additives, such as stabilizers (thickeners) must also be as natural as possible, an alternative is the extraction of the hydrocolloid from the Andean seaweed called "Cushuro", which is abundant in our country. The objective of this work was to evaluate the influence of drying methods by freeze drying and hot air, on the rheological behavior of the powdered hydrocolloid obtained from two species of Cushuro (N. Comune and N. Sphaericum). From the raw material (fresh seaweed) from Catac - Recuay, the hydrocolloid was extracted and dehydrated, obtaining a dry product. Then the 4 samples of hydrocolloid powder were diluted in 0.15% and 0.25% water, and were evaluated in a concentric cylinder rheometer with readings at 7, 20, 40, 60 and 80 ° C. Also, under these parameters, the hydrocolloid and CMC samples were diluted under nectar conditions (12 ° Brix and 4.5 pH) for later comparison. The 4 samples of hydrocolloid dissolved in water were better adjusted to the rheological model of Herschel-Bulkley with an R2 of 0.9977, the variables of species, method of drying and their interaction significantly influenced in viscosity (Pa.s), being the hydrocolloid of the N.Sphaericum species obtained by lyophilization which stood out for having a higher viscosity at 7 ° C and 0.25% with a value of 0.1183 Pa.s; exceeding 4 times more the hydrocolloid of the species N. Commune obtained by hot air with a low viscosity of 0.0280 Pa.s at the same evaluation conditions. In addition, the hydrocolloid with higher viscosity maintained a pseudoplastic behavior unlike the other 3 hydrocolloids that had a dilatant behavior and between which there was no significant difference in their viscosity values. Likewise, the effect of the temperature of the most viscous hydrocolloid was evaluated, by means of the Arrhenius model, where there was influence of the cutting rate on the Ea, and the effect of the concentration adapting better

to the potential model. On the other hand, of the samples that were diluted in Nectar conditions, there was no difference in the model that best describes the behavior of both hydrocolloids and CMC and was the Herschel-Bulkley model. In the same way a decrease in viscosity was observed when going from diluting in water to diluting in nectar conditions. Making comparisons it was obtained that 3 of the hydrocolloids (N.Sphaericum-Lyophilized, N.Sphaericum-Aire Caliente and N.Commune-Lyophilized) exceeded the CMC in terms of viscosity values and only one hydrocolloid (N.Commune - Hot air) showed lower values, however this difference is not significant and the CMC can be replaced by any of them, but the best option is the N.Sphaericum species by freeze-dried, needing only a concentration of 0.0758% to reach the viscosity of the CMC at 0.15%..

Key Words: Hydrocolloid, *Nostoc*, Lyophilized, Hot Air, Rheology.

INDICE GENERAL

	Pág.
<i>DEDICATORIA</i>	2
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN	1
<i>ABSTRAC</i>	3
INDICE GENERAL.....	5
I. INTRODUCCION.....	17
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	19
2.1. <i>NOSTOC</i>	19
2.1.1. ESPECIES:.....	21
2.2. LOS HIDROCOLOIDES	24
2.3. MÉTODOS DE SECADO	28
2.3.1. SECADO POR BANDEJA:.....	29
2.3.2. LIOFILIZACIÓN:.....	32
2.4. REOLOGÍA.....	38
2.4.1. REOLOGIA DE LOS ALIMENTOS.....	39
2.4.2. VISCOSIDAD.....	40
2.4.3. FLUIDOS NEWTONIANOS	43
2.4.4. FLUIDOS NO NEWTONIANOS	44
2.4.5. MODELOS REOLÓGICOS	44

2.5.	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO.....	49
2.6.	INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION DE SOLIDOS SOLUBLES EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO.....	51
III.	MATERIALES Y METODOS:.....	53
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	53
3.2.	MATERIALES	53
3.3.	PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DEL HIDROCOLOIDE:	56
3.3.1.	Diagrama de Flujo del procedimiento de obtención de hidrocoloide.	59
3.4.	MÉTODOS DE ANALISIS:.....	60
3.4.1.	ANÁLISIS REOLÓGICO.....	60
3.4.2.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA	61
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	63
4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL HIDROCOLOIDE	63
4.2.	EVALUACION DE COMPORTAMIENTO AL FLUJO	67
4.2.1.	REOGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE (τ) VS RITMO CORTANTE (γ)	67
4.2.2.	REOGRAMA DE VISCOSIDAD APARENTE	67
4.3.	AJUSTE DE DATOS A MODELOS REOLOGICOS.....	69
4.4.	MEJOR REGRESION:	79
4.5.	EVALUACIÓN DE VARIABLES (Métodos de secado-Especie) sobre la viscosidad Aparente	80

4.6.	EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACION EN LA VISCOSIDAD APRENTE DEL HIDROCOLOIDE	87
4.6.1.	Efecto de la temperatura	87
4.6.2.	Efecto de la concentración	91
4.6.3.	Efecto combinado Temperatura-Concentración.....	94
4.7.	EVALUACIONES COMPARATIVAS ENTRE CMC CON HIDROCOLOIDE A 12°BRIX Y 4.5 pH.....	96
4.7.1.	Evaluación del comportamiento al flujo	96
4.7.2.	Ajuste de modelos Reológicas.....	98
4.7.3.	Viscosidad Aparente	99
4.7.4.	Efecto de la Temperatura.....	105
V.	CONCLUSIONES	108
VI.	RECOMENDACIONES.....	110
VII.	BIBLIOGRAFIA	111
VIII.	ANEXOS	123

INDICE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Gomas e hidrocoloides de importancia industrial	26
Tabla 2: Aplicación del método de liofilización en la industria de los alimentos	34
Tabla 3: Ecuaciones que describe en el comportamiento reológico de los fluidos independientes del tiempo.	45
Tabla 4: Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la temperatura detallando los parámetros y las constantes.	51
Tabla 5: Modelo experimental Multifactorial Categórico por Statgraphic, con 2 replicas	62
Tabla 6: Rendimiento (%) del hidrocoloide obtenido por Liofilización y Aire Caliente	63
Tabla 7: Contenido de Humedad del hidrocoloide obtenido de dos especies de Cushuro (Nostoc Commune y Nostoc Sphaericum) obtenido por los métodos de secado Liofilización y Aire Caliente.	65
Tabla 8: Composición Fisicoquímica del hidrocoloide obtenido de dos especies de Cushuro (Nostoc Commune y Nostoc Sphaericum) obtenido por los métodos de secado Liofilización y Aire Caliente en base seca.	66
Tabla 9: Valores de los parámetros del modelo de Bingham del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies N.Commune y N.Sphaericum	70
Tabla 10: Valores de los parámetros del modelo de Ostwald del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies N.Commune y N.Sphaericum	74
Tabla 11: Valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies N.Commune y N.Sphaericum a una concentración de 0.15%	77

Tabla 12: Valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies <i>N.Commune</i> y <i>N.Sphaericum</i> a una concentración de 0.25%	78
Tabla 13: Valores del coeficiente de determinación de los modelos reológicos para el flujo del esfuerzo cortante vs. Ritmo Cortante del hidrocoloide proveniente del cushuro (<i>N.Sphaericum</i> y <i>N.Commune</i>) secado por Liofilización y Aire Caliente	79
Tabla 14: Análisis estadístico del diseño experimental Multifactorial Categórico de las variables, especie (<i>N.Sphaericum</i> y <i>N.Commune</i>) y secado (Liofilización y Aire Caliente) sobre los valores de viscosidad aparente del hidrocoloide evaluado a temperaturas de 7, 20, 40, 60 y 80°C y concentraciones de 0.15% y 0.25%...	81
Tabla 15: Valores de viscosidad aparente a la concentración de 0.15% de hidrocoloide evaluado a temperaturas de 7, 20, 40, 60 y 80°C	85
Tabla 16: Valores de viscosidad aparente a la concentración de 0.25% de hidrocoloide evaluado a temperaturas de 7, 20, 40, 60 y 80°C	86
Tabla 17: Parámetros del efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente con la ecuación de Arrhenius para las concentraciones de 0.15% y 0.25% del hidrocoloide obtenido de la especie <i>N.Sphaericum</i> por Liofilización	90
Tabla 18: Valores de los parámetros que relacionan el efecto combinado Temperatura-Concentración sometidos a Ritmo cortante de $1s^{-1}$ hasta $300s^{-1}$ de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie <i>N.Sphaericum</i>	94
Tabla 19: Valores del coeficiente de determinación del ajuste a modelos reológicos del hidrocoloides y CMC al 0.15%	98

Tabla 20: Valores de viscosidad Aparente (Pa*s) de las evaluaciones reológicas del Hidrocoloide obtenidos en dos métodos de secados de las especies <i>Nostoc Commune</i> y <i>Nostoc Sphaericum</i> en comparación con el aditivo espesante CMC. Evaluados en Condiciones de Néctar al 0.15%.....	99
Tabla 21: Disminución de viscosidad (Pa*s) del hidrocoloide y CMC a la concentración de 0.15% al cambiar el medio de disolución de agua a condiciones de néctar expresado en porcentajes (%) de pérdida.....	100
Tabla 22: Valores P de la comparación de los valores de viscosidad del CMC con los hidrocoloides (<i>N. Commune</i> y <i>N. Sphaericum</i>).....	103
Tabla 23: Valores de la concentración necesaria de los hidrocoloides estudiados para igualar la viscosidad del CMC al 0.15%	104
Tabla 24: Parámetros del efecto de la temperatura sobre la Viscosidad Aparente de la ecuación de Arrhenius al 0.15% de los hidrocoloides de las especies <i>N. Commune</i> y <i>N. Sphaericum</i> obtenidos por Liofilización y Aire Caliente.....	106

INDICE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Especie <i>N. Commune</i> Hidratada (izquierda) y deshidratada (derecha).	22
Figura 2: <i>Nostoc</i> en especie <i>Sphaericum</i>	23
Figura 3: Gráfico Humedad vs. Tiempo del proceso de secado por Aire Caliente.....	31
Figura 4: Etapas del proceso de liofilización.....	36
Figura 5: Estructura de un producto en proceso de liofilización.....	37
Figura 6: Clasificación de los fluidos en Newtoniano y No Newtoniano.....	41
Figura 7: Recolección de Especie <i>N. Sphaericum</i> . Laguna Cushurococha	53
Figura 8: Recolección de Especie <i>Nostoc Sphaericum</i> – Laguna Cushurococha.....	54

Figura 9: <i>Materia prima en estado fresco de la especie N.Sphaericum (Izquierda) y especie N.Commune (Derecha)</i>	56
Figura 10: <i>Proceso de lavado de materia prima</i>	57
Figura 11: <i>Etapa de precipitación con alcohol de 96° durante el proceso de extracción del hidrocoloide</i>	57
Figura 12: <i>Hidrocoloide de la especie N.Sphaericum deshidratado por Liofilización (Izquierda) y Aire Caliente (Derecha)</i>	58
Figura 13: <i>Proceso de tamizado de hidrocoloide con tela organza</i>	58
Figura 14: <i>Lectura de muestras de hidrocoloide con reómetro</i>	60
Figura 15: <i>Metodología para evaluación reológica de los hidrocoloides obtenidos por liofilización y aire Caliente provenientes de la especie N.Sphaericum y N.Commune</i>	61

INDICE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1: <i>Curvas características para un fluido newtoniano</i>	42
Gráfica 2: <i>Curvas de flujo (Viscosidad Aparente η_a vs. Ritmo Cortante $\dot{\gamma}$) de las soluciones al 0.25% con hidrocoloide obtenido por A. Caliente de la especie N.Commune y por liofilizado de la especie N.Sphaericum a temperaturas de 7 °C y 20°C</i>	68
Gráfica 3: <i>Reograma de Esfuerzo Cortante VS. Ritmo Cortante al 15% de hidrocoloides diluidos en agua y evaluados a 7 °C, Modelados según Ostwald</i>	72

Gráfica 4: Valores del índice de consistencia del modelo de Ostwald a una concentración de 0.25% de hidrocoloide obtenido del <i>N. Sphaericum</i> y <i>N. Commune</i> por Liofilizado y Aire Caliente	73
Gráfica 5: Valores del índice de consistencia del modelo de Herschel-Bulkle a una concentración de 0.15% de hidrocoloide obtenido del <i>N. Sphaericum</i> y <i>N. Commune</i> por Liofilizado y Aire Caliente	75
Gráfica 6: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenido por Liofilización y Aire Caliente del cushuro (<i>N.Sphaericum</i> y <i>N.Commune</i>) a la concentración de 0.15%.....	80
Gráfica 7: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenido por Liofilización y Aire Caliente del cushuro (<i>N.Sphaericum</i> y <i>N.Commune</i>) a la concentración de 0.25%.....	82
Gráfica 8: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenido por Liofilización del cushuro (<i>N.Sphaericum</i> y <i>N.Commune</i>) a la concentración de 0.25%	83
Gráfica 9: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenido por Aire Caliente del cushuro (<i>N.Sphaericum</i> y <i>N.Commune</i>) a la concentración de 0.25%	84
Gráfica 10: Ln de la viscosidad aparente frente a la inversa de la temperatura, del hidrocoloide obtenido por liofilización del <i>Nostoc Sphaericum</i> evaluado a diferentes ritmos cortantes (1/s) y modelado por la ecuación de Arrhenius linealizada.....	88
Gráfica 11: Viscosidad Aparente frente a la concentración del hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie <i>N.Sphaericum</i> con regresión potencial a diferentes velocidades de Ritmo Cortante 1/s.....	93

Gráfica 12: Viscosidad Aparente η_a (Pa*s) en función de la Temperatura ($1/^\circ\text{K}$) y Concentración (%) del hidrocoloide obtenido por Liofilización y <i>N.Sphaericum</i> sometido a Ritmo cortante de 300s^{-1}	95
Gráfica 13: Curvas de flujo (esfuerzo cortante τ en función del Ritmo Cortante γ) al 0.15% de hidrocoloides y CMC evaluado a 7°C	96
Gráfica 14: Curvas de Viscosidad Aparente en función del Ritmo Cortante ($1/\text{s}$) al 0.15% de hidrocoloides y CMC evaluado a 7°C	97
Gráfica 15: Curvas de flujo de Viscosidad Aparente vs Temperatura al 0.15% del hidrocoloide (<i>N. Sphaericum</i> obtenido por Liofilización y aire Caliente) y CMC disueltos en Agua y a condiciones de Néctar	100
Gráfica 16: Curvas de flujo de Viscosidad Aparente vs Temperatura al 0.15% de los hidrocoloides (<i>N. Sphaericum</i> y <i>N. Commune</i>) obtenidos por Liofilización y Aire Caliente) y CMC en a condiciones de Néctar	102
Gráfica 17: Ln de la Viscosidad Aparente frente a la inversa de la temperatura, de los hidrocoloides obtenidos por Liofilización y Aire Caliente de las especies <i>Nostoc Commune</i> y <i>Nostoc Sphaericum</i> en comparación del CMC, evaluados a 0.15% en condiciones de Néctar ($12^\circ\text{Brix} - 4.5\text{pH}$).	107

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie <i>N.Sphaericum</i> obtenido por liofilización evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C	124
Anexo 2: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie <i>N.Sphaericum</i> obtenido por Aire Caliente evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C	125

Anexo 3: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie <i>N.Commune</i> obtenido por Liofilización evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C	126
Anexo 4: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie <i>N.Commune</i> obtenido por Aire Caliente evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C	127
Anexo 5: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie <i>N.Sphaericum</i> obtenido por Liofilización y Aire Caliente evaluado al 0.15% en condiciones de Néctar (12°Brix-4.5Ph) a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C	128
Anexo 6: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie <i>N.Commune</i> obtenido por Liofilización y Aire Caliente evaluado al 0.15% en condiciones de Néctar (12°Brix-4.5Ph) a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C	129
Anexo 7: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de $1s^{-1}$ hasta $300 s^{-1}$ de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie <i>N.Sphaericum</i> evaluadas a 7°C.	130
Anexo 8: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de $1s^{-1}$ hasta $300 s^{-1}$ de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie <i>N.Sphaericum</i> evaluadas a 20°C.	131
Anexo 9: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de $1s^{-1}$ hasta $300 s^{-1}$ de las soluciones preparadas con	

<i>hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 40°C.</i>	132
Anexo 10: <i>Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de 1s-1 hasta 300 s-1 de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 60°C.</i>	133
Anexo 11: <i>Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de 1s-1 hasta 300 s-1 de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 80°C.</i>	134
Anexo 12: <i>Valores de los parámetros del modelo de Bingham de los hidrocoloides (obtenidos por liofilización y Aire Caliente de las especies N.Commune y N.Sphaericum) y CMC evaluados en condiciones de néctar (12°Brix-4.5pH)</i>	135
Anexo 13: <i>Valores de los parámetros del modelo de Ostwald de los hidrocoloides (obtenidos por liofilización y Aire Caliente de las especies N.Commune y N.Sphaericum) y CMC evaluados en condiciones de néctar (12°Brix-4.5pH)</i>	136
Anexo 14: <i>Valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley de los hidrocoloides (obtenidos por liofilización y Aire Caliente de las especies N.Commune y N.Sphaericum) y CMC evaluados en condiciones de néctar (12°Brix-4.5pH)</i>	137
Anexo 15: <i>Análisis estadístico según el diseño experimental Multifactorial Categórico de las variables, especie (N.Sphaericum y N.Commune) y secado</i>	

<i>(Liofilización y Aire Caliente) sobre los valores de viscosidad aparente evaluado a diferentes concentraciones y temperaturas.</i>	<i>138</i>
Anexo 16: <i>Análisis de varianza de índices de comportamiento (Modelo de Ostwald) a concentración de 0.25%.....</i>	<i>138</i>
Anexo 17: <i>Análisis de varianza entre valores del índice de consistencia del hidrocoloide al 0.15% obtenido del N. Commune y N. Sphaericum secado por liofilización y A. Caliente evaluado a temperara de 7, 20, 40, 60 y 80 °C..</i>	<i>138</i>
Anexo 18: <i>Curvas de flujo (esfuerzo cortante τ como función del Ritmo Cortante $\dot{\gamma}$) de las soluciones al 0.15% de hidrocoloide obtenido por A. Caliente y liofilizado del cushuro (N. Sphaericum y N.Commune).....</i>	<i>139</i>
Anexo 19: <i>Curvas de flujo (esfuerzo cortante τ como función del Ritmo Cortante $\dot{\gamma}$) de las soluciones al 0.25% de hidrocoloide obtenido por A. Caliente y liofilizado del cushuro (N. Sphaericum y N.Commune).....</i>	<i>140</i>
Anexo 20: <i>Curvas de flujo (Viscosidad Aparente μ_a en función del Ritmo Cortante $\dot{\gamma}$) de las soluciones al 0.25% de hidrocoloide obtenido por A. Caliente y liofilizado del cushuro (N. Sphaericum y N.Commune).....</i>	<i>141</i>

I. INTRODUCCION

La mayoría de las algas marinas han sido estudiadas y usadas 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 y renovable que abunda en dos de sus principales especies (*N. Commune* y *N.Sphaericum*) y se desarrollan en diferentes medios acuíferos del Perú.

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

Sin embargo existen diferentes métodos de extracción de un hidrocoloide en los cuales se incluye el proceso secado, etapa crítica para la obtención de un hidrocoloide con características favorables. El secado por liofilización se realiza a bajas temperaturas logrando secar y mantener intactas las características de la materia inicial, así mismo el secado por aire caliente realiza un secado más rápido por incluir un flujo de aire constante y de menos costo por trabajar a temperaturas mucho más altas por lo que requiere menos tiempo y menos uso de energía que el liofilizado dentro de un proceso. Teniendo en cuenta mencionado antes, se decidió realizar el presente trabajo de Investigación, con el objetivo de conocer la influencia de los métodos de secado en el comportamiento reológico del hidrocoloide obtenido a partir de dos especies de cushuro (*Nostoc Comune* y *Nostoc Sphaericum*). Evaluando el nivel de significancia, se pudo obtener mejores características reológicas con la especie *Nostoc Sphaericum* secado por liofilización.

Asimismo nos planteamos objetivos específicos tales como:

- Obtener el hidrocoloide en polvo mediante los métodos de secado (lío­filizado y aire caliente) a partir de dos especies (*Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum*).
- Evaluar y determinar el mejor modelo reológico para el comportamiento al flujo de las soluciones preparada en agua a temperaturas de: 7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C a concentraciones de 0.15% y 0.25%, y de las soluciones preparadas en condiciones de Néctar (12°Brix – 4.5 pH).
- Evaluar la influencia de los métodos de secado por liofilización y aire caliente, en la viscosidad aparente del hidrocoloide obtenido a partir de dos especies de Cushuro (*Nostoc Comune* y *Nostoc Sphaericum*).
- Modelar el efecto de la temperatura, concentración y el efecto combinado temperatura-concentración de la muestra que tenga mayor viscosidad.
- Comparar el comportamiento reológico de las soluciones del hidrocoloide y CMC (Carboximetilcelulosa) preparado en condiciones de néctar (12°Brix – 4.5pH).

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. *NOSTOC*

Nostoc es un género de alga verde-azul que forman colonias macroscópicas o microscópicas y es común tanto en los hábitats terrestres y acuáticos (Dodds & Gudder, 1995).

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).

En las zonas andinas donde se consume cushuro, no hay enfermedades como la osteoporosis, ya que al consumir esta alga consumimos la nostocarbolina que es su principio activo el cual ayuda a regenerar los huesos (Becher et al. 2005). Además de tiene otras cualidades medicinales, entre las principales evitar la presencia del colesterol malo (Rasmussen et al. 2009).

Su clasificación taxonomía 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. Sphaericum*, *N. Commune*, *N. cycadae*, *N. desertorum*, *N. edaphicum*, *N. elliposporum*, *N. entophytum*, *N. flagelliforme*, *N. indistinguenda*, *N. lichenoides*, *N. linckia*, *N. muscorum*, *N. paludosum*, *N. piscinale*, *N. punctiforme*, *N. trichormus*.

Esta alga es consumida en los andes que se encuentran en Bolivia, Perú y Ecuador, por encontrarse con mucha facilidad en las zonas frías, además cuando hay gran cantidad de *Nostoc* durante las épocas de lluvia (Diciembre a Marzo), se recolecta y se comercializa dándose a conocer entre los pobladores como una excelente fuente de proteínas (Ponce, 2014).

Una de las principales propiedades del *Nostoc* es que no necesita mucho oxígeno para que se produzca en gran cantidad, ya que el clima en donde habita está a 3000 m e incluso se puede encontrar a los 5000 m sobre el nivel del mar, encontrándose a estas alturas está constantemente expuesta a la radiación por lo que son muy resistentes a la radiación ultravioleta favoreciendo así su fotosíntesis. Además pueden mantenerse secar por mucho tiempo y volver a rehidratarse como empieza la época de lluvia, estas alga son primitivas ya que tienen una supervivencia única a las sequias incluso en glaciales antárticos. En asociación con hongos forma líquenes. En el mundo hay muchas especies, alrededor de 70 clasificadas, su información taxonómica está descrita (Johansen et al. 2007).

En relación a su valor alimenticio, (Aldave, 1985) determinó que el material biológico seco obtenido de la laguna Huascocha en Ancash (Huaraz) contiene 30 % de proteínas y 2 % de lípidos. Posteriormente estos valores fueron contrastados por (Barboza, 2008) quien determinó para muestras secas de *Nostoc* de la laguna Patococha en Ancash (Huaraz) 23 % de proteínas y 2 % de lípidos. Así mismo Gonzales (1976) determinó la composición de ácidos grasos de una especie de encontrando ácido mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico y linoleico. Núñez (2006) estudió el efecto de la ingestión de *Nostoc Sphaericum* “cushuro” en ratas, llegando a determinar que los animales que recibían el suplemento del cushuro perdieron significativamente peso, incrementaron significativamente el volumen de sus excretas e incrementaron moderadamente su consumo de agua.

El género *Nostoc* cianobacterias incluye muchas especies que son muy diversa con respecto citomorfología, propiedades funcionales, las relaciones bióticas y distribución de hábitats (Dodds et al. 1995). Entre estos encontramos dos especies principales; *Nostoc commune* y *Nostoc sphaericum*, que crecen en forma silvestre cerca de los ríos, lagos y lagunas, en el interior del país sobre todo en la región puna.

2.1.1. ESPECIES:

- *Nostoc Comune*: tienen antecedentes de ser tolerantes a ambientes (Sato et al. 2002; Tamaru et al. 2005). Esta especie tolera la desecación durante las estaciones secas y puede sobrevivir durante 100 años en un estante de museo (Cameron, 1962), tolera la congelación a -60 °C en

los desiertos antárticos (Novis et al. 2007) y a $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ en helio líquido en el laboratorio (Sand-Jensen & Jespersen, 2012), pero se reanuda rápidamente el metabolismo cuando se vuelven a humedecer a temperaturas fisiológicamente adecuados entre 0 y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Møller et al. 2014).

El empleo de colonias de cianobacterias *Nostoc Commune* como alimento por los indígenas andinos es una actividad extractiva, no conociéndose hasta ahora un sistema de reproducción tecnificado.

En Sudamérica hay pocos estudios sobre el cultivo que interrelacionen parámetros como temperatura, presión barométrica, luminosidad solar, tipo de agua donde crecen: salinidad, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo disuelto, entre otros. En cambio en Europa y China los estudios son más exhaustivos. Se hace notar que en China y Mongolia, en estepas semiáridas del Nor-Oeste, se consideró un manjar delicado durante siglos. Actualmente la sobreexplotación y la alta demanda han disminuido su consumo (Kunshan, 1998).



Figura 1 *Especie Commune del Nostoc Hidratada (izquierda) y deshidratada (derecha).*

FUENTE: (Pardo, 2016)

- ***Nostoc Sphaericum***: Es el nombre científico con el que se conoce al popular "Cushuro", voz quechua que significa "crespo" no sólo por el aspecto, color y consistencia, sino por su misteriosa aparición tras la lluvia, como salido de la nada. Forma al principio colonias esféricas que luego se aplanan, de textura membranosa, coriácea, de color verde oliva o pardo verdoso o amarillento, envuelta por una capa externa firme que puede alcanzar varios centímetros. Dichas colonias generan biodermas algales que, cuando están secos, se asemejan a delgados y transparentes papeles negros. El polisacárido extracelular de estos organismos es un complejo de alto peso molecular con propiedades reológicas. (Campos, 2010).

En un estudio realizado sobre la composición química y la actividad antioxidante de un alga marina roja, se demostró que dicha especie, respecto a su composición centesimal, contenía cantidades bajas de proteínas (9.5%) y lípidos (1.3%) y valores altos de minerales y carbohidratos (43%) que podrían explicar el contenido alto de cenizas.



Figura 2: *Nostoc en especie Sphaericum*

2.2.LOS HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides son polisacáridos de alto peso molecular que al interactuar con otras moléculas, son capaces de modificar las propiedades reológicas, actuar como estabilizantes, espesantes o gelificantes, entre otras propiedades (Badui, 2006).

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 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 & Maleki, 2012).

Las propiedades generales de los hidrocoloides útiles incluyen el grado de solubilización en agua, la capacidad de incrementar la viscosidad y, en ocasiones la de formar geles. Algunas funciones incluyen mejora y estabilización de la textura, inhibición de la cristalización (azúcar y hielo), estabilización de las emulsiones y espumas, mejora del recubrimiento con azúcar (disminuye su pegajosidad) de algunos productos de pastelería y la encapsulación de los sabores (Fennema, 2000).

Los hidrocoloides son sustancias naturales poliméricas de fácil solubilidad en agua por tener compuesto hidrofílicos. Aunque no solo se denomina hidrocoloides a sustancias compuestas por polisacáridos que en su mayoría son gomas, también se denomina hidrocoloides a algunas proteínas como la gelatina. 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 (Flindt et al. 2005).

Además del efecto espesante, los hidrocoloides cumplen otras funciones en los 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.

Dentro de la industria alimentaria es de suma importancia para los consumidores el aspecto del alimento, no solo en cuanto a las propiedades sensoriales como sabor y olor; sino también su textura y viscosidad. Esta es una de las principales razones por las cuales se utilizan aditivos para cambiar la Reología de los alimentos, es decir su comportamiento al flujo (viscosidad) y sus características solidad (textura), siendo los hidrocoloides una de las principales alternativas para favorecer la consistencia de los alimentos (Angioloni, 2013).

Además su producción es en gran cantidad debido a que los hidrocoloides se pueden extraer de las diversas fuentes naturales como: 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).

Beltrán (2013) clasifica a las gomas de importancia industrial por categorías según la fuente de extracción, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Gomas e 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>Anogeinssus latifolia</i>
Semillas	Algarrobo	<i>Caeratonia siliquia</i>
	Guar	<i>Cyamompsis</i>
	Almidones	<i>tetragonolobus</i>
		<i>Agrocultivos</i>
Algas	Agar	<i>Gelidium o Gracalaria sp</i>
Plantas terrestres	Alginatos	<i>Laminaria sp.</i>
	Carraginos	<i>Chondrus crispus</i>
	Furcellarín	<i>Furcellaria fastigiata</i>
Animal	Pectinas	<i>Pyrus malus L.</i>
	Gelatina	<i>Citrus sinensis</i>
		<i>Bos taurus</i>
Fermentación microbiana	Xantán	<i>Xanthomonas campestres</i>
	Gelán	
Modificados	Derivados de celulosa almidones, pectinas y alginatos	<i>Por modificación química, genética o enzimática de un hidrocoloide natural.</i>

FUENTE: (Beltrán, 2013).

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 gran propiedad de los hidrocoloides de formar geles y aumentar la viscosidad se debe a su alto peso molecular por ser polímeros que se unen fácilmente al ser disueltos, esto ocurre gracias a sus grupos hidrofílicos. 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 5 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).

2.3.MÉTODOS DE SECADO

El secado es una operación que se encuentra en casi todos los sectores industriales, desde los agrícolas a los farmacéuticos. Es seguramente la operación unitaria más antigua, común, diversa e intensiva energéticamente (Kudra & Mujumdar, 2009). Sin embargo, no todas las tecnologías de secado son necesariamente óptimas en términos de consumo de energía, calidad del producto deshidratado, seguridad de operación, capacidad de controlar el secador durante posibles fallas en el proceso, o impacto medio ambiental (Kudra y Mujumdar, 2009).

El secado usualmente se define como el proceso de remoción térmica de sustancias volátiles (humedad) hasta obtener un producto seco (Mujumdar, 2006). Es una operación unitaria en la que se da el transporte simultáneo de calor y masa (Fito et al. 2001): La transferencia de energía (principalmente como energía calórica) desde el medio circundante para evaporar la humedad de la superficie y

la transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido y su evaporación posterior (Mujumdar, 2006).

La operación de secado involucra una serie de cambios físicos, químicos y sensoriales en el alimento que dependen de la composición de éste así como de la severidad del método de secado. Ejemplos de estos cambios son encogimiento, cristalización, despolimerización, variación de color, sabor, textura, viscosidad, velocidad de reconstitución, valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. 5 Estos factores relacionados con la calidad del producto deben ser analizados cuando se va a diseñar una operación de deshidratación de alimentos, para así provocar un mínimo daño al alimento, sin olvidarse de otros aspectos más tecnológicos relacionados con la eficacia y el coste del proceso (Contreras, 2006).

2.3.1. SECADO POR BANDEJA:

Secado por bandejas o charolas: funciona mediante un ventilador que recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las charolas, también puede usar calor eléctrico (Geankoplis, 1999). Los secadores como el secador por bandeja transfieren el calor por convección y son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. (Mujumdar, 2006).

Esencialmente consisten en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido, horizontalmente entre bandejas cargadas de muestra, o verticalmente a través de las bandejas perforadas y en producto.

Estos secaderos pueden disponer de reguladores para controlar la velocidad de aire nuevo y la cantidad de aire de recirculación. Los calentadores del aire pueden ser quemadores directos de gas serpentines calentados por vapor. En los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica.

Los secadores de cabina resultan relativamente baratos de construcción y de mantenimiento además son muy flexibles. (Calle & Aparicio, 2011).

2.3.1.1. Velocidad De Secado

Al desecar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta el calor sensible y el calor latente de la evaporación de la humedad y también actúa como gas portador para eliminar el vapor de agua que se forma en la vecindad de la superficie de evaporación. (Geancopolis, 1995).

2.3.1.2. Periodo De Velocidad Del Secado

Los principales parámetros para obtener un buen secado por aire caliente son la temperatura, velocidad y humedad relativa del aire, dimensiones de materia a secar, superficie expuesta, velocidad de transferencia y contenido de humedad para el equilibrio de la partícula (Geancopolis, 1995).

Si se empieza con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Este período inicial de ajuste o “estabilización” con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado. La curva de la figura es recta entre los puntos B y C,

por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este período. A esta zona se le conoce como región de velocidad de secado constante. En el punto C de la gráfica, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el período de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. Finalmente, en el punto D, la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde ya no es apreciable. (Geancopolis, 1995).

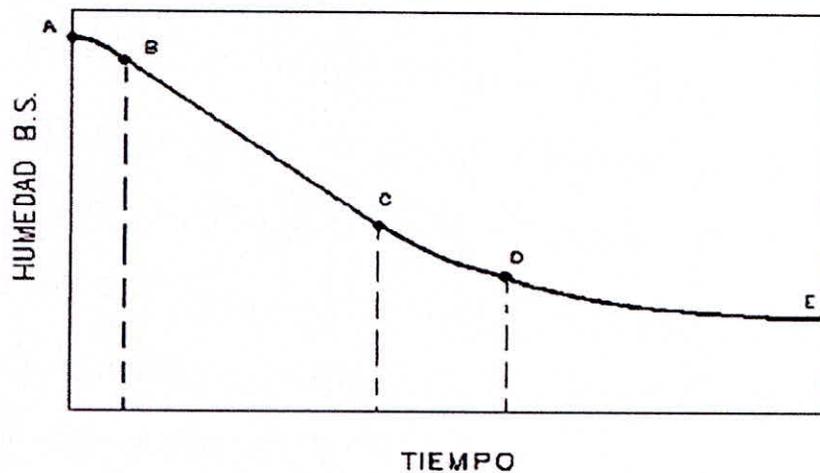


Figura 3: Gráfico Humedad vs. Tiempo del proceso de secado por Aire Caliente

Fuente: (Geancopolis, 1995)

2.3.2. LIOFILIZACIÓN:

La liofilización es un proceso de secado por sublimación, es decir el paso del agua de su estado sólido al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. El agua es evaporada mediante la aplicación de vacío (0.000987 Atm) cuando ha sido previamente congelada. La virtud fundamental de un producto liofilizado es que al ponerse en contacto nuevamente con el líquido, es decir, el agua sublimada, el producto recupera todas las características (Federación Nacional de cafeteros de Colombia, 2004). Los productos liofilizados que han sido adecuadamente empaquetados pueden ser almacenados durante tiempos ilimitados, reteniendo la mayoría de las propiedades físicas, químicas, biológicas y sensoriales de su estado fresco; además, reduce la pérdida de calidad debidas a las reacciones de empardeamiento enzimático y no enzimático (Barbosa & Vega, 2000).

Uno de los principales beneficios de hacer uso de la liofilización es que permite mantener todas las características organolépticas intactas luego del secado, es decir su aroma, gusto y sabor. Además de que por ser un producto deshidratado evita el deterioro de los alimentos ya que no existen las condiciones para el crecimiento y proliferación de microorganismos. Como cualquier otro método de secado disminuye el porcentaje de agua sin embargo con este método de secado no se pierde sus características iniciales (Moreno & Murillo, 2010).

Actualmente se aplica en industrias farmacéuticas, para preservar antibióticos, vacunas (por ejemplo la vacuna del sarampión), plasma, hemoderivados, vitaminas, extractos, leche materna (Ramírez, 2006).

En la industria química, la técnica se emplea para el preparado de catalizadores, secado de materiales orgánicos, preservación de animales (taxidermia), conservación de documentos y libros antiguos, entre otros. Con relación a la industria de los alimentos, se comenzó a utilizar en la fabricación de productos especiales para montañistas, astronautas, bases militares y otros similares. Desde hace un tiempo se comercializan liofilizados tanto como ingredientes industriales como para el consumidor en general, ampliándose así el mercado de estos productos de alto valor agregado (Ramírez, 2006).

Cuando se culmina un proceso de secado por liofilización se logra eliminar más del 95% de agua, quedando un producto no solo deshidratado que mantiene sus condiciones organolépticas iniciales y que es capaz de alargar su tiempo de vida útil por no existir un medio adecuado para el crecimiento de los microorganismos, sino que se tiene un producto que mantiene su volumen y su forma con un peso mínimo ayudando así a su fácil y liviano transporte y sin necesidad de mantener una cadena de frío por temor a la contaminación microbiológica.

Gracias a que mantiene su volumen y forma inicial los alimentos pueden ser secados en diferentes formatos para su posterior uso: cubos, deshilachado, tiras, picado, granulado o polvo, y luego pueden ser utilizados como ingredientes industriales en la fabricación de snacks, sopas instantáneas,

salsas, caldos en polvo, caldos en cubos, cup noodles, puré instantáneo, mezclas para risotto, condimentos para "Lamen", entre otros.

Tabla 2: Aplicación del método de liofilización en la industria de los alimentos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
➤ Ausencia de temperaturas altas, por lo que previene el daño térmico.	➤ Largo tiempo de procesamiento.
➤ Conservación, fácil transporte y almacenamiento de los productos.	➤ Alto consumo de energía, en algunos casos.
➤ Inhibición del crecimiento de microorganismos, estabilidad microbiológica.	➤ Costo de inversión inicial alto.
➤ Recuperación de las propiedades del alimento al rehidratarlo.	
➤ Ausencia de aditivos y/o conservantes.	
➤ Mantenimiento del valor nutricional del alimento.	
➤ Empleo de vacío, estabilidad química	

FUENTE: Ramírez, 2006

2.3.2.1. Etapas de proceso de liofilización:

La liofilización presenta las siguientes etapas: (Barbosa-Cánovas et al. 2000; Welti-Chanes et al. 2004):

Congelación: La temperatura de congelación para el agua pura es constante en el punto de congelación hasta que el agua se ha congelado, pero en el caso de alimentos, la temperatura de congelación es más baja

que para el agua pura, ya que los solutos del agua no congelada se van concentrando y la temperatura de congelación va disminuyendo continuamente hasta que la solución queda congelada. Al final de la congelación la masa entera del producto se ha convertido en rígida, formando estados eutécticos, que consisten en cristales de hielo y componentes del alimento o zonas vítreas amorfas que son propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial. El estado eutéctico asegura la eliminación de agua sólo por sublimación, y no por combinación de sublimación y evaporación. La permeabilidad de la superficie congelada puede afectarse debido a la migración de componentes solubles durante la etapa de congelación. Sin embargo, la eliminación de la fina capa de la superficie del producto congelado, o la congelación bajo condiciones que inhiban la separación de la fase de concentrado, dan lugar a mejores velocidades de secado.

Secado primario. Consiste en la sublimación del hielo bajo condiciones de vacío. Se requiere gran energía que, suministrada en alto vacío, hace que el calor atraviese las capas congeladas o secas del alimento. El vapor de agua generado en la interface de sublimación es eliminado a través de los poros de la matriz sólida del producto. El condensador previene el retorno del vapor de agua hacia el producto. La fuerza impulsora de la sublimación es la diferencia de presión del vapor de agua en la cámara de secado.

Secado secundario. La segunda etapa de secado inicia una vez que se ha agotado el hielo del producto y la humedad proviene del agua

parcialmente ligada al material que se está secando. En este momento la velocidad de calentamiento debe disminuir para mantener la temperatura del producto por debajo de los 30-50°C, lo que evita el colapso del material. Si la parte sólida del material está demasiado caliente la estructura se colapsa, lo que se traduce en una disminución de la velocidad de sublimación del hielo en el producto.

En esta etapa se obtiene un producto con menos del 1-3% de agua debido al incremento de la temperatura y la reducción parcial de la presión de vapor de agua en el secador. Esta etapa requiere de 30 a 50% del tiempo requerido en el secado primario, esto por la baja presión del agua ligada comparada con la del hielo a una misma temperatura. La liofilización se completa con esta etapa, es decir, cuando toda el agua libre y agua ligada del alimento ha sido removida resultando en un nivel residual de humedad, que garantice una integridad estructural deseada y estabilidad del producto.

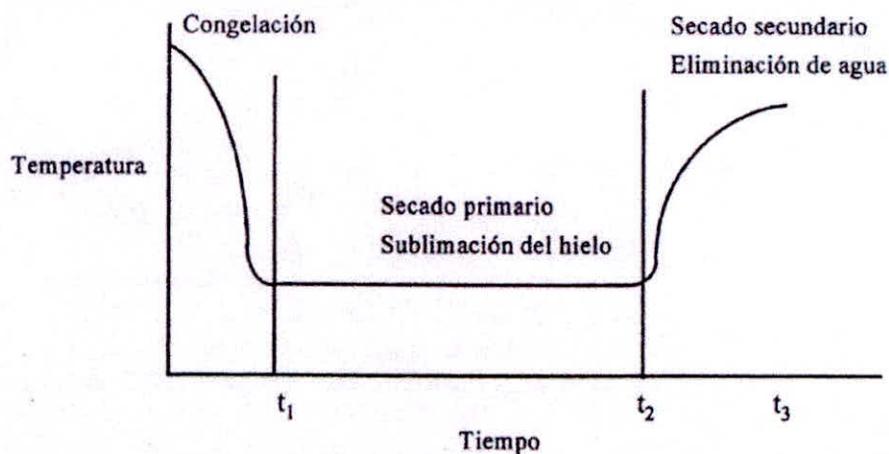


Figura 4: Etapas del proceso de liofilización

FUENTE: (Barbosa et al. 2000).

Cabe aclarar que no toda el agua que compone un alimento está disponible para que los microorganismos puedan llevar a cabo sus actividades metabólicas, solo el agua libre cumple dicho propósito. El contenido de agua libre en un alimento se define como a_w – actividad de agua. Al deshidratar un producto su disponibilidad de agua (libre) disminuye drásticamente (SCENI P. 2007).

Para eliminar entonces la mayor parte del agua libre contenida en el sólido obtenido, se le debe entregar calor a fin de lograr la sublimación total del hielo, cuidando que la temperatura del producto se mantenga siempre por debajo de su temperatura de transición vítrea. Al final de este cambio de fase se obtiene un producto que conserva el volumen y tamaño original, presentado la forma de un vidrio altamente poroso.



Figura 5: Estructura de un producto en proceso de liofilización

FUENTE: FLESIA, Miguel Ángel. Universidad Técnica Nacional. Facultad Regional Santa Fé. Ingeniería Industrial. Procesos Industriales – La conservación de sustancias perecederas por medio de la liofilización.

Si bien es cierto que el producto liofilizado tiene múltiples beneficios entre los cuales resalta su rápida rehidratación por tener una estructura porosa, también se debe considerar que existe cierta fragilidad al poder estar propensa a posibles daños mecánicos causados por mala manipulación, así como debe

ser adecuadamente envasado para evitar que gane humedad del ambiente y empiece el deterioro del alimento.

2.4.REOLOGÍA

La reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de la materia. El campo de la reología se extiende desde la mecánica de fluidos newtonianos hasta la elasticidad de Hooke.

Los alimentos se presentan en una gran variedad de formas, tales como sólidos, líquidos y semilíquidos. Algunos alimentos, entre los que se encuentran los helados y las grasas, son sólidos a una temperatura y líquidos a otra. Otros son suspensiones (mermeladas, zumos y purés o cremogenados de frutas, o emulsiones como la leche). Debido a esta amplia variación en su estructura, el comportamiento al flujo de los alimentos fluidos presenta una amplia gama de modelos que van desde el simple newtoniano a los que no newtonianos dependientes del tiempo y los visco elásticos. (Salvador G. et al. 1998).

El tamaño o volumen, la forma, la concentración y la interacción de las partículas son parámetros básicos que afectan a las propiedades reológicas de cualquier sistema, sea este molecular, una suspensión, una dispersión, una pasta o un gel. Sin embargo, el rango de operación de cada uno de estos parámetros básicos es diferente para cada uno de los sistemas. (Salvador G. et al. 1998).

La determinación de la Reología de alimentos está totalmente relacionada con el modelo y optimización de las unidades de proceso ya que permite la modificación de maquinarias como es el caso de los zumo, que en la industria alimentaria es el derivado más importantes de las frutas, por eso el conocimiento de su

comportamiento reológico es indispensable para obtener una buena producción (Ibarz et al. 2005).

Uno de los ámbitos más importantes en el estudio de la Reología de alimentos es conocer el efecto de la variación de la temperatura sobre el producto ya que estas variaciones son propias y necesarias durante el proceso y en el mayor de los casos existe una disminución de la viscosidad de los líquidos cuando aumenta la temperatura o también conocer el efecto de las variaciones en la concentración que pueden ser modelados por ecuaciones potenciales y exponenciales debido al aumento de la viscosidad conforme se aumente la concentración de algún soluto en el producto (Ibarz et al. 1992).

2.4.1. REOLOGIA DE LOS ALIMENTOS

El conocer las diversas propiedades reológicas que presentan ciertos productos alimenticios es de mucha importancia en los diseños de procesos y diversos equipos de ingeniería como: tanques de almacenamiento, cintas transportadoras, tuberías, pulverizadores o bombas para el manejo de alimentos, asimismo la viscosidad es utilizada para el cálculo de fenómenos de transporte de cantidad de movimiento, calor y energía y para la estimulación. Los datos reológicos durante la evaluación sensorial pueden ser muy interesantes pudiéndose modificar el proceso de elaboración o formulación de un producto final. La reología por si misma facilita el entendimiento de la distribución de los componentes macromoleculares y sus diversos cambios durante su procesamiento y esto gracias al obtener información sobre la estructura de un alimento. En el control de la calidad las medidas de la viscosidad en continuo con el objetivo de controlar el proceso productivo, la calidad de las materias primas, productos intermedios y

acabados, en el control de la calidad las medidas de la viscosidad en continuo son cada vez más importantes. Diversos experimentos demostraron que, en muchas sustancias, cuando la deformación relativa es poca o mínima, la tensión es numéricamente igual al producto de la deformación relativa por una constante, es decir la deformación relativa es proporcional a la tensión. El módulo de la elasticidad es la constante de proporcionalidad. La deformación elástica o reversible es como 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 estado o forma original (Ramírez, 2006 y Quintáns, 2008).

2.4.2. VISCOSIDAD

La viscosidad de un fluido (como propiedad fundamental de transporte) es determinada a partir de mediciones de velocidad de corte y de esfuerzo cortante mediante el uso de modelos reológicos de regresión (no lineales), por ser generalmente estos fluidos de tipo no Newtoniano (Weir y Bailey, 1996; Santoyo, 1997; Kok y Alikaya, 2004). Los fluidos no Newtonianos se clasifican en tres subgrupos: (i) independientes del tiempo; (ii) dependientes del tiempo; y (iii) de características sólidas. Los fluidos que se utilizan durante las operaciones de perforación de pozos geotérmicos son generalmente del tipo no Newtoniano e independiente del tiempo, los cuales a su vez pueden tener un comportamiento plástico de Bingham, pseudoplástico, o dilatante (**Figura 6**).

El comportamiento no Newtoniano de los fluidos de perforación incide en forma significativa en su viscosidad dinámica (μ) (Caldiño-Villagómez et al. 2002), la cual se define simplemente como la resistencia a la deformación de un fluido (Chilingarian y Vorabutr, 1983). Dicho concepto está implícito en la Ley de Newton (Ecuación 1) y para efectos del presente trabajo se consideró la viscosidad dinámica (Pa·s) como la derivada del esfuerzo cortante (τ) con respecto a la velocidad de corte (γ) (Lauzon y Reid, 1979; API, 1980)

$$\mu = \frac{d\tau}{d\gamma} \left[\frac{Pa}{1/s} \right] \rightarrow [Pa \cdot s] \dots \quad (1)$$

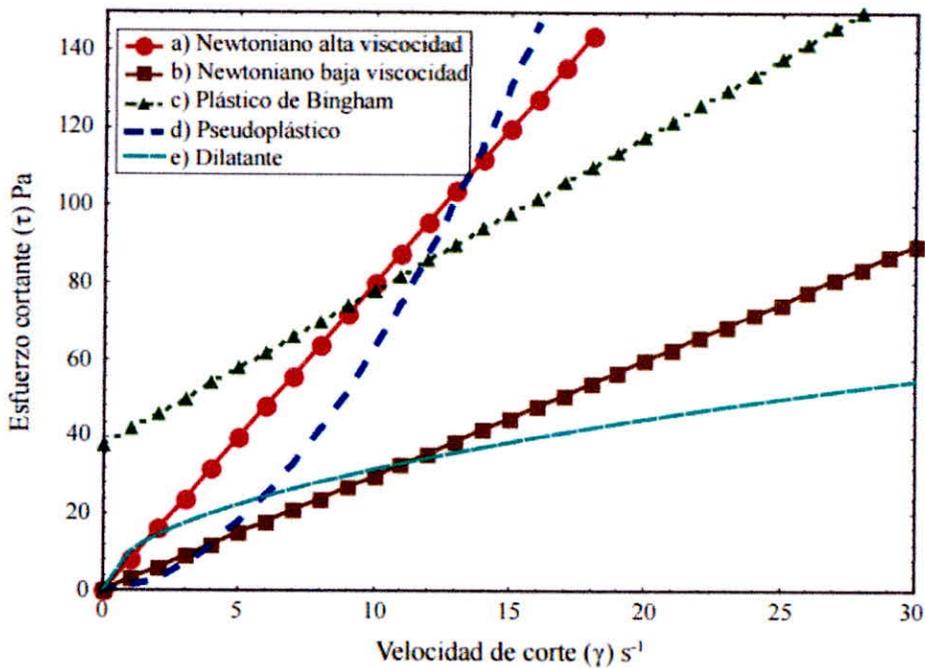


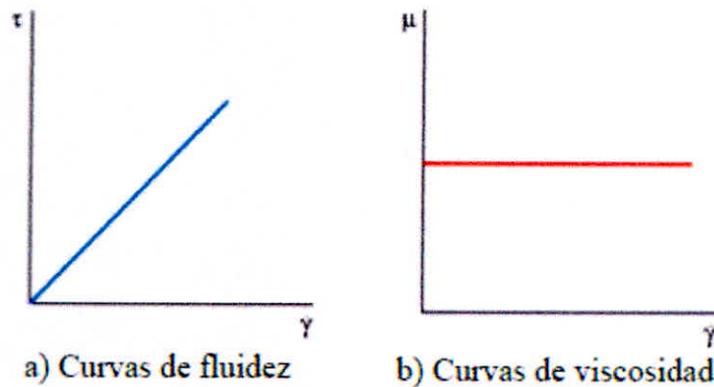
Figura 6: Clasificación de los fluidos en Newtoniano y No Newtoniano

El primero del tipo Newtoniano (a y b) y el segundo del tipo no Newtoniano (c, d y e), el segundo, a su vez, muestra la clasificación de fluidos independientes del tiempo en: plástico de Bingham (c); pseudoplástico (d); y dilatante (e).

FUENTE: (Gómez, 2009)

El comportamiento no Newtoniano de los fluidos de perforación incide en forma significativa en su viscosidad dinámica (μ) (Caldiño-Villagómez et al. 2002), la cual se define simplemente como la resistencia a la deformación de un fluido (Chilingarian y Vorabutr, 1983). Dicho concepto está implícito en la Ley de Newton (Ecuación 1) y para efectos del presente trabajo se consideró la viscosidad dinámica (en Pa·s) como la derivada del esfuerzo cortante (τ) con respecto a la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) (Lauzon y Reid, 1979; API, 1980)

$$\mu = \frac{d\tau}{d\dot{\gamma}} \left[\frac{Pa}{1/s} \right] \rightarrow [Pa \cdot s]$$



Gráfica 1: Curvas características para un fluido newtoniano

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 centígrado 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 $\mu = A \cdot e^{B/T}$. 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.

2.4.3. FLUIDOS NEWTONIANOS

Las propiedades reológicas de los fluidos newtonianos son directamente proporcional al esfuerzo cortante y al ritmo cortante aplicado al fluido, y este a su vez solamente depende de la composición y temperatura. (Ibarz et. al. 1992).

Los fluidos newtonianos presentan una relación lineal entre el esfuerzo cortante y velocidad de corte, con el coeficiente lineal o intersección con los ejes igual a cero. Los fluidos que presentan un comportamiento newtoniano son todos los gases, líquidos de bajo peso molecular y soluciones acuosas diluidas de sales y azúcares. (Ibarz et. al. 1992).

Entre los alimentos, que tienen un comportamiento newtoniano tenemos por ejemplo, aceites, bebidas alcohólicas, refrescos, leche, cerveza, vino, zumos de clarificados de maca y uva, desde que son sometidos a situaciones de velocidad de deformación moderada. Las matemáticas ecuación que describe su comportamiento y dada por:

$$\tau = \eta(\dot{\gamma})$$

Donde:

$$\tau = \text{Esfuerzo cortante } Nm^{-2} = Pa).$$

$$(\dot{\gamma}) = \text{Velocidad de deformación } (s^{-1}).$$

$$\eta = \text{Viscosidad absoluta } (Pa.s).$$

2.4.4. FLUIDOS NO NEWTONIANOS

Son aquellos fluidos que no cumplen la ley de Newton de la viscosidad, por lo tanto, la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación deja de ser lineal. (Ibarz et al. 1992).

Estos fluidos se caracterizan porque su viscosidad no permanece constante cuando la temperatura y su composición permanecen invariables, sino que depende del esfuerzo cortante o gradiente de velocidad y, a veces, del tiempo de aplicación del esfuerzo y de la historia previa del producto o muestra. (Ibarz et al. 1992).

Ello es debido a que la constitución física del producto al someterla a los efectos de rozamiento a lo largo del tiempo. Dado que en este tipo de fluidos la viscosidad no permanece constante, se define la viscosidad aparente (Jiménez et al. 1987) como la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación correspondiente.

$$\eta_a = \frac{\tau}{(\dot{\gamma})} \neq cte)$$

τ = Esfuerzo cortante $Nm^{-2} = Pa$).

$(\dot{\gamma})$ = Velocidad de deformación (s^{-1}).

η_a = Viscosidad Aparente (Pa.s).

2.4.5. MODELOS REOLÓGICOS

Los alimentos pueden cambian de forman dependiendo de las condiciones, pasando de sólidos a líquidos como por ejemplo en el casos de las grasas que a bajas temperaturas se comportan como un sólido pero a temperatura ambiente muchas veces pueden ser un

líquido, y también pueden cambiar dependiendo de su estructura como las mermeladas, zumos, cremoladas, purés y/o emulsiones entre otras, en los cuales no se espera un cambio de estado, sino solo una ligera variación en su estructura afectando el comportamiento al flujo de los alimentos, que pueden ser desde los más simples como los newtonianos a los más complejos como los no newtonianos, sin embargo pueden depender también del tiempo y ser viscoelásticos, todas estas características son definidas por un modelo reológico (Salvador G. et al. 1998).

Existen diferentes modelos que describen el comportamiento de los fluidos independientes del tiempo, como se muestra en la *Tabla 3*

Tabla 3: Ecuaciones que describe en 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 Nutting 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

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

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

El tamaño o volumen, la forma, la concentración y la interacción de las partículas son parámetros básicos que afectan a las propiedades reológicas de cualquier sistema, sea este molecular, una suspensión, una dispersión, una pasta o un gel. Sin embargo, el rango de operación de cada uno de estos parámetros básicos es diferente para cada uno de los sistemas. (Salvador G. et al. 1998).

La determinación de la reología de alimentos está totalmente relacionada con el modelo y optimización de las unidades de proceso. En la industria alimentaria, los zumos es el derivado más importante de las frutas. (Gratao A et al. 2005).

Las propiedades reológicas de la mayoría de los alimentos líquidos se presentan cambios sustanciales durante las etapas de procesamiento debido a su dependencia de la temperatura y la concentración, en general, la viscosidad de los líquidos disminuye con el aumento de la temperatura, mientras que el efecto de la concentración es generalmente escrito en términos de poder de tipo o las relaciones exponencial. (Gratao A et al. 2005).

Estos modelos reológicos son usados para relacionar las propiedades reológicas de un fluido con grandes aplicaciones en la industria, estas propiedades que influyen en el comportamiento reológico de un fluido alimentario son la concentración, temperatura, pH, índice de maduración, etc. Este conocimiento es indispensable para controlar la

calidad, controles durante las líneas de producción, proyectos de dimensionamiento de equipos industriales. (Gratao A et al. 2005).

Estos modelos pueden ser isotérmicos o no isotérmicos, en el primer caso describe el comportamiento del fluido a una temperatura fija, en el segundo. Incluyen relaciones específicas en función a diferentes temperaturas, dependiendo del modelo utilizado, con o sin esfuerzo inicial. (Gratao A et al. 2005).

2.4.5.1. MODELO DE OSTWALD DE WAELTE (LEY DE POTENCIA)

Para los fluidos no newtonianos (Pseudoplásticos y dilatantes) se describe su comportamiento con la ecuación de Ostwald de Waelte, también conocida como Ley de potencia con 2 parámetros, para su solución se emplea una transformación de forma logarítmica y luego se realiza una regresión lineal. (Ibarz et al. 2005).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n$$

Donde:

K= Índice de Consistencia

n= Índice de Comportamiento

La ecuación anterior representa el modelo newtoniano que puede ser igualada al caso particular de la ecuación de Ostwald de Waelte, con $N=1$ el valor de K es igual al valor de η . De la ecuación (1.5) se observa que para valores $n<1$ la viscosidad aparente η_a decrece con el aumento de la velocidad de deformación, representando el comportamiento de los fluidos Pseudoplásticos, en cuanto el uso

inverso para valores de $n > 1$, se describe el comportamiento de fluidos dilatantes. (Ibarz et al. 2005).

Estos modelos son usados para fluidos que *inician a fluir* cuando el esfuerzo cortante aplicado supera el esfuerzo inicial o umbral de fluencia, este esfuerzo es propia de cada fluido alimentario. (Ibarz et al. 2005).

2.4.5.2. MODELO DE BINGHAM

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl}\gamma$$

Dónde:

τ_0 = Esfuerzo inicial (Umbral de fluencia).

η_{pl} = Viscosidad plástica de Bingham. (Pa*s)

γ = Ritmo Cortante (1/s)

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

2.4.5.3. MODELO DE HERSCHEL – BULKLEY

El modelo de Herschel – Bulkley es una forma modificada del modelo de Oswald de Waelle (Rao & Cooney, 1982), lo que distingue a este modelo es la presencia del esfuerzo inicial o umbral de fluencia.

Este modelo está representado por la siguiente ecuación:

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n + \tau_0$$

Donde:

τ_0 = Esfuerzo de corte inicial o Umbral de fluencia.

$K = \text{Índice de Consistencia (Pa}\cdot\text{S}^n)$

$n = \text{Índice de Comportamiento al flujo}$

Este modelo debe ser resuelto a través de una regresión no lineal, debido a que tiene tres parámetros a ser determinados. Cuando el valor de τ_{0H} es conocido, la solución de esta ecuación puede ser realizado a través de la regresión lineal. El procedimiento más utilizado es determinar experimentalmente τ_{0H} . (Ibarz et. al. 2005).

Este modelo es utilizado para describir el comportamiento reológico del jugo de naranja concentrado. (Crandall et al. 1982).

2.5. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

Los alimentos que son consumidos en la actualidad fueron sometidos en su mayoría a variación de la temperatura causada por su proceso de elaboración, dándose así fenómenos de transporte y también diversas condiciones de almacenamiento a distintas temperaturas dependiendo del alimento para evitar su deterioro. Es por esto que es de suma importancia conocer el efecto de la temperatura en distintos alimentos al estudiarse su Reología (Ibarz A. et al. 2005).

$$\eta_a = A_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

Siendo:

$\eta_a =$ La viscosidad aparente

$A_0 =$ Una constante denominada viscosidad de
deformación infinita

$E_a =$ Energía de Activación al flujo

En el caso de fluidos que obedecen al modelo de la ley de la potencia y de Herschel – Bulkley, el efecto de la temperatura puede correlacionarse mediante un modelo combinado de la ecuación de Arrhenius para el índice de consistencia (Harper y El-Sahrihgl, 1965, Vitali y Rao, 1984), citado por (Ibarz A. et al. 2005).

$$K = A_1 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

En líneas generales puede decirse que la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, y lo mismo ocurre con el índice de consistencia y el umbral de fluencia, al estudiar el comportamiento reológico de zumos concentrados de Kiwi (55,7 y 63° Brix), establecen una relación de tipo lineal entre el índice de consistencia y la temperatura, que se concreta en la siguiente expresión (Ibarz et al. 1995):

$$\tau_0 = a - bT$$

Donde τ_0 es el umbral de fluencia, a y b son constantes y T es la temperatura de Kelvin (°K).

La variación de la temperatura no suele afectar al índice de comportamiento al flujo, aunque algunos autores afirman que aumenta con la temperatura. (Ibarz et al. 2005).

Tabla 4: Ecuaciones que determinan la variación de la viscosidad en función a la temperatura detallando los parámetros y las constantes.

ECUACIONES	PARÁMETROS
$\mu = A * e^{B/T}$	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
$\log\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right) = E_A\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right)$	Ecuación de Arrhenius modificada para disoluciones por encima de su temperatura de transición vítrea.
$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \alpha T + \beta T^2}$	Ecuación de Poiseville, μ_0 es la viscosidad dinámica a 0 °C, T es la temperatura en °C y α , β son los coeficientes constantes.

Fuente: (Zeki, 2013).

2.6. INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION DE SOLIDOS SOLUBLES EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

Se han descrito dos tipos de correlaciones o modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad. (Ibarz A. et al. 2005).

Según un modelo potencial:

$$\eta_a = K_1 C^{A_2}$$

Según un modelo exponencial:

$$\eta_a = K_2 \exp(A_2 C)$$

En estas ecuaciones K_1 , K_2 , A_1 y A_2 son constantes dependientes del alimento y C es la concentración de °Brix. Se puede hacer uso de estas

mismas ecuaciones con el índice de consistencia para poder determinar el efecto de la concentración. (Ibarz A. et al. 2005).

El modelo potencial da resultados satisfactorios en purés de frutas y hortalizas altamente viscosas (Rao et al. 1981; Vitali & Rao, 1982). Sin embargo, los autores encontraron que para zumos de fruta concentrados el modelo exponencial proporcionaba mejores ajustes. Esto último ha sido confirmado por otros autores que han estudiado la reología de zumos clarificados de diversas frutas. (Ibarz A. et al. 2005).

También puede afectar a otros parámetros como el umbral de fluencia, que si bien tiende a aumentar con la concentración a veces se ha descrito el efecto contrario (Ibarz A. et al. 1992).

III. MATERIALES Y METODOS:

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de Investigación se desarrolló en el Instituto e Investigación tecnológica Agroindustrial (IITA) y en los laboratorios de Operaciones Unitarias y Automatización de procesos agroindustriales de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Nacional del Santa UNS-CHIMBOTE

3.2. MATERIALES

- **Materia Prima:** La población en estudio fueron las algas (*Nostoc Sphaericum* y *Nostoc Commune*). La primera muestra fue extraída de la rivera de la laguna de Cushurococha, ubicada en el distrito de Catac, provincia de Recuay, departamento de Ancash, teniéndose como información referencial de su ubicación las coordenadas 9°51'01.8"S 77°25'30.2"O, en baldes previamente desinfectados con un peso promedio de 15 kg, seleccionados con diámetros mayores a 1.5 centímetros.

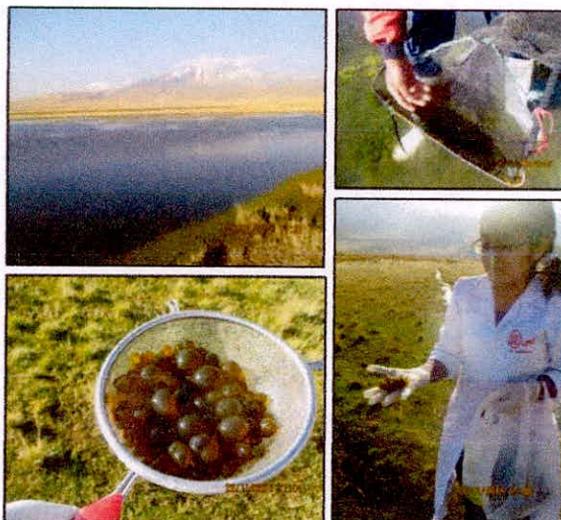


Figura 7: Recolección de Especie *N. Sphaericum*. Laguna Cushurococha

La Segunda especie *Nostoc Commune* fue extraída de la misma Laguna Cushurococha, en dirección a caminos más fríos muy próximos al final de la laguna, para ello contamos con el apoyo de pobladores de la zona de Catac. Dichas especie fueron obtenidas de bordes y caminos trechos, en baldes previamente desinfectadas con un peso promedio de 12 Kg. La muestra total fue trasladada inmediatamente para sus respectivos análisis.



Figura 8: *Recolección de Especie Nostoc Sphaericum – Laguna Cushurococha*

➤ **Materiales:**

- Matraz de 500 y 1000 ml
- Vasos de precipitados
- Fiolas
- Estufa
- cocina eléctrica
- Tela Organza

- Crisoles
- Agua destilada
- placas Petri
- Termómetro
- Mortero de Pilon

➤ **Reactivos:**

- Agua destilada
- alcohol al 96%.

➤ **Equipos:**

- Secador por bandejas marca CORP. JARCON modelo SBT- 10x10 serie JP 001 01 13
- Equipo de liofilizado LABCONCO Models 79480 Series
- Balanza Analítica Ohaus Electronic
- Reómetro Brookfield de cilindro coaxial R/S-CC
- Baño María Marca Thomas Modelo 41103706
- Licuadora Marca Oster.

➤ **Insumos:**

- CMC (Carboximetilcelulosa)
- Azúcar Blanca
- Ácido Cítrico.

3.3. PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DEL HIDROCOLOIDE:

Para la obtención del hidrocoloide se siguió los procedimientos descritos por (Roldan, 2015 & B. Jurado T, 2014) con algunas modificaciones.



Figura 9: Materia prima en estado fresco de la especie *N.Sphaericum* (Izquierda) y especie *N.Commune* (Derecha)

- **Selección:** La materia prima fue seleccionada con diámetros mayores a 1.5 centímetros en el caso de la especie *N.Sphaericum* para evitar recolectar la alga en un periodo de iniciación de su crecimiento, pero para la especie *N.Commune* no se seleccionó de acuerdo a su tamaño por no ser esférica, por lo contrario esta alga es deforme y tiene similitud con algas marinas verdes. Además de la forma se previó que la materia este fresca y en buen estado en cuanto a rigidez y consistencia.
- **Lavado:** Luego de la selección ambos tipos de materia prima se lavaron por separado, primero con agua potable eliminando posibles pajas, barro, pequeñas piedras y/o basura alguna en la materia y después se lavó con agua destilada



Figura 10: Proceso de lavado de materia prima

- **Licuada:** En una proporción de 1:2 (alga fresca: agua destilada) se licua hasta obtener una consistencia densa y homogénea.
- **Calentado:** Luego del licuado se procedió a calentar el extracto del hidrocoloide en baño María a una temperatura de 70°C por un tiempo de 30 min con agitación.
- **Filtrar:** Con ayuda de tela organza se filtró el extracto del hidrocoloide obteniéndose el filtrado y la torta.
- **Separación:** al filtrado obtenido se le agrega alcohol de 96° en una proporción de 1:2 (filtrado: alcohol) observándose una separación de fases.



Figura 11: Etapa de precipitación con alcohol de 96° durante el proceso de extracción del hidrocoloide

- **Filtrar:** para obtener los floculos de hidrocoloide se procede a filtrar con tela organza hasta poder eliminar todo el agua posible para continuar con el secado.
- **Secado:** Ya sea por medio del liofilizado o Aire Caliente se procede a secar los floculos obtenido.

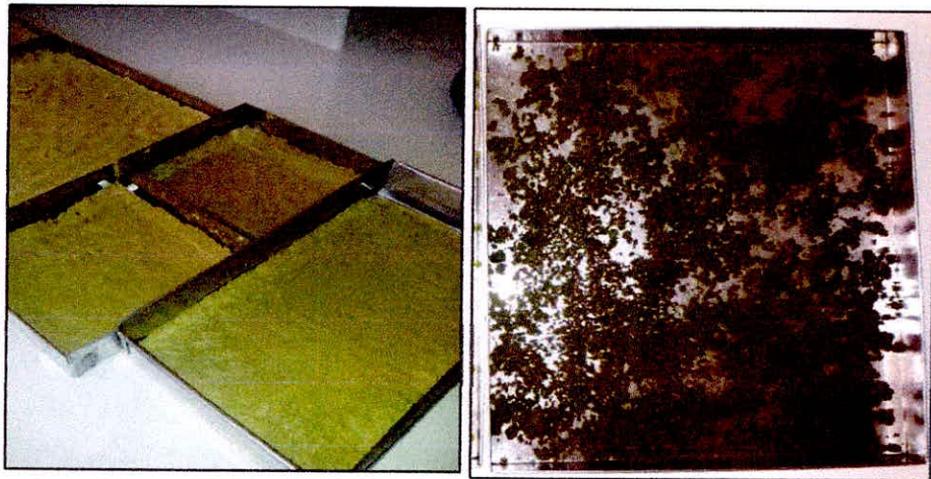


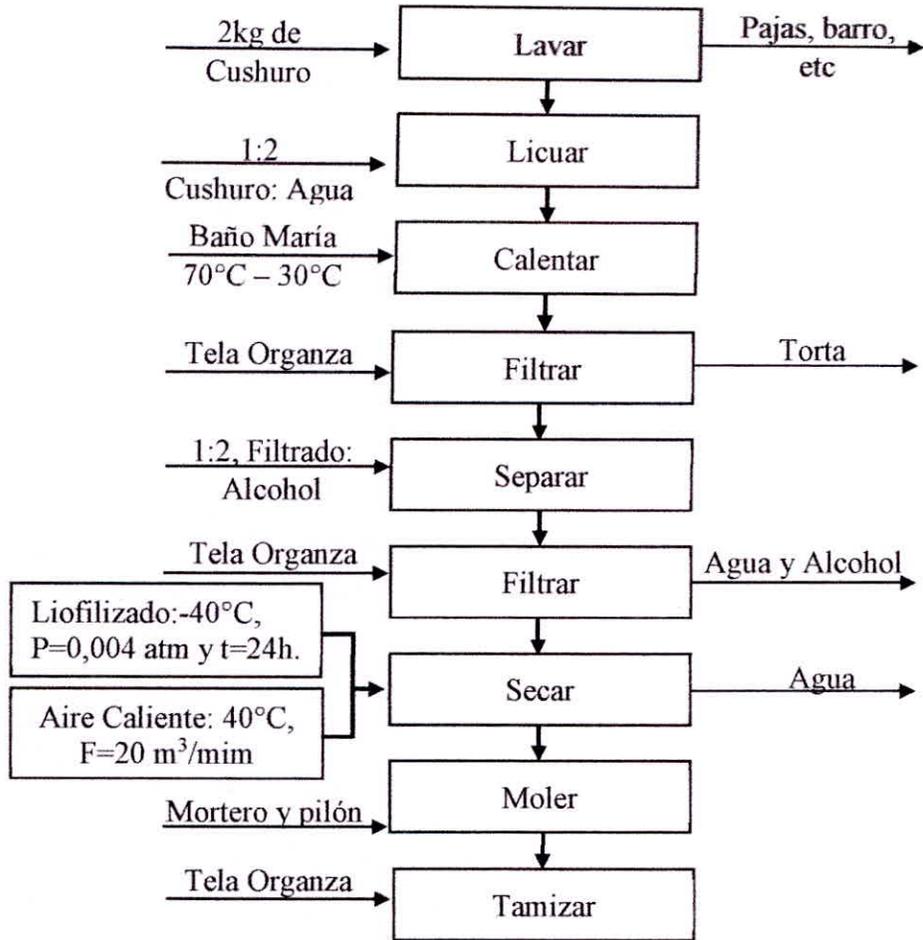
Figura 12: Hidrocoloide de la especie N.Sphaericum deshidratado por Liofilización (Izquierda) y Aire Caliente (Derecha)

- **Molienda:** Luego de secada la muestra se procedió a moler con mortero y pilón hasta obtener un polvo.
- **Tamizado:** Para obtener un polvo fino se procedió a tamizar con tela organza.



Figura 13: Proceso de tamizado de hidrocoloide con tela organza

3.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HIDROCOLOIDE:



3.4.MÉTODOS DE ANALISIS:

Para la materia prima y el hidrocoloide se realizaron los siguientes análisis:

- Determinación de humedad por el método de la AOAC, descrito por Nielsen, 2003.
- Determinación de cenizas, por el método AOAC, descrito por (Kirk et al. 1996).

3.4.1. ANÁLISIS REOLÓGICO

Para el presente trabajo de investigación se desarrolló considerando el esquema experimental como se muestra en la Figura 15. Se realizaron los análisis proximales del alga seca, luego se obtuvo el hidrocoloide y posteriormente los análisis reológicas en muestras de 2 concentraciones del hidrocoloide en agua a 0.15% y 0.25% (peso/volumen) a diferentes temperaturas desde 7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C.



Figura 14: Lectura de muestras de hidrocoloide con reómetro

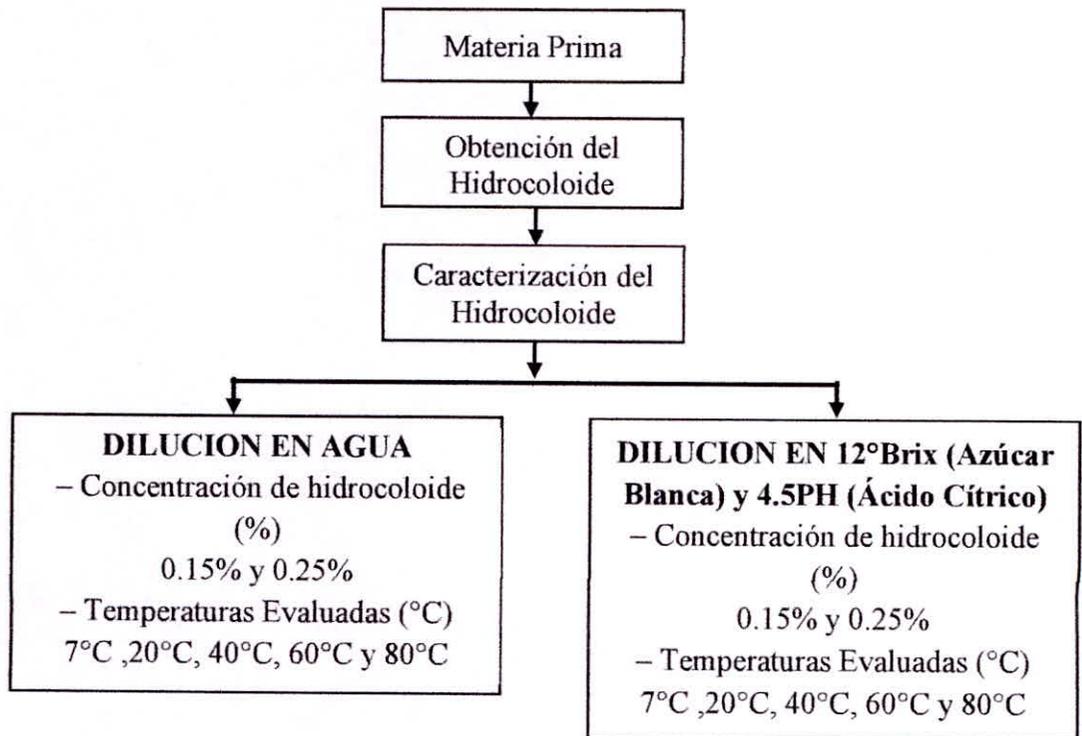


Figura 15: Metodología para evaluación reológica de los hidrocoloides obtenidos por liofilización y aire Caliente provenientes de la especie *N.Sphaericum* y *N.Commune*

3.4.2. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

La estrategia de estudio se basa en las aplicaciones de 2 métodos de secado que se realizó por duplicado en dos muestras de hidrocoloide de Cushuro (*Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum*), para luego evaluar su comportamiento reológico en diferentes concentraciones y temperaturas.

El diseño que se utilizó es el MULTI-FACTOR CATEGORICO, del programa statgraphics, con 1 variable de respuesta y 2 factores experimentales (De 2 x 2 niveles), con 1 REPLICAS. Obteniendo un Diseño Base.

✓ Número de factores experimentales: 2

FACTOR 1: Las especies fueron

- **NC:** Cushuro. Especie (*Nostoc Commune*).
- **NE:** Cushuro. Especie (*Nostoc Sphaericum*).

FACTOR 2: Los métodos de secado fueron

- **A1:** Secado por Aire Caliente
- **A2:** Secado por liofilización

✓ Número de respuestas: 1

- **X1:** Comportamiento Reológico

✓ Número de corridas: 8

Tabla 5: Modelo experimental Multifactorial Categórico por Statgraphic, con 2 replicas

N° Corridas	Variables Independientes		Variable Dependiente
	Métodos	Especies	Comportamiento Reológico
1	S. Liofilización	<i>N. Commune</i>	
2	S. Liofilización	<i>N. Sphaericum</i>	
3	S. Aire Caliente	<i>N. Sphaericum</i>	
4	S. Aire Caliente	<i>N. Commune</i>	
5	S. Aire Caliente	<i>N. Commune</i>	
6	S. Liofilización	<i>N. Sphaericum</i>	
7	S. Liofilización	<i>N. Sphaericum</i>	
8	S. Liofilización	<i>N. Commune</i>	

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL HIDROCOLOIDE

Luego de obtenido los hidrocoloides de las muestras de Cushuro (*Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum*) obtenido por dos tipos de secado (Liofilización y Aire Caliente) se evaluaron y obtuvieron las siguientes características fisicoquímicas.

Tabla 6: Rendimiento (%) del hidrocoloide obtenido por Liofilización y Aire Caliente

Tipo Secado	Especie	Rendimiento (%) Base Húmeda	Rendimiento (%) Base Seca
Liofilizado	<i>N. Sphaericum</i>	0.85 ± 0.05	39.03 ± 2.41
Liofilizado	<i>N. Commune</i>	0.74 ± 0.04	26.12 ± 1.26
Aire Caliente	<i>N. Sphaericum</i>	0.60 ± 0.10	27.77 ± 4.69
Aire Caliente	<i>N. Commune</i>	0.71 ± 0.01	24.99 ± 0.33

En la **Tabla 6** observamos valores de rendimiento más altos con el secado por liofilizado que el secado por aire caliente esto ocurrió para ambas especies y debido a que al finalizar el proceso de liofilización, el alimento se convierte en una estructura rígida que conserva la forma y el volumen pero con peso reducido, preservando sus características nutritivas y organolépticas, al rehidratarlo se recuperaran la textura, el aroma y el sabor original (Ramírez, 2006), por lo que su estructura permite que el producto obtenido por liofilización sea mucho más fácil extraerlo para molienda a diferencia de lo obtenido por medio de Aire Caliente, que nos dio un producto encogido y compactado, causado por el calor del método de secado por lo cual fue mucho más difícil moler toda la muestra

obtenida, quedando cierta parte sin tamizar por su gran tamaño y disminuyendo así su rendimiento.

Los valores muestran una gran ventaja en rendimiento obtenido con el hidrocoloide de la especie *N. Sphaericum*, esto quizás se deba a la contextura que tiene la materia prima inicial, cuya características al tacto fueron más gelatinosa y firmes a comparación de la especie *N. Commune* que presentó características menos firmes y consistentes, es por ello que se notaron estas diferencias en valores de rendimiento algo que concuerda con las composiciones de ambas especies comparados con respecto a su contenido de carbohidratos.

Asimismo el rendimiento obtenido por secado de Aire caliente con la especie *N. Commune* fue de un 24.99 %, quien muy aparte del bajo rendimiento que se obtiene de hidrocoloide precipitado, al tratarse de secado por Aire caliente, este dificulta su molido debido a las características que se tiene por secado de aire caliente, donde incluso se pierde muestra al quedarse pegado la muestra seca.

El valor del rendimiento del hidrocoloide Liofilizado de la especie *N. Sphaericum* en base Húmeda fue 0.85 ± 0.05 % y es muy similares al rendimiento obtenido por Roldan, 2015 en la extracción del hidrocoloide liofilizado que obtuvo un rendimiento de 0,81 % de esta misma especie pero con una humedad del hidrocoloide de 4,56 %. Además fue el hidrocoloide con mayor rendimiento.

Tabla 7: Contenido de Humedad del hidrocoloide obtenido de dos especies de Cushuro (*Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum*) obtenido por los métodos de secado Liofilización y Aire Caliente.

Secado	Especie	% Humedad
Liofilizado	<i>N.Sphaericum</i>	5.8840 ± 0.1658
	<i>N.Commune</i>	3.3155 ± 0.2914
Aire Caliente	<i>N.Sphaericum</i>	3.5528 ± 0.1020
	<i>N.Commune</i>	2.9884 ± 0.1829

Del contenido de Humedad en las muestras de hidrocoloides evaluadas podemos decir que los valores obtenidos por el secado de Liofilización son mayores a comparación de los obtenidos por Aire Caliente, siendo este el más eficiente para secar las muestras, incluso utilizando menos energías y tiempo. Así mismo el contenido de humedad del hidrocoloide liofilizado son similares a los obtenidos por Roldan, 2015 que fue de $4,56\% \pm 0,32\%$ a comparación del obtenido en esta investigación $5.88 \pm 0.17\%$

El contenido de humedad según la ficha técnica (Amtex) del CMC, un estabilizante comercial, es como máximo 8% por lo que los cuatro hidrocoloides obtenidos están muy por debajo de este porcentaje, siendo aceptable los valores de humedad reportados como espesantes.

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos solo de la evaluación de Cenizas y Carbohidratos realizados a las muestras de hidrocoloides, no se presentó proteínas ni grasas dado a que el proceso de extracción es solo para polisacáridos y se excluyó también la humedad para poder hacer las comparaciones respectivas.

Tabla 8: Composición Fisicoquímica del hidrocoloide obtenido de dos especies de Cushuro (*Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum*) obtenido por los métodos de secado Liofilización y Aire Caliente en base seca.

Componentes	Aire Caliente		Liofilizado	
	<i>N.Sphaericum</i>	<i>N.Commune</i>	<i>N.Sphaericum</i>	<i>N.Commune</i>
Carbohidratos	97.10	93.61	98.37	96.65
Ceniza	2.90 ± 0.58	6.39 ± 1.63	1.63 ± 0.76	3.35 ± 0.60
Proteínas	-	-	-	-
Grasas	-	-	-	-

De los cuatro tratamientos se obtuvo mayor cantidad de carbohidratos con el hidrocoloide Liofilizado de la especie *N.Sphaericum* y menor cantidad con el hidrocoloide secado por Aire Caliente de la especie *N. Commune*.

El contenido de carbohidratos obtenidos específicamente en la especie *Nostoc Sphaericum* fue de 97.10% en aire caliente y 98.37% en secado por liofilización, Ponce (2014) quien evaluó esta especie determinaron un 89.63% de polisacáridos en materia seca respectivamente; siendo los datos obtenidos en nuestra investigación mayor a los obtenidos por este autor, que se debió básicamente a la metodología de extracción que fue diferente en cuanto a los parámetros, como concentración agua: alga para la homogenización (Licuado), tiempo de extracción, número de extracciones y temperatura (Y. Quan et al,2015); también pudo influir las características mismas del tipo de *Nostoc* empleado.

En cuanto al contenido de ceniza, los valores reportados son considerablemente altos a comparación a los reportados por Ponce (2014) que obtuvo un valor de $0.74 \pm 0.25\%$ para la especie *N.Sphaericum* secado por liofilización.

4.2.EVALUACION DE COMPORTAMIENTO AL FLUJO

4.2.1. REOGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE (τ) VS RITMO

CORTANTE (γ)

En el **Anexo 18** y **Anexo 19**, se puede observar la evolución del esfuerzo cortante frente a al Ritmo cortante (γ) de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire caliente de ambas especies de cushuro (*N. Sphaericum* y *N. Commune*) concentrado a 0.15% y 0.25% en agua como solvente y sometido a temperaturas de 7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C.

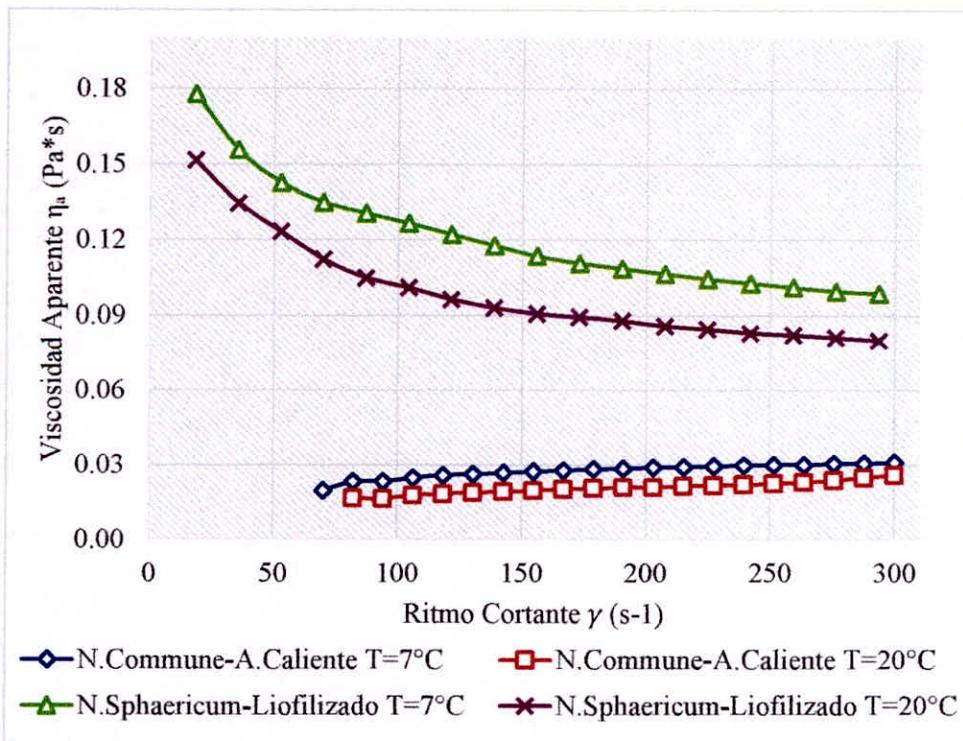
De los datos experimentales (Anexo 1, Anexo 2, Anexo 3 y Anexo 4) se determina que todas las soluciones evaluadas con los diferentes hidrocoloides obtenidos muestran gráficamente un comportamiento no newtoniano, de la misma forma reportó Yaseen et al. 2005 en la investigación sobre “Propiedades reológicas de soluciones de goma seleccionadas” donde las gomas como; CMC, κ carragenina, λ carragenina, ι carragenina, Xantana, Guar y Konjac; también tuvieron comportamiento no newtoniano sienta evaluado a un ritmo cortante desde 1s^{-1} hasta 1000s^{-1} , en concentraciones de 0.05%, 0.1% y 0.5%

4.2.2. REOGRAMA DE VISCOSIDAD APARENTE

En el **Anexo 20** se puede observar la evolución viscosidad Aparente (μ_a) frente a al Ritmo cortante (γ) de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire caliente de ambas especies de cushuro (*N. Sphaericum* y *N. Commune*) concentrado a 0.15% y 0.25%

en agua como solvente y sometido a temperaturas de 7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C.

Los datos experimentales se determinaron que todas las soluciones evaluadas con los diferentes hidrocoloideos obtenidos afirman nuevamente un comportamiento no newtoniano. Las evaluaciones de las soluciones con el hidrocoloide obtenido por Liofilización de la especie *N.Sphaericum* muestran gráficamente un comportamiento pseudoplásticos, mientras que las demás soluciones evaluadas con las otras 3 muestras obtenidas de hidrocoloide se observa un comportamiento dilatante a pesar de no ser evaluadas desde un ritmo cortante inicial de $1s^{-1}$, así como se muestra en la Gráfica 2.



Gráfica 2: Curvas de flujo (Viscosidad Aparente η_a vs. Ritmo Cortante γ) de las soluciones al 0.25% con hidrocoloide obtenido por A. Caliente de la especie *N.Commune* y por liofilizado de la especie *N.Sphaericum* a temperaturas de 7 °C y 20°C

4.3. AJUSTE DE DATOS A MODELOS REOLOGICOS.

Los datos obtenidos se ajustaron a tres modelos diferentes para obtener la el mejor modelo de regresión a diferentes temperaturas (7°C, 20°C, 40°C, 60°C Y 80°C) y concentraciones (0.15% y 0.25%)

A. MODELO DE BINGHAM:

$$\tau = \eta_{pl}\gamma + \tau_o$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

γ = Ritmo cortante (1/s)

η_{pl} =Viscosidad plástica (Pa*s)

τ_o = Umbral de fluencia (Pa)

Los parámetros obtenidos en el modelo de Bingham se encuentran en la **Tabla 9**, se obtuvo valores de R² mínimos de 0.9540 y máximos de 0.9999.

Tabla 9: Valores de los parámetros del modelo de Bingham del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies *N.Commune* y *N.Sphaericum*

Especie	Secado	T (°C)	0.15%			0.25%		
			η (Pa*s)	τ_0 (Pa)	R ²	η (Pa*s)	σ_0 (Pa)	R ²
<i>Nostoc Sphaericum</i>	Aire Caliente	7°C	0.0236 ± 0.0010	-0.5806 ± 0.2682	0.9994	0.0416 ± 0.012	-0.0952 ± 0.0337	0.9996
		20°C	0.0221 ± 0.0010	-0.8598 ± 0.1855	0.9875	0.0319 ± 0.0003	-0.5789 ± 0.0474	0.9999
		40°C	0.0220 ± 0.0001	-2.3945 ± 0.0082	0.9981	0.0254 ± 0.0007	-2.2917 ± 0.03522	0.9818
		60°C	0.0171 ± 0.0006	-2.9005 ± 0.1728	0.9942	0.0192 ± 0.0007	-2.6508 ± 0.2353	0.9982
		80°C	0.0141 ± 0.0003	-2.3123 ± 0.2153	0.9970	0.0139 ± 0.0008	-1.4634 ± 0.0727	0.9966
	Liofilizado	7°C	0.0597 ± 0.0006	1.5237 ± 0.0117	0.9938	0.0888 ± 0.0004	3.2389 ± 0.0267	0.9895
		20°C	0.0395 ± 0.0014	0.5612 ± 0.0903	0.9992	0.0735 ± 0.0021	2.6631 ± 0.0109	0.9912
		40°C	0.0281 ± 0.0031	0.6496 ± 0.1915	0.9990	0.0535 ± 0.0062	1.449 ± 0.0411	0.9937
		60°C	0.0203 ± 0.0018	0.0921 ± 0.3765	0.9982	0.0395 ± 0.0070	1.0347 ± 0.6560	0.9949
		80°C	0.0169 ± 0.0010	-0.7280 ± 0.1950	0.9790	0.0256 ± 0.0027	0.7605 ± 0.5617	0.9970
<i>Nostoc Commune</i>	Aire Caliente	7°C	0.0235 ± 0.0000	-1.2798 ± 0.1367	0.9898	0.0346 ± 0.0009	-1.0321 ± 0.0590	0.9998
		20°C	0.0221 ± 0.0005	-1.6981 ± 0.1389	0.9540	0.0283 ± 0.0002	-1.4667 ± 0.3382	0.9850
		40°C	0.0204 ± 0.0014	-2.4119 ± 0.2505	0.9940	0.0255 ± 0.0007	-3.3219 ± 0.1774	0.9929
		60°C	0.0152 ± 0.0009	-1.7668 ± 0.2375	0.9935	0.0211 ± 0.0014	-2.8744 ± 0.3310	0.9989
		80°C	0.0127 ± 0.0006	-1.7969 ± 0.2999	0.9854	0.0153 ± 0.0001	-2.1538 ± 0.0227	0.9885
	Liofilizado	7°C	0.0251 ± 0.0004	-0.7350 ± 0.2693	0.9906	0.0463 ± 0.0007	0.1418 ± 0.0621	0.9958
		20°C	0.0229 ± 0.0002	-1.4736 ± 0.0826	0.9785	0.0339 ± 0.0003	0.0309 ± 0.1299	0.9995
		40°C	0.0211 ± 0.0026	-1.4852 ± 1.5318	0.9846	0.0241 ± 0.0000	-0.4531 ± 0.2676	0.9901
		60°C	0.0184 ± 0.0001	-1.4036 ± 0.2618	0.9756	0.0202 ± 0.0002	-1.4166 ± 0.0223	0.9783
		80°C	0.0162 ± 0.0040	-2.0423 ± 0.6152	0.9904	0.1890 ± 0.0002	-2.5731 ± 0.0989	0.9922

B. MODELO DE OSTWALD (Ley de la potencia)

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

$\dot{\gamma}$ = Ritmo cortante (1/s)

k = Índice de consistencia (Pa*sⁿ)

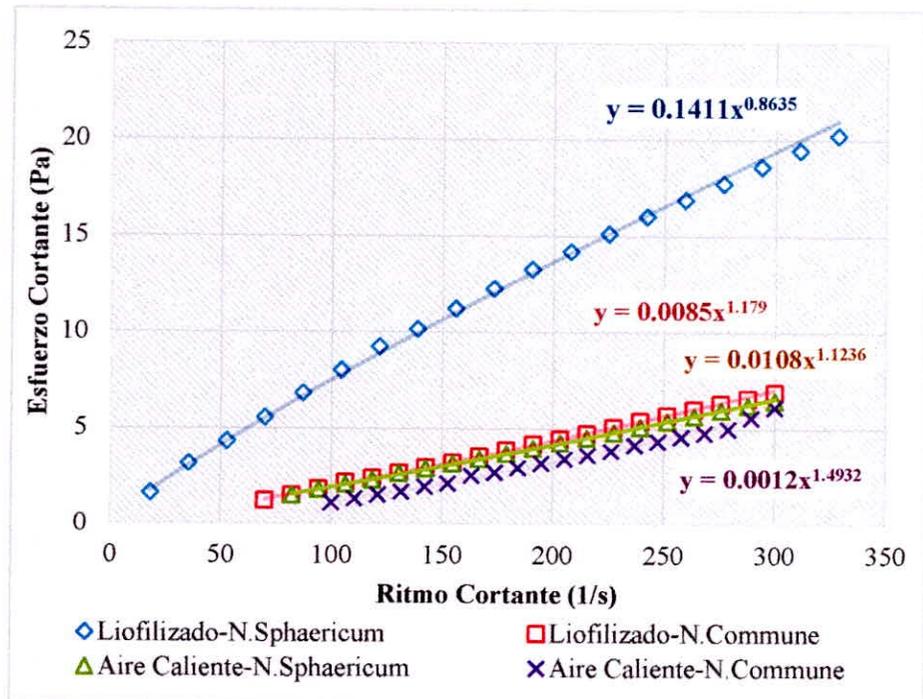
n =Índice de comportamiento

Los parámetros obtenidos del modelo de Oswald se ubican en la **Tabla 10** donde se obtienen valores de R² elevados desde 0.9772 hasta 0.9998, así mismo el índice de comportamiento de las evaluaciones al hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie *Nostoc Sphaericum* tienen comportamiento pseudoplásticos ($n < 1$) independientemente de la concentración y temperatura a la que se evaluó.

Yaseen et al. 2005 Reporto comportamientos pseudoplásticos para el CMC, κ carragenina, λ carragenina, ι carragenina, Xantana, Guar y Konjac evaluado a la temperatura de 4°C a las concentraciones de 0.05%, 0.1% y 0.5%. Así como David J. Geveke et al. 2017 al mejora de las propiedades reológicas, del almidón de tapioca mediante el uso de goma arábica obtuvo comportamientos pseudoplásticos a medida que aumentaba la concentración de Goma arábica en las soluciones con almidón. Además con el hidrocoloide evaluado se encontró que

las soluciones son más pseudoplásticas conforme aumenta la temperatura de 7°C a 80°C.

Sin embargo los hidrocoloides obtenidos de la especie *Nostoc Commune* (obtenido por aire caliente y liofilización) y *Nostoc Sphaericum* (obtenido por Aire caliente) tienen comportamiento dilatante ($n > 1$). Se ha estado experimentando con los fluidos dilatantes; no obstante, se han obtenido pocos datos fiables. El comportamiento de los fluidos dilatantes es considerado difuso en los procesos industriales y químicos (Chhabra, R.P. & Richardson, J.F. 1999)

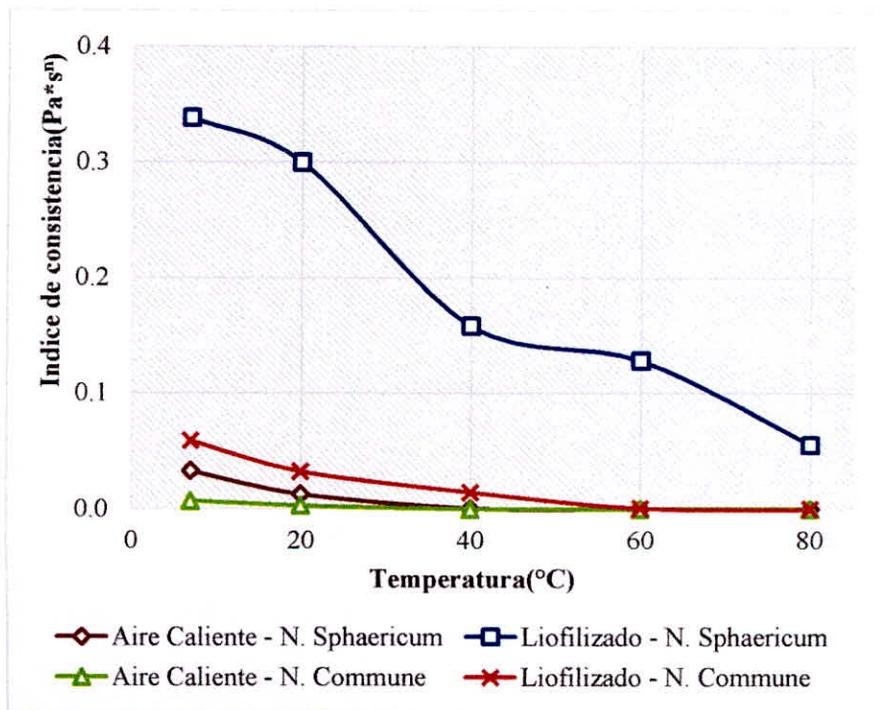


Gráfica 3: Reograma de Esfuerzo Cortante VS. Ritmo Cortante al 15% de hidrocoloides diluidos en agua y evaluados a 7°C, Modelados según Ostwald.

La **Gráfica 3** nos muestra un comportamiento Pseudoplásticos a la temperatura de 7°C y Dilatante a la temperatura de 80°C y se puede

comprobar tanto gráficamente como matemáticamente por el valor del exponente del ritmo cortante

La **Gráfica 4** nos muestra que existió mayor índice de consistencia en el hidrocoloide de la especie *N. Sphaericum* obtenido por Liofilización a comparación de los demás tratamientos de obtención además la **Anexo 16** muestra un valor P de 0.0003 menor de 0.05 lo que nos dice que existe una diferencia significativa del índice de comportamiento entre los tratamientos de obtención, es este mismo tratamiento con el que se obtuvo mayor viscosidad en el modelo de Bingham.



Gráfica 4: Valores del índice de consistencia del modelo de Ostwald a una concentración de 0.25% de hidrocoloide obtenido del *N. Sphaericum* y *N. Commune* por Liofilizado y Aire Caliente

Tabla 10: Valores de los parámetros del modelo de Ostwald del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies *N. Commune* y *N. Sphaericum*

Especie	Secado	T (°C)	0.15%			0.25%		
			k (Pa*s ⁿ)	n	R ²	k (Pa*s ⁿ)	n	R ²
<i>Nostoc Sphaericum</i>	Aire Caliente	7°C	0.0080 ± 0.0040	1.1910 ± 0.0953	0.9983	0.0331 ± 0.0037	1.0420 ± 0.0262	0.9985
		20°C	0.0056 ± 0.0015	1.2213 ± 0.0327	0.9979	0.0128 ± 0.0011	1.1536 ± 0.0134	0.9992
		40°C	0.0000 ± 0.0000	2.0077 ± 0.0219	0.9963	0.0005 ± 0.0003	1.6484 ± 0.1055	0.9908
		60°C	0.0000 ± 0.0000	2.2283 ± 0.0170	0.9962	0.0000 ± 0.0000	2.098 ± 0.0752	0.9945
		80°C	0.0000 ± 0.0000	2.2719 ± 0.1380	0.9965	0.0002 ± 0.0000	1.6643 ± 0.0243	0.9963
	Liofilizado	7°C	0.1384 ± 0.0039	0.8683 ± 0.0067	0.9981	0.3381 ± 0.0010	0.7838 ± 0.0011	0.9997
		20°C	0.0700 ± 0.0015	0.9067 ± 0.0081	0.9996	0.2995 ± 0.0100	0.7705 ± 0.0112	0.9997
		40°C	0.0724 ± 0.0197	0.8470 ± 0.0274	0.9985	0.1583 ± 0.0039	0.8223 ± 0.0134	0.9998
		60°C	0.0304 ± 0.0231	0.9594 ± 0.1254	0.9972	0.1285 ± 0.0578	0.8087 ± 0.0451	0.9961
		80°C	0.0037 ± 0.0006	1.2421 ± 0.0320	0.9917	0.0555 ± 0.0325	0.8973 ± 0.0813	0.9975
<i>Nostoc Commune</i>	Aire Caliente	7°C	0.0019 ± 0.0010	1.4237 ± 0.0983	0.9967	0.0070 ± 0.0006	1.2683 ± 0.0192	0.9965
		20°C	0.0009 ± 0.0002	1.5240 ± 0.0392	0.9772	0.0030 ± 0.0016	1.3812 ± 0.0947	0.9973
		40°C	0.0000 ± 0.0000	2.0681 ± 0.0982	0.9959	0.0000 ± 0.0000	2.3757 ± 0.0967	0.9896
		60°C	0.0001 ± 0.0000	1.7868 ± 0.0755	0.9919	0.0000 ± 0.0000	2.1263 ± 0.0841	0.9948
		80°C	0.0000 ± 0.0000	2.0082 ± 0.1211	0.9811	0.0000 ± 0.0000	2.0374 ± 0.0306	0.9896
	Liofilizado	7°C	0.0086 ± 0.0001	1.1779 ± 0.0016	0.9990	0.0592 ± 0.0092	0.9608 ± 0.0296	0.9993
		20°C	0.0016 ± 0.0000	1.4283 ± 0.0074	0.9913	0.0326 ± 0.0074	1.0115 ± 0.0410	0.9989
		40°C	0.0074 ± 0.0104	1.5359 ± 0.6954	0.9976	0.0147 ± 0.0036	1.0822 ± 0.0440	0.9976
		60°C	0.0010 ± 0.0001	1.4805 ± 0.0046	0.9942	0.0008 ± 0.0001	1.5370 ± 0.0196	0.9950
		80°C	0.0001 ± 0.0001	1.8744 ± 0.3215	0.9960	0.0000 ± 0.0000	2.1504 ± 0.0689	0.9963

C. MODELO DE HERSCHEL-BULKLE

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n + \tau_0$$

Dónde:

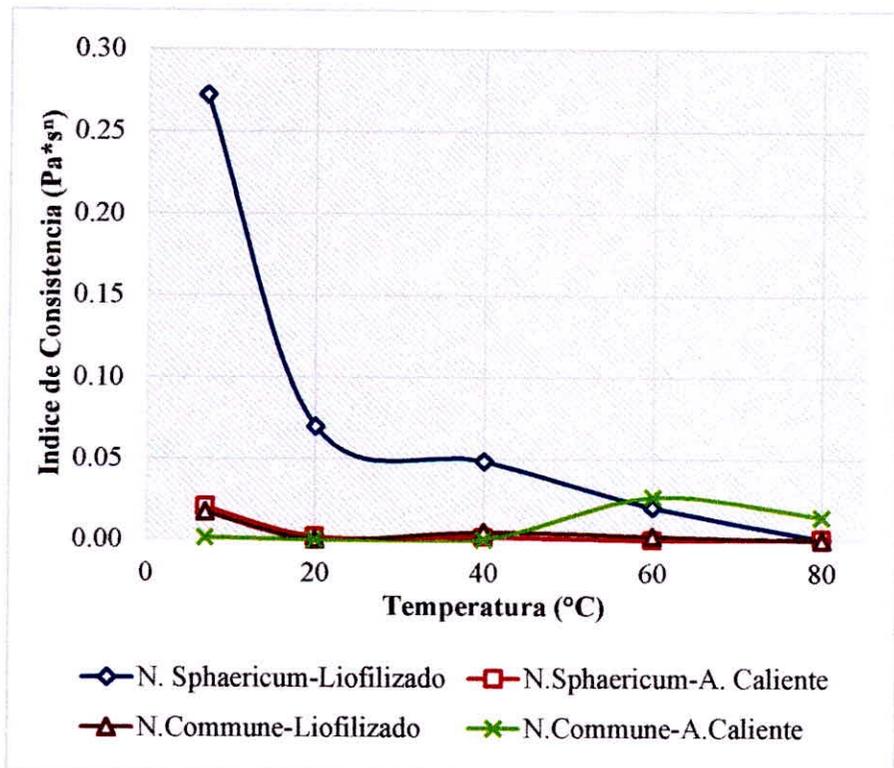
τ = Esfuerzo cortante (Pa)

$\dot{\gamma}$ = Ritmo cortante (1/s)

k = Índice de consistencia (Pa*sⁿ)

n = Índice de comportamiento

τ_0 = Umbral de fluencia (Pa)



Gráfica 5: Valores del índice de consistencia del modelo de Herschel-Bulkle a una concentración de 0.15% de hidrocoloide obtenido del *N. Sphaericum* y *N. Commune* por Liofilizado y Aire Caliente

El modelo de Herschel-Bulkley nos da valores del coeficiente de determinación (R^2) desde 0.9889 hasta 0.9999 obteniéndose una alta relación del modelo con los datos experimentales.

Al igual que el modelo de Bingham y el modelo potencial de Ostwald se obtiene un valor de índice de consistencia mucho mayor en el hidrocoloide obtenido por Liofilizado del *N. Sphaericum* pero no es significativo (**Anexo 17**) ya que se obtuvo un valor P de 0.1084.

Tabla 11: Valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies *N.Commune* y *N.Sphaericum* a una concentración de 0.15%

Especie	Secado	T (°C)	K _H (Pa*s ⁿ)	n	τ ₀ (Pa)	R ²
<i>Nostoc Sphaericum</i>	Aire Caliente	7°C	0.0204 ± 0.000	1.0233 ± 0.0066	-0.486 ± 0.2405	0.9995
		20°C	0.0021 ± 0.0007	1.3890 ± 0.0711	0.3297 ± 0.2303	0.9988
		40°C	0.0018 ± 0.0011	1.4214 ± 0.1106	-0.948 ± 0.2850	0.9986
		60°C	0.0001 ± 0.0000	1.9165 ± 0.1424	-0.3631 ± 0.1607	0.9978
		80°C	0.0010 ± 0.0014	1.5714 ± 0.3885	-0.8677 ± 0.5169	0.9978
	Liofilizado	7°C	0.2722 ± 0.0042	0.7533 ± 0.0009	-0.9171 ± 0.0546	0.9998
		20°C	0.0700 ± 0.0090	0.9077 ± 0.0269	-0.0067 ± 0.0694	0.9998
		40°C	0.0487 ± 0.0097	0.9114 ± 0.0146	0.2594 ± 0.0806	0.9995
		60°C	0.0202 ± 0.0110	1.0126 ± 0.0780	0.13 ± 0.1346	0.9984
		80°C	0.0007 ± 0.0003	1.5084 ± 0.0593	0.4236 ± 0.1970	0.9903
<i>Nostoc Commune</i>	Aire Caliente	7°C	0.0013 ± 0.0012	1.5151 ± 0.1795	0.1572 ± 0.4740	0.9951
		20°C	0.0000 ± 0.0000	2.5176 ± 0.0901	0.8809 ± 0.0181	0.9949
		40°C	0.0003 ± 0.0004	1.827 ± 0.3927	-0.33 ± 0.4207	0.9976
		60°C	0.0266 ± 0.0373	1.2332 ± 0.6014	-1.3887 ± 1.6181	0.9947
		80°C	0.0143 ± 0.202	1.7611 ± 1.2532	-0.8657 ± 1.7414	0.9889
	Liofilizado	7°C	0.0171 ± 0.0021	1.0626 ± 0.0225	-0.3291 ± 0.0474	0.9997
		20°C	0.0001 ± 0.0000	1.9482 ± 0.1030	0.6922 ± 0.1548	0.9915
		40°C	0.0049 ± 0.0066	1.4357 ± 0.4552	-0.0916 ± 0.3833	0.9981
		60°C	0.0022 ± 0.0026	1.4246 ± 0.2583	-0.1211 ± 0.4418	0.9958
		80°C	0.000 ± 0.0000	2.4674 ± 0.1371	0.5133 ± 0.1932	0.9962

Tabla 12: Valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley del hidrocoloide obtenido por liofilización y Aire Caliente de las especies *N.Commune* y *N.Sphaericum* a una concentración de 0.25%

Especie	Secado	T (°C)	K_H (Pa*s ⁿ)	n	τ_0 (Pa)	R ²
<i>Nostoc Sphaericum</i>	Aire Caliente	7°C	0.0634 ± 0.0203	0.9352 ± 0.0486	1.6039 ± 1.1930	0.9999
		20°C	0.0321 ± 0.0026	0.9987 ± 0.0117	-0.5792 ± 0.0109	0.9999
		40°C	0.0001 ± 0.0001	2.3843 ± 0.8014	0.8513 ± 0.5630	0.9962
		60°C	0.0089 ± 0.0112	1.2385 ± 0.3141	-1.7563 ± 0.9227	0.9988
		80°C	0.0563 ± 0.0796	1.6085 ± 0.8067	-0.4374 ± 1.3494	0.9980
	Liofilizado	7°C	0.3981 ± 0.0059	0.7559 ± 0.0032	-0.3308 ± 0.0172	0.9999
		20°C	0.2546 ± 0.0416	0.7982 ± 0.0217	0.3457 ± 0.3703	0.9999
		40°C	0.176 ± 0.0275	0.806 ± 0.0438	-0.1367 ± 0.2263	0.9997
		60°C	0.2438 ± 0.2695	0.7747 ± 0.2180	-0.5711 ± 1.1563	0.9991
		80°C	0.1697 ± 0.0141	0.7123 ± 0.0278	-1.4019 ± 0.6279	0.9992
<i>Nostoc Commune</i>	Aire Caliente	7°C	0.0326 ± 0.0140	1.0178 ± 0.0681	-0.9474 ± 0.4267	0.9998
		20°C	0.001 ± 0.0012	1.6806 ± 0.3302	0.5165 ± 0.3824	0.9961
		40°C	0.2236 ± 0.0610	0.6859 ± 0.0421	-6.628 ± 0.4158	0.9991
		60°C	0.0037 ± 0.0036	1.319 ± 0.1788	-1.5919 ± 0.7926	0.9992
		80°C	0.0000 ± 0.0000	2.1546 ± 0.1590	0.0987 ± 0.1704	0.9938
	Liofilizado	7°C	0.0626 ± 0.0141	0.9522 ± 0.0350	-0.036 ± 0.3642	0.9998
		20°C	0.051 ± 0.0019	0.9331 ± 0.0048	-0.3023 ± 0.1580	0.9998
		40°C	0.0739 ± 0.0936	1.1381 ± 0.0703	0.133 ± 0.2624	0.9989
		60°C	0.0027 ± 0.0027	1.3769 ± 0.1991	-0.2994 ± .4184	0.9964
		80°C	0.0000 ± 0.0000	2.4502 ± 0.1308	0.2655 ± 0.1535	0.9972

4.4.MEJOR REGRESION:

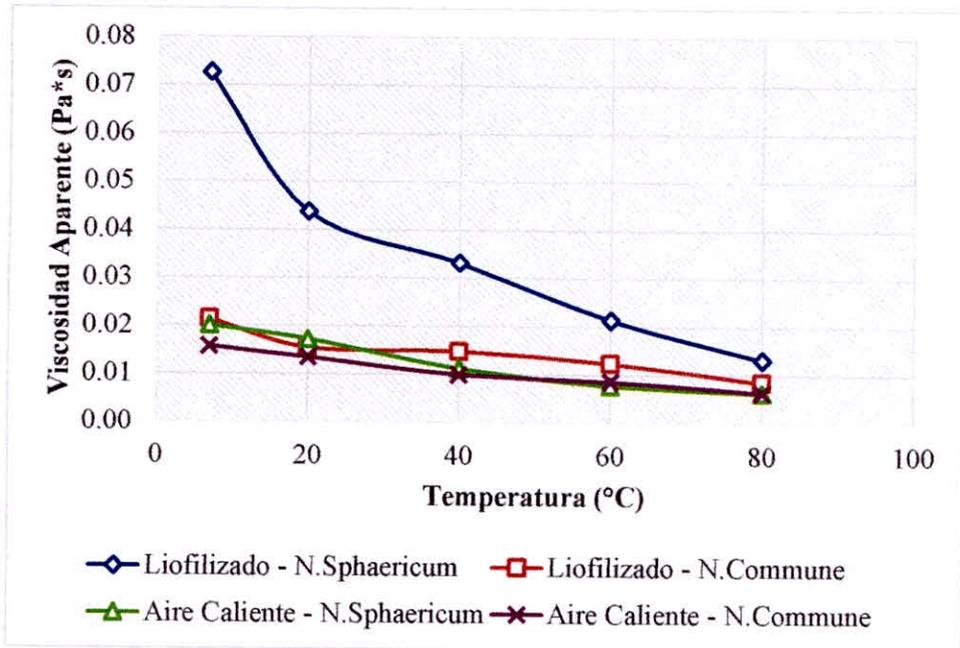
De los 3 modelos reológicos evaluados se promedió el valor del coeficiente de determinación para poder obtener la mejor regresión y se muestran los valores a continuación:

Tabla 13: Valores del coeficiente de determinación de los modelos reológicos para el flujo del esfuerzo cortante vs. Ritmo Cortante del hidrocoloide proveniente del cushuro (*N.Sphaericum* y *N.Commune*) secado por Liofilización y Aire Caliente

SECADO	ESPECIE	MODELO REOLOGICO		
		Bingham	Ostwald	Herschel-Bulkley
Liofilización	<i>N. Sphaericum</i>	0.9936	0.9978	0.9990
	<i>N. Commune</i>	0.9876	0.9965	0.9973
Aire Caliente	<i>N. Sphaericum</i>	0.9952	0.9964	0.9985
	<i>N. Commune</i>	0.9882	0.9910	0.9959
Promedio		0.9911	0.9954	0.9977

Se observa que para todas las soluciones preparadas con diferentes hidrocoloides obtenidos, la mejor regresión fue con el modelo de Herschel-Bulkley, no influyendo el método de secado ni especie en el mejor modelo de regresión del esfuerzo cortante τ (Pa) y el ritmo cortante $\dot{\gamma}$ (Pa*s).

4.5.EVALUACIÓN DE VARIABLES (Métodos de secado-Especie) sobre la viscosidad Aparente



Gráfica 6: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenidos por Liofilización y Aire Caliente del cushuro (*N.Sphaericum* y *N.Commune*) a la concentración de 0.15%

La **Gráfica 6** y **Gráfica 7** nos muestra que los valores de viscosidad de los hidrocoloides deshidratados por liofilización de ambas especies, *N.Sphaericum* y *N. Commune*, son mucho mayor a comparación de los hidrocoloides deshidratados por Aire Caliente, y realizando el análisis del diseño estadístico multifactorial categórico mostrado en la **Tabla 14** nos dice que existe diferencia significativa en cuanto al método de secado.

A la concentración de 0.15% la viscosidad de los hidrocoloides deshidratados por liofilización de ambas especies, *N.Commune* y *N.Sphaericum*, evaluados a 7°C fueron mayores en 3.6 y 1.4 veces respectivamente a comparación de la viscosidad de los hidrocoloides deshidratados por aire caliente, lo mismo ocurrió al ser evaluados a 20, 40, 60 y 80°C reportándose valores de

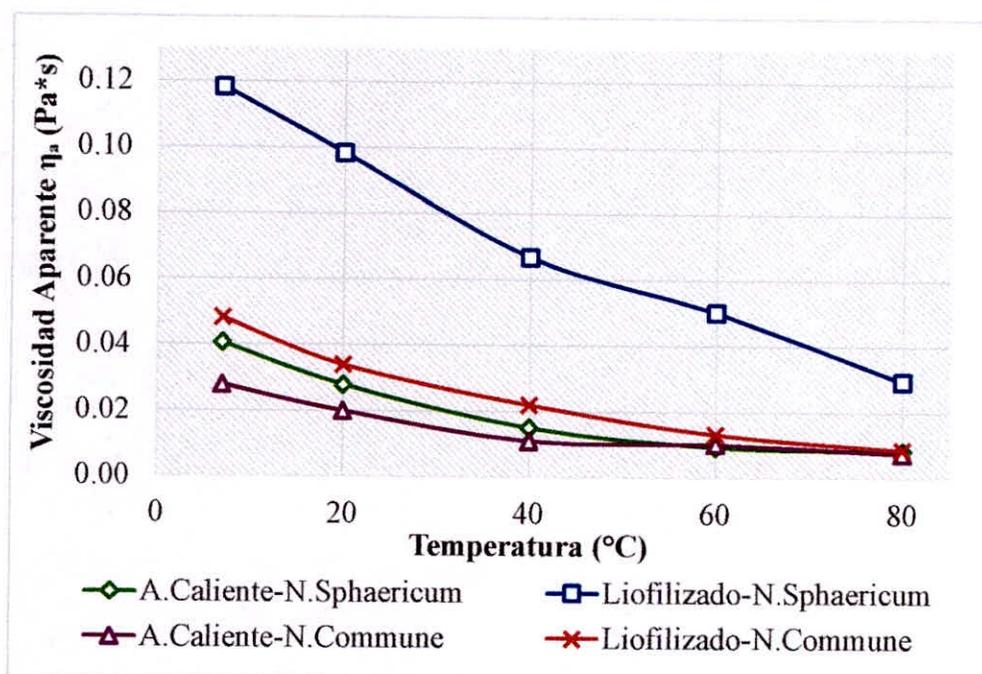
viscosidad del hidrocoloide liofilizado superiores al hidrocoloide secado por Aire Caliente. Además estadísticamente esta diferencia de viscosidad por los métodos de secado empleados es significativa en todas las temperaturas para la especie *N.Sphaericum*, mientras que para el hidrocoloide del *N.Commune* la diferencia solo es significativa a las temperaturas de 7, 20, 40 y 60°C, ya que al llegar a la temperatura de 80°C ya no existe diferencia significativa, (Roldan W, 2015) nos dice que algunos hidrocoloides como la goma Xantano pueden mantener su viscosidad a altas temperaturas mientras que en otros hidrocoloides como polisacáridos solubles esto no es posible, disminuyendo la viscosidad conforme se aumenta la temperatura, y este el caso del hidrocoloide proveniente del cushuro de la especie *N. Commune*.

Tabla 14: Análisis estadístico del diseño experimental Multifactorial Categórico de las variables, especie (*N.Sphaericum* y *N.Commune*) y secado (Liofilización y Aire Caliente) sobre los valores de viscosidad aparente del hidrocoloide evaluado a temperaturas de 7, 20, 40, 60 y 80°C y concentraciones de 0.15% y 0.25%

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
A:Especie	0.0036	1	0.0036	9.79	0.0035
B:Secado	0.0051	1	0.0051	13.72	0.0007
AB	0.0024	1	0.0024	6.65	0.0141
RESIDUOS	0.0134	36	0.0004		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0246	39			

Mientras que a la concentración de 0.25% la viscosidad de los hidrocoloides deshidratados por liofilización de ambas especies, *N.Commune* y

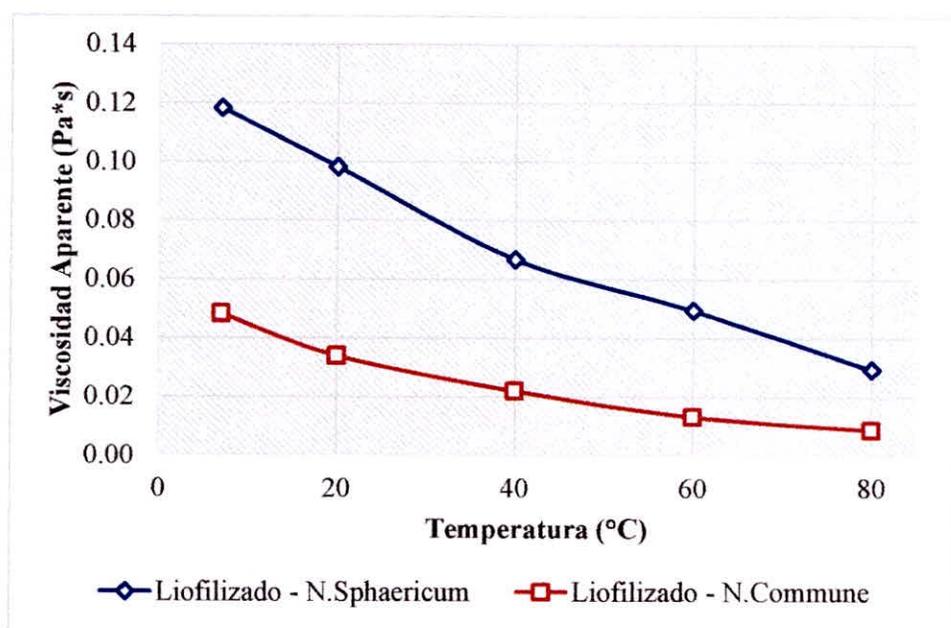
N.Sphaericum, evaluados a 7°C fueron mayores en 2.9 y 1.7 veces respectivamente a comparación de la viscosidad de los hidrocoloides deshidratados por aire caliente, lo mismo ocurre a 20, 40, 60 y 80°C reportándose valores de viscosidad del hidrocoloide liofilizado superiores al hidrocoloide secado por Aire Caliente. Además estadísticamente esta diferencia de viscosidad por los métodos de secado empleados es significativa evaluados individualmente para cada temperatura y en cada especie.



Gráfica 7: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenido por Liofilización y Aire Caliente del cushuro (*N.Sphaericum* y *N.Commune*) a la concentración de 0.25%

Esta diferencia se debe a que el hidrocoloide deshidratado por liofilización se seca sin calentamiento excesivo, los componentes no son desnaturalizados térmicamente y se pueden conservar con éxito; además los productos liofilizados tienen una área superficial mucho más elevada, lo que facilita su rápida restructuración y rehidratación (Technology, 2012), permitiendo así

que las grandes estructuras de polisacáridos atrapan mejor el agua y se obtiene una solución más viscosa. Mientras que el secado por Aire caliente es un método convencional que es inadecuado para muestras frágiles debido a la enorme degradación que le causan, ya que los productos deshidratados con aire caliente tienden a experimentar encogimiento y colapso del tejido, características que retardan la rehidratación y cambian el aspecto agradable del producto (Oliveira, 1999).

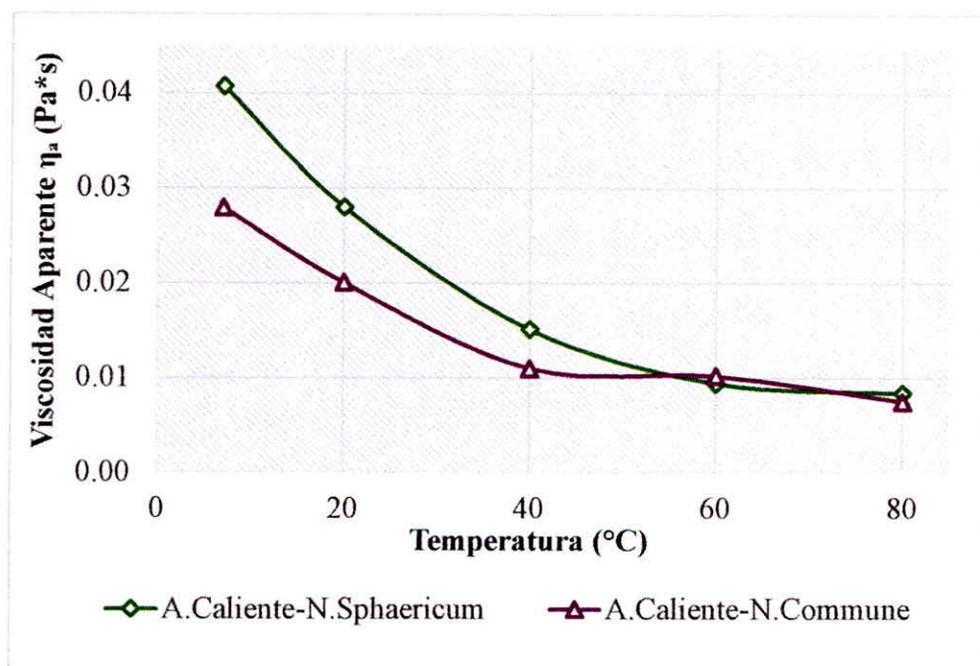


Gráfica 8: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenido por Liofilización del cushuro (*N.Sphaericum* y *N.Commune*) a la concentración de 0.25%

En cuanto a los métodos de secado en la **Gráfica 8** y **Gráfica 9** se aprecia mucho mejor la diferencia entre los valores de viscosidad de los hidrocoloides de la especie *N.Sphaericum* y *N.Commune* evaluados ambos al 0.25% y a diferentes temperaturas.

A la concentración de 0.25% la viscosidad de los hidrocoloides obtenidos de la especie *N.Sphaericum* deshidratados por liofilización y Aire Caliente,

evaluados a 7°C fueron mayores en 2.4 y 1.5 veces respectivamente a comparación de la viscosidad de los hidrocoloides de la especie *N. Commune*, lo mismo ocurre a 20, 40, 60 y 80°C reportándose valores de viscosidad del hidrocoloide liofilizado superiores al hidrocoloide secado por Aire Caliente. Además estadísticamente esta diferencia de viscosidad causada por la especie es significativa evaluando individualmente en cada una de las temperaturas del hidrocoloide liofilizado, pero para el hidrocoloide obtenido por Aire Caliente la significancia solo se mantiene a temperaturas de 7, 20 y 40°C, siendo insignificante a 60 y 80°C.



Gráfica 9: Curvas de viscosidad Aparente de los hidrocoloides obtenidos por Aire Caliente del cushuro (*N.Sphaericum* y *N.Commune*) a la concentración de 0.25%

Para la concentración de 0.15% la viscosidad de los hidrocoloides obtenidos de la especie *N.Sphaericum* deshidratados por liofilización y Aire Caliente, evaluados a 7°C también fueron mayores en 3.4 y 1.3 veces respectivamente

a comparación de la viscosidad de los hidrocoloides de la especie *N. Commune*, lo mismo ocurre a 20, 40, 60 y 80°C reportándose valores de viscosidad del hidrocoloide liofilizado superiores al hidrocoloide secado por Aire Caliente. Estadísticamente esta diferencia de viscosidad causada por la especie es significativa evaluando individualmente en cada una de las temperaturas del hidrocoloide liofilizado, pero para el hidrocoloide obtenido por Aire Caliente la significancia solo se mantiene a temperaturas de 7, 20, 40 y 60°C, siendo insignificante a 80°C. La diferencia de la viscosidad entre especies se corrobora en un estudio fisicoquímico de los polisacáridos del *Nostoc* realizado por B. Jurado T, et al, 2014 reporta valores de viscosidad de 0.0383 Pa*s para la especie *N. Sphaericum* y 0.0045 Pa*s para la especie *N. Commune*, por lo que también obtuvieron que el hidrocoloide obtenido de la especie *N. Sphaericum* es más viscoso.

Tabla 15: Valores de viscosidad aparente a la concentración de 0.15% de hidrocoloide evaluado a temperaturas de 7, 20, 40, 60 y 80°C

Temperatura (°C)	^{a,b} Liofilizado <i>N.Sphaericum</i>	^{a,c} Liofilizado <i>N.Commune</i>	^{b,c} A. Caliente <i>N.Sphaericum</i>	^c A. Caliente <i>N.Commune</i>
7	0.0727	0.0215	0.0201	0.0157
20	0.0438	0.0155	0.0173	0.0135
40	0.0332	0.0148	0.0112	0.0099
60	0.0214	0.0124	0.0078	0.0086
80	0.0132	0.0085	0.0063	0.0064

^{a,b y c} Los encabezados de columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes.

De todas las curvas de viscosidad, se observa en la **Gráfica 6** y **Gráfica 7** que se obtuvo mayor viscosidad en el hidrocoloide de la especie *N.Sphaericum* deshidratado por liofilización que diluido al 0.15% y 0.25%

supero en 4.6 y 4.2 veces al hidrocoloide de la especie *N.Commune* deshidratado por Aire Caliente que obtuvo los valores de viscosidad más bajos. El análisis estadístico nos dice que existe diferencia significativa en la viscosidad de los 4 hidrocoloides evaluados en cada una de las temperaturas, y esta diferencia ocurre tanto para la concentración de 0.15% como para la concentración de 0.25%.

Tabla 16: Valores de viscosidad aparente a la concentración de 0.25% de hidrocoloide evaluado a temperaturas de 7, 20, 40, 60 y 80°C

Temperatura (°C)	Liofilizado <i>N.Sphaericum</i>	^a Liofilizado <i>N.Commune</i>	^a A. Caliente <i>N.Sphaericum</i>	^a A. Caliente <i>N.Commune</i>
7	0.1183	0.0485	0.0407	0.0280
20	0.0983	0.0341	0.0280	0.0200
40	0.0668	0.0221	0.0151	0.0110
60	0.0502	0.0133	0.0094	0.0102
80	0.0294	0.0088	0.0084	0.0075

^a Los encabezados de columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes.

4.6.EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACION EN LA VISCOSIDAD APARENTE DEL HIDROCOLOIDE

El efecto de la temperatura y concentración se realizó sobre el hidrocoloide que tuvo mayor viscosidad de los 4 hidrocoloides evaluados, que fue el obtenido por liofilización de la especie *Nostoc Sphaericum*.

4.6.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA

Las evaluaciones de la temperatura se realizaron a 7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C. Con los datos mostrados anteriormente se observó que conforme hay un aumento de la temperatura, la viscosidad disminuye, y disminuyó en un 16.6% desde 7°C hasta 80°C. Para encontrar la relación de la temperatura y viscosidad se utilizó la ecuación de Arrhenius lineal.

$$\eta = Ae^{\frac{E_a}{RT}}$$

$$\ln(\eta) = \ln(A) + B \left(\frac{1}{T} \right)$$

Donde:

η = Viscosidad Aparente η_a (Pa*s)

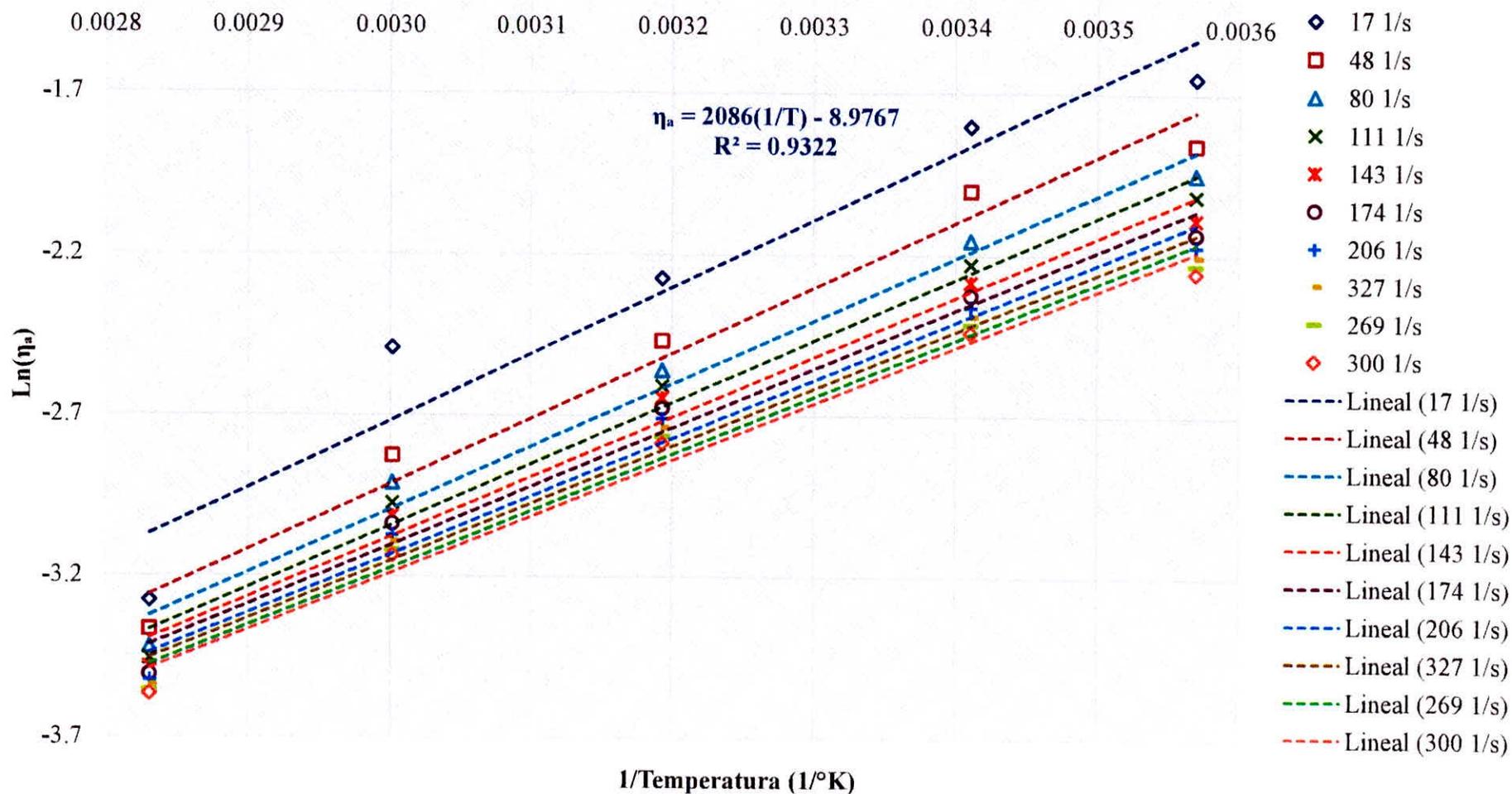
A = Viscosidad de deformación infinita Pa*s

E_a = Energía de activación KJ/mol

T = Temperatura °K

R = Constante de los gases ideales 0.0083 KJ/ (mol °K)

La **Gráfica 10** muestra el comportamiento de la viscosidad aparente frente al inverso de la temperatura para diferentes ritmos cortantes (1/s) y los parámetros se encuentran en la **Tabla 17**.



Gráfica 10: Ln de la viscosidad aparente frente a la inversa de la temperatura, del hidrocoloide obtenido por liofilización del *Nostoc Sphaericum* evaluado a diferentes ritmos cortantes (1/s) y modelado por la ecuación de Arrhenius linealizada

Visualmente las pendientes de las líneas representadas en la **Gráfica 10** son muy similares y paralelas entre sí, haciéndonos suponer que la energía de activación para el flujo es poco sensible al ritmo cortante en el intervalo estudiado pero aun así la energía de activación disminuye conforme aumenta el ritmo cortante.

De las ecuaciones obtenidas con el modelo de Arrhenius podemos decir que la disminución de la viscosidad con el aumento de la temperatura es menor conforme aumenta el ritmo cortante ($1/s$); esta situación sucede ya que a velocidades de cizalla altas las diferencias estructurales de un fluido no newtoniano suelen amortiguarse (Jenifer Santosa et al. 2012)

Según Ibarz et al. (2000) nos dice que el valor de la energía de activación (E_a) determina la sensibilidad de un fluido con respecto a la temperatura; así los valores altos de energía de activación corresponden a fluidos cuya viscosidad es muy sensible a la temperatura, por lo tanto la sensibilidad del fluido a la temperatura va disminuyendo conforme aumenta la velocidad de cizalla, es decir es más estable.

Además la energía de activación se refiere también a la barrera a la oscilación que permite que se produzcan interacciones “permanentes” entre macromoléculas. Desde este punto de vista, la energía de activación se puede considerar como una medida de la fuerza de las asociaciones elásticas que tienen lugar en el interior de las soluciones (Sworn G & Kasapis S, 1998)

Tabla 17: *Parámetros del efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente con la ecuación de Arrhenius para las concentraciones de 0.15% y 0.25% del hidrocoloide obtenido de la especie N.Sphaericum por Liofilización*

Ritmo Cortante	0.15%				0.25%			
	B (°K)	A (Pa*s)	Ea (KJ/mol)	R ²	B (°K)	A (Pa*s)	Ea (KJ/mol)	R ²
1	2516	0.000023	20.92	0.7392	2155	0.00011	17.92	0.9338
17	2466	0.000020	20.51	0.7818	2086	0.00013	17.34	0.9322
32	2465	0.000015	20.49	0.9367	2074	0.00012	17.25	0.9656
48	2456	0.000014	20.42	0.9675	2040	0.00012	16.96	0.9748
64	2444	0.000013	20.32	0.9724	1989	0.00013	16.53	0.9785
80	2429	0.000014	20.19	0.9731	1959	0.00014	16.29	0.9821
95	2422	0.000014	20.14	0.9739	1956	0.00014	16.26	0.9857
111	2399	0.000014	19.94	0.9751	1922	0.00015	15.98	0.9839
127	2367	0.000016	19.68	0.9767	1895	0.00016	15.76	0.9827
143	2330	0.000018	19.37	0.9784	1867	0.00017	15.52	0.9815
158	2291	0.000020	19.05	0.9803	1848	0.00018	15.36	0.9807
174	2251	0.000022	18.72	0.9821	1833	0.00018	15.24	0.9803
190	2211	0.000025	18.39	0.9838	1821	0.00019	15.14	0.9807
206	2172	0.000029	18.06	0.9855	1811	0.00019	15.06	0.9818
221	2133	0.000032	17.74	0.9870	1801	0.00019	14.98	0.9814
237	2095	0.000036	17.42	0.9884	1790	0.00020	14.88	0.9818
253	2059	0.000041	17.12	0.9896	1785	0.00020	14.84	0.9826
269	2023	0.000046	16.82	0.9907	1777	0.00020	14.78	0.9836
284	1988	0.000051	16.53	0.9916	1769	0.00021	14.71	0.9838
300	1954	0.000057	16.25	0.9923	1761	0.00021	14.64	0.9839

4.6.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN

Para el evaluar el efecto de la concentración, se tomó los valores de la viscosidad aparente del hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie *N.Sphaericum* por ser el hidrocoloide que tuvo mayor capacidad espesante a comparación de los demás.

Los resultados del ajuste de viscosidad aparente obtenidos, se han ajustado para cada temperatura (7, 20, 40, 60 y 80°C) al modelo potencial y exponencial

$$\eta_a = \eta_1 * C^a \text{ (Potencial)}$$

$$\eta_a = \eta_2 * e^{b*C} \text{ (Exponencial)}$$

Donde:

η_a = Viscosidad Parente (Pa*s)

C= Concentración

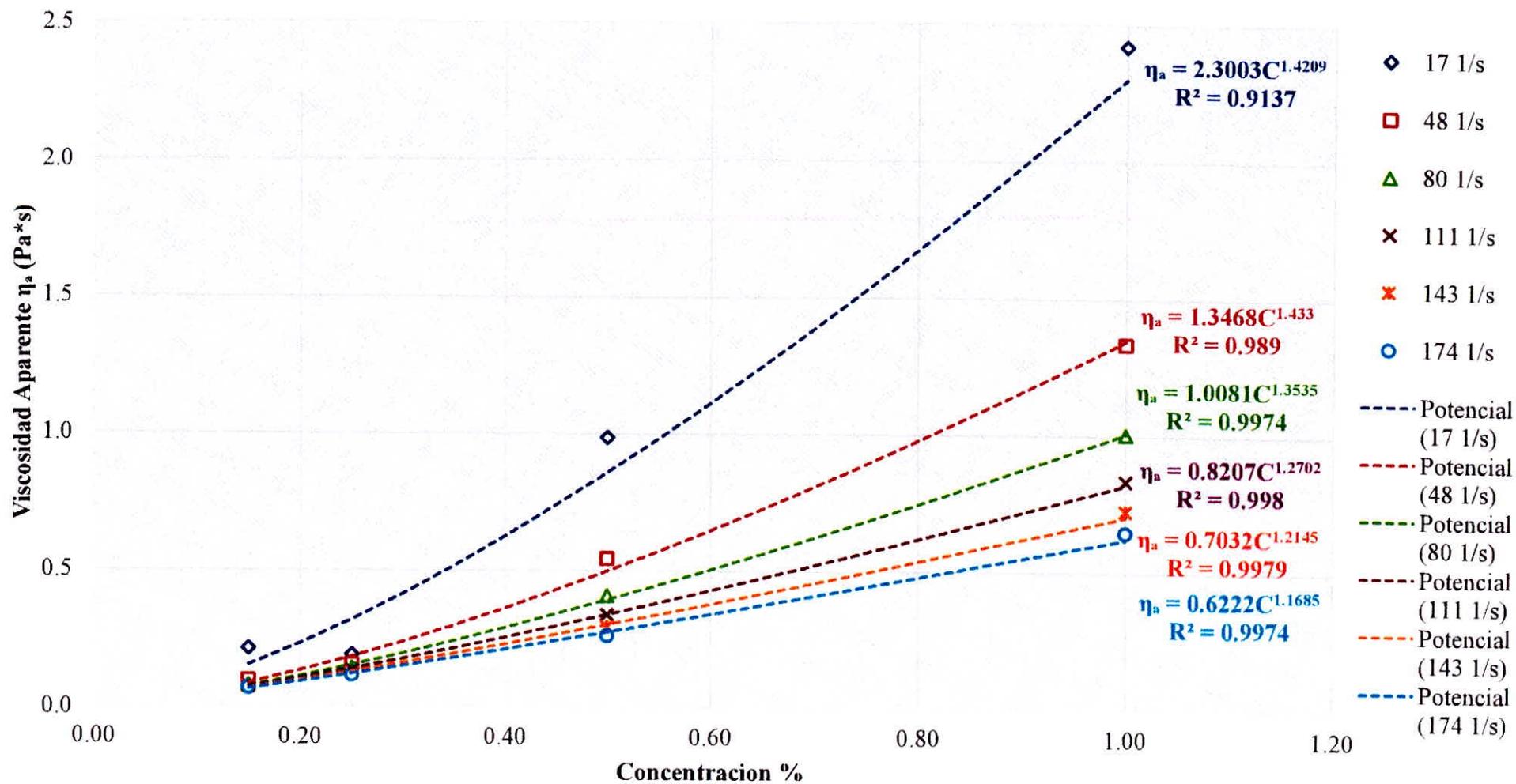
η_1, η_2, a y b = Parámetros

De los dos modelos propuestos para la viscosidad aparente en función a la Concentración, se obtuvo mejor valor R^2 con el modelo potencial (**Gráfica 11**) con un valor promedio de 0.9748 a comparación del modelo exponencial 0.8887. Además los valores de los parámetros hallados tanto para el modelo potencial y exponencial tienden a disminuir con el aumento del Ritmo Cortante.

Yaseen et al. 2005, también propuso los mismos modelos para ayudar a evaluar la dependencia de la concentración (0.05, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45 y 0.55%) de las gomas CMC, i-carragenano y xathan y obtuvo que el CMC

se caracterizó por la relación exponencial mientras que, i-carragenina y xathan, fueron descrito por una relación de tipo potencial así como el comportamiento del hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie *N.Sphaericum* también tiene el comportamiento potencial.

D. Manayay et al. (2013) nos dice que conforme aumenta el grado de concentración, las partículas sólidas, en un principio individuales, irán quedando cada vez más próximas unas de otras, lo que facilita la formación de grumos, estos también se asocian para formar una red o malla que atrapa la fase dispersante, provocando de este modo, un fuerte incremento en los parámetros reológicos , en nuestro caso conforme aumentamos las concentraciones de hidrocoloide se facilitara la formación de redes por existir menor espacio entre las partículas, que atraparan con más facilidad el agua y existirá aumento en la viscosidad y también se mostraran cambios en los comportamientos reológicos.



Gráfica 11: Viscosidad Apparente frente a la concentración del hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie *N.Sphaericum* con regresión potencial a diferentes velocidades de Ritmo Cortante 1/s

4.6.3. EFECTO COMBINADO TEMPERATURA-CONCENTRACIÓN

$$\eta_a = \alpha * e^{\left(\beta * C + \frac{E_a}{RT}\right)}$$

Dónde:

η_a =Viscosidad Aparente (Pa*s)

α, β =Constantes

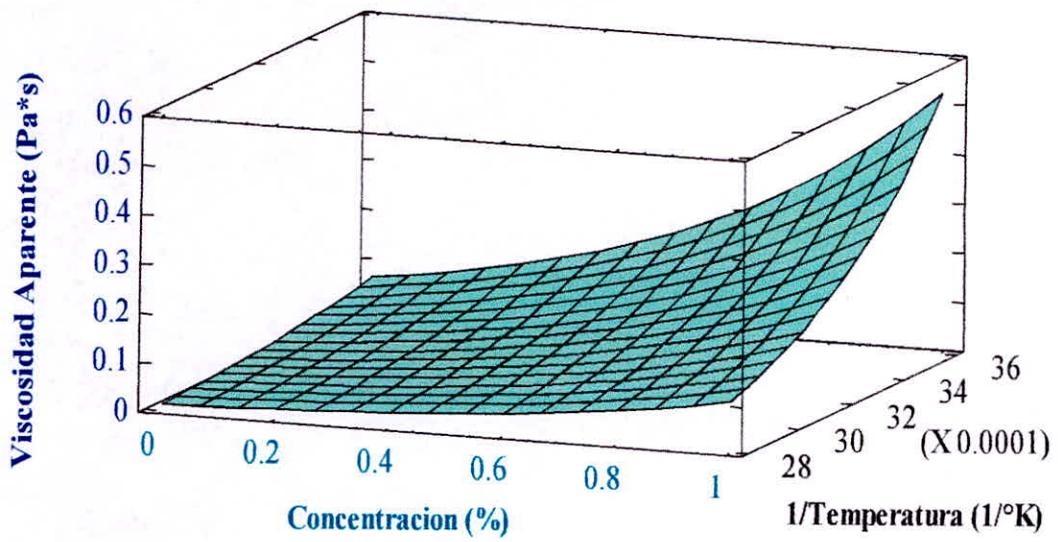
R= Constante de los gases ideales 0.0083 KJ/(mol °K)

C= Concentración (%)

Tabla 18: Valores de los parámetros que relacionan el efecto combinado Temperatura-Concentración sometidos a Ritmo cortante de $1s^{-1}$ hasta $300 s^{-1}$ de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie *N.Sphaericum*.

Ritmo Cortante (1/s)	α	β	Ea	R2
1	0.000513	2.69	17.32	0.9150
17	0.000136	2.45	17.25	0.9411
32	0.000101	2.40	17.19	0.9464
48	0.000085	2.36	17.15	0.9498
64	0.000076	2.33	17.12	0.9526
80	0.000070	2.29	17.11	0.9549
95	0.000066	2.26	17.09	0.9571
111	0.000062	2.23	17.07	0.9588
127	0.000060	2.21	17.05	0.9603
143	0.000058	2.19	17.03	0.9614
158	0.000056	2.16	17.01	0.9625
174	0.000054	2.14	17.00	0.9635
190	0.000053	2.12	16.98	0.9643
206	0.000052	2.11	16.97	0.9650
221	0.000051	2.09	16.95	0.9657
237	0.000050	2.07	16.94	0.9663
253	0.000049	2.06	16.93	0.9668
269	0.000049	2.04	16.92	0.9673
284	0.000048	2.03	16.90	0.9677
300	0.000047	2.02	16.89	0.9680

$$\eta_a = 0.000047 * e^{(2.02+C+\frac{16.89}{R*T})}$$



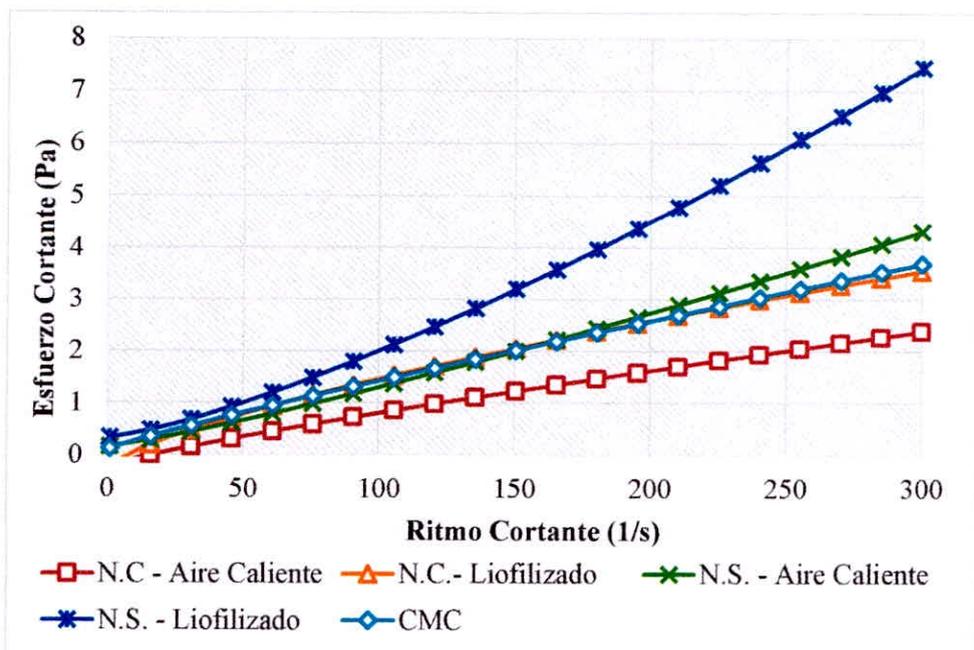
Gráfica 12: Viscosidad Aparente η_a (Pa*s) en función de la Temperatura (1/°K) y Concentración (%) del hidrocóide obtenido por Liofilización y *N.Sphaericum* sometido a Ritmo cortante de $300s^{-1}$

4.7.EVALUACIONES COMPARATIVAS ENTRE CMC CON HIDROCOLOIDE A 12°BRIX Y 4.5 PH

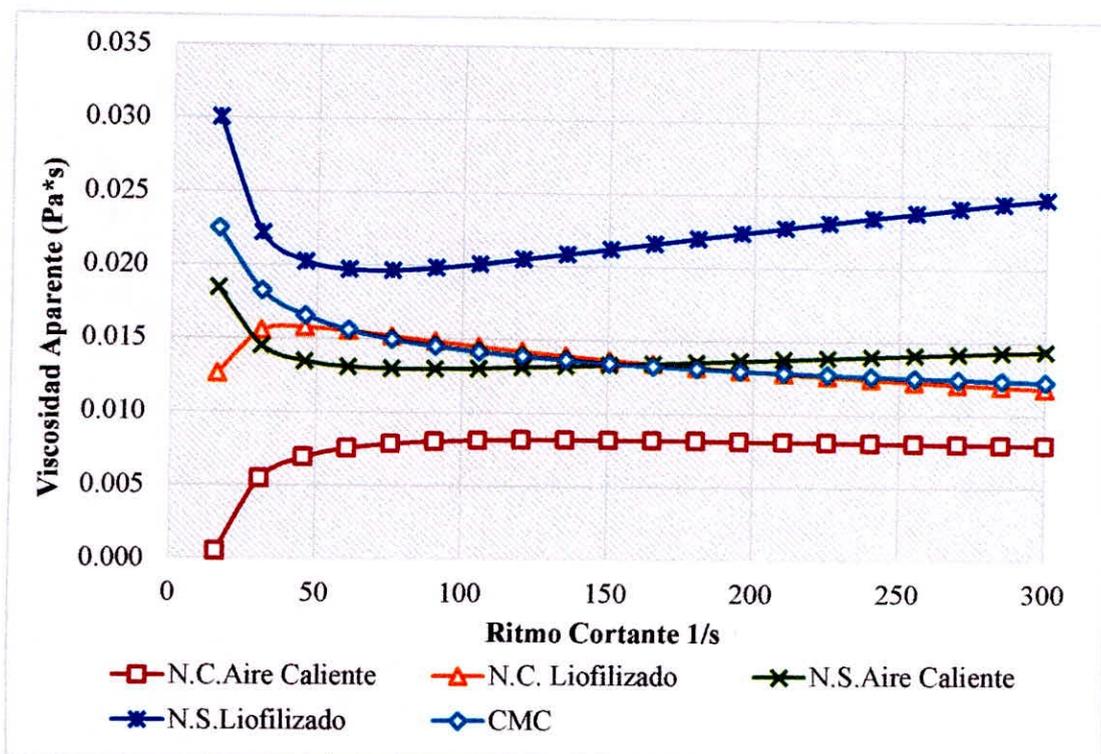
Así como se realizaron las evaluaciones de las 4 muestras de hidrocoloide diluidas agua, también se realizaron evaluaciones en condiciones similares a un néctar (12°Brix con azúcar blanca y 4.5 pH con ácido cítrico) haciendo uso del hidrocoloide como espesante al 0.15% y 0.25%; y para contrastar los datos se evaluó también en estas mismas condiciones con el espesante CMC.

4.7.1. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL FLUJO

De las evaluaciones reológicas del hidrocoloide y CMC en condiciones de néctar se obtuvo valores de esfuerzo cortante y Viscosidad Aparente a un ritmo cortante de 1 a 300 1/s plasmados en la Gráfica 13 y Gráfica 14 , respectivamente.; y se observa comportamientos no newtonianos tanto para las 4 muestras de hidrocoloide como para el aditivo CMC.



Gráfica 13: Curvas de flujo (esfuerzo cortante τ en función del Ritmo Cortante $\dot{\gamma}$) al 0.15% de hidrocoloides y CMC evaluado a 7°C



Gráfica 14: Curvas de Viscosidad Aparente en función del Ritmo Cortante (1/s) al 0.15% de hidrocoloides y CMC evaluado a 7°C

4.7.2. AJUSTE DE MODELOS REOLÓGICAS.

De las evaluaciones del hidrocoloide y CMC en condiciones de néctar se ajustaron los datos a 3 modelos Reológicos principales (Anexo 12, Anexo 13 y Anexo 14), para conocer su coeficiente de determinación (R^2) que nos permitirá conocer el mejor modelo reológico. Los resultados obtenidos en la Tabla 19 muestran que el mejor modelo reológico para el CMC es Herschel-Bulkley, el cual también es el mejor modelo para los hidrocoloides obtenidos; esto nos indica que tienen un comportamiento similar. También podemos observar que el CMC se ajusta mucho mejor al modelo de Herschel – Bulkley con un R^2 de 0.9946, sin embargo los demás hidrocoloides evaluados también presentan un buen ajuste como el hidrocoloide obtenido por Aire Caliente de la especie *N. Commune* que obtuvo un R^2 de 0.9941.

Tabla 19: Valores del coeficiente de determinación del el ajuste a modelos reológicos del hidrocoloides y CMC al 0.15%

Modelos reológico	Hidrocoloide				Espesante
	<i>N. Sphaericum</i> Liofilización	<i>N. Commune</i> Liofilización	<i>N. Sphaericum</i> Aire Caliente	<i>N. Commune</i> Aire Caliente	CMC
Bingham	0.9903	0.9825	0.9812	0.9936	0.9916
Ostwald	0.9901	0.9818	0.9792	0.9920	0.9923
Herschel-Bulkley	0.9931	0.9845	0.9919	0.9941	0.9946

4.7.3. VISCOSIDAD APARENTE

Tabla 20: Valores de viscosidad Aparente (Pa*s) de las evaluaciones reológicas del Hidrocoloide obtenidos en dos métodos de secados de las especies *Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum* en comparación con el aditivo espesante CMC. Evaluados en Condiciones de Néctar al 0.15%

T (°C)	CMC	Liofilizado <i>N.Sphaericum</i>	Liofilizado <i>N.Commune</i>	A. Caliente <i>N.Sphaericum</i>	A. Caliente <i>N.Commune</i>
7	0.0131	0.0221	0.0140	0.0150	0.0081
20	0.0092	0.0180	0.0105	0.0094	0.0056
40	0.0053	0.0103	0.0065	0.0078	0.0032
60	0.0035	0.0069	0.0039	0.0054	0.0023
80	0.0023	0.0060	0.0028	0.0044	0.0014

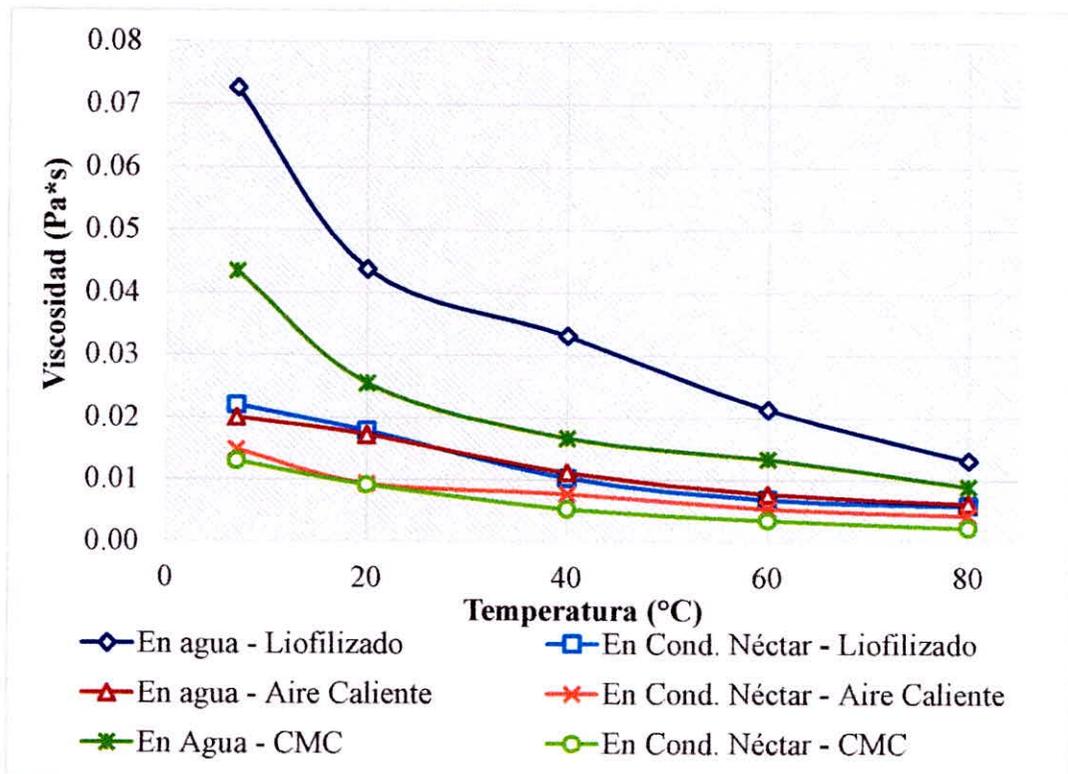
Realizando las comparaciones de la **Tabla 15**, en la que se presenta los valores de viscosidad de los hidrocoloides disueltos en agua, con la **Tabla 20**, donde muestra los valores de viscosidad de los hidrocoloides disueltos en condiciones de néctar, podemos observar que la viscosidad bajó considerablemente y se reporta en porcentajes en la **Tabla 21**. En esta se observa que la disminución de viscosidad varió no solo por la especie y método de secado sino también por la temperatura de evaluación con la cual la disminución de la viscosidad no guardo relación alguna con el aumento de esta.

En la **Gráfica 15** se observa que la viscosidad aparente tanto de los hidrocoloides de la especie *N.Sphaericum* como del espesante CMC; baja al pasar de ser diluidos en agua a un medio con 12°Brix y 4.5 pH, de los 3 tipos de espesantes evaluados en esta gráfica es el CMC quien pierde el mayor porcentaje de viscosidad en promedio 69.99% , seguido por el hidrocoloide obtenido por Liofilización con una pérdida del 64.08 % y para finalizar el

hidrocoloide obtenido por Aire Caliente que pierde menos viscosidad con un 32.35% del valor evaluado en agua.

Tabla 21: Disminución de viscosidad (Pa*s) del hidrocoloide y CMC a la concentración de 0.15% al cambiar el medio de disolución de agua a condiciones de néctar expresado en porcentajes (%) de pérdida.

T (°C)	Hidrocoloides				CMC
	<i>N.Sphaericum</i> Liofilización	<i>N.Commune</i> Liofilización	<i>N.Sphaericum</i> Aire Caliente	<i>N.Commune</i> Aire Caliente	
7	69.65	34.73	25.49	48.68	69.95
20	59.00	31.91	45.44	58.32	63.98
40	68.92	55.87	30.28	67.82	68.14
60	67.96	68.94	30.29	73.36	73.96
80	54.85	66.85	30.26	78.37	73.92
Promedio	64.08	51.66	32.35	65.31	69.99



Gráfica 15: Curvas de flujo de Viscosidad Aparente vs Temperatura al 0.15% del hidrocoloide (*N. Sphaericum* obtenido por Liofilización y aire Caliente) y CMC disueltos en Agua y a condiciones de Néctar

Por otro lado con la especie *N. Commune*, que a pesar de tener una baja viscosidad en la evaluación en agua, esta viscosidad baja aún más al ser evaluada en condiciones de néctar (12°Brix - 4.5 pH), el hidrocoloide obtenido por Aire Caliente de esta especie se reduce en un 65.31% de la viscosidad evaluado en agua, mientras que el hidrocoloide obtenido por Liofilización se redujo en un 51.66%.

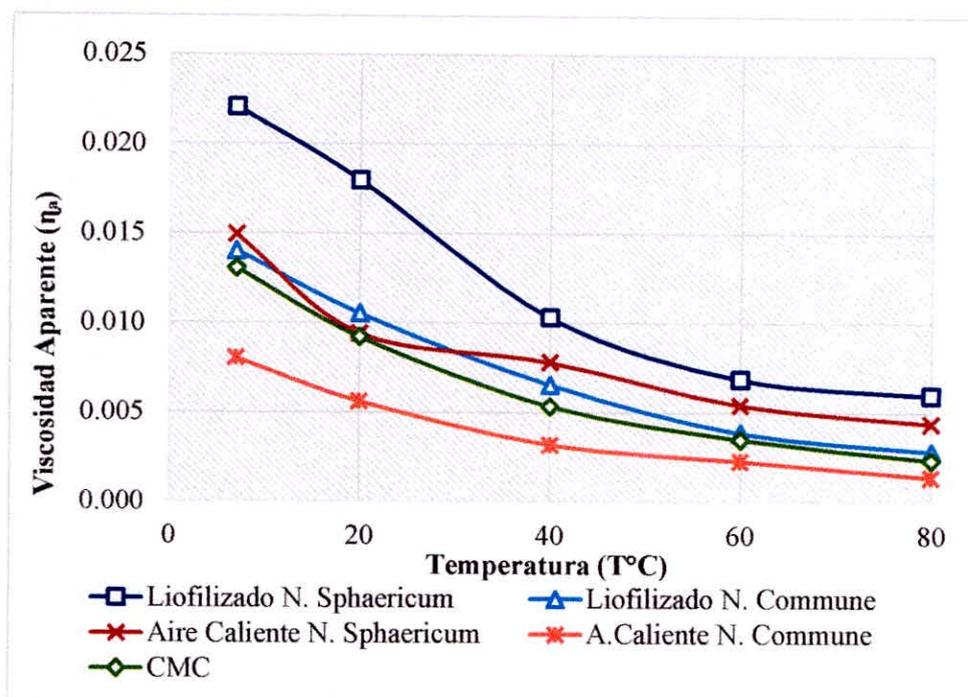
Esta disminución de la viscosidad fue causada por el cambio de pH del medio de disolución de 7 a 4.5 afectando así a los geles denominados “físicos” por tener asociaciones físicas entre moléculas, fibras o partículas, incluyendo enredos físicos entre cadenas de polímeros y débiles interacciones tales como enlaces de hidrógeno, fuerzas de van der Waals, etc. estos geles se caracterizan por ser reversibles ya que sus enlaces cruzados físicos pueden ser rotos en respuesta a los cambios de temperatura, pH y presión, entre otros. Mientras que los geles químicos son redes reticuladas por enlaces covalentes, son permanentes y por lo tanto no son reversibles (Rodríguez, et al. 2017).

En la investigación de “Geles elastoméricos reversibles inusuales de *Nostoc*” (Rodríguez, et al. 2017) determinó que en los polisacáridos del *Nostoc Commune* existen tanto físicos como químicos, sin embargo hay mayor cantidad de geles físicos, por lo que el cambio de pH del medio afectó severamente a la viscosidad, esto nos hace suponer que lo mismo ocurre con la especie *N.Sphaericum*.

A continuación se realizará la comparación de los valores de Viscosidad a condiciones de Néctar .Esta evaluación a comparación de las anteriores serán

de mayor relevancia debido a que a estas condiciones se elabora un néctar industrialmente.

En la **Gráfica 16** se observa el comportamiento de la viscosidad aparente tanto de los hidrocoloides obtenidos y del espesante CMC diluidos a



Gráfica 16: Curvas de flujo de Viscosidad Aparente vs Temperatura al 0.15% de los hidrocoloides (*N. Sphaericum* y *N. Commune*) obtenidos por Liofilización y Aire Caliente) y CMC a condiciones de Néctar

evaluación, siendo la curva de viscosidad de la Especie *N. Commune* obtenido por Liofilizado la que más se asemeja al comportamiento de viscosidad del espesante CMC, lo que nos permite afirmar que este hidrocoloide sería la mejor opción como sustituto en la industria de elaboración de Néctares, minimizando el uso de este producto químico.

Para corroborar lo observado en la **Gráfica 16** se realizó un análisis estadístico de los valores de viscosidad presentados en la **Tabla 20** , para

ello se hizo un análisis tomando valores de las columnas entre el espesante CMC con las muestras de hidrocoloide uno por uno.

Tabla 22: Valores P de la comparación de los valores de viscosidad del CMC con los hidrocoloides (*N. Commune* y *N. Sphaericum*)

Comparación (CMC vs Hidrocoloide)	Valores P
CMC vs <i>N. Sphaericum</i> Liofilizado	0.1482
CMC vs <i>N. Commune</i> Liofilizado	0.7260
CMC vs <i>N. Sphaericum</i> Aire Caliente	0.4121
CMC vs <i>N. Commune</i> Aire Caliente	0.3049

Los valores obtenidos de Probabilidad en cada caso nos dicen que el CMC puede ser reemplazado por cualquiera de los hidrocoloides por tener valores P mayores a 0.05 el cual los hace no significativos, es decir son iguales y reemplazables. Y se muestran en la **Tabla 22**.

Además como los valores de viscosidad de los 4 hidrocoloides obtenidos variaron ligeramente a comparación de la viscosidad obtenida con el espesante comercial CMC, calculamos las cantidades en porcentaje que deberían usarse de estos hidrocoloides en un néctar para llegar a la viscosidad obtenida del CMC que se utiliza comúnmente como espesante y/o estabilizante a la concentración de 0.15% y se muestran en la siguiente tabla

Tabla 23: Valores de la concentración necesaria de los hidrocoloideos estudiados para igualar la viscosidad del CMC al 0.15%

Hidrocoloide (Especie – Secado)	Concentración (%)
<i>N.Sphaericum</i> - Liofilizado	0.0758
<i>N.Sphaericum</i> - Aire Caliente	0.1114
<i>N.Commune</i> - Liofilizado	0.1308
<i>N.Commune</i> - Aire Caliente	0.2441

La **Tabla 23** nos muestra que si se usa el hidrocoloide proveniente de la especie *N.Sphaericum* obtenido por liofilización, se necesitaría tan solo el 0.0758% de dicho hidrocoloide para lograr la viscosidad que tiene el CMC al 0.15%, es decir se necesitaría prácticamente la mitad de la concentración; similar es el caso del hidrocoloide de la especie *N.Sphaericum* obtenido por Aire Caliente que se necesita tan solo un 0.1114%. Sin embargo con el Hidrocoloide de la especie *N.Commune* obtenido por liofilización se necesita 0.1308% una concentración muy similar a la del CMC para lograr una viscosidad parecida.

Caso contrario ocurre con el Hidrocoloide de la especie *N.Commune* secado por Aire Caliente que se requiere más concentración de este hidrocoloide para obtener la viscosidad deseada en un néctar.

4.7.4. EFECTO DE LA TEMPERATURA.

De las evaluaciones reológicas del hidrocoloide y CMC en condiciones de néctar se obtuvo valores de Viscosidad Aparente, estos valores se obtuvieron luego de someter a diferentes temperaturas de (7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C) a los hidrocoloides utilizados como espesantes y el CMC. En la **Gráfica 15** y **Gráfica 16** se observa el comportamiento de cada uno de estas muestras, donde todos sin excepción presentan un comportamiento descendente conforme se aumenta la temperatura.

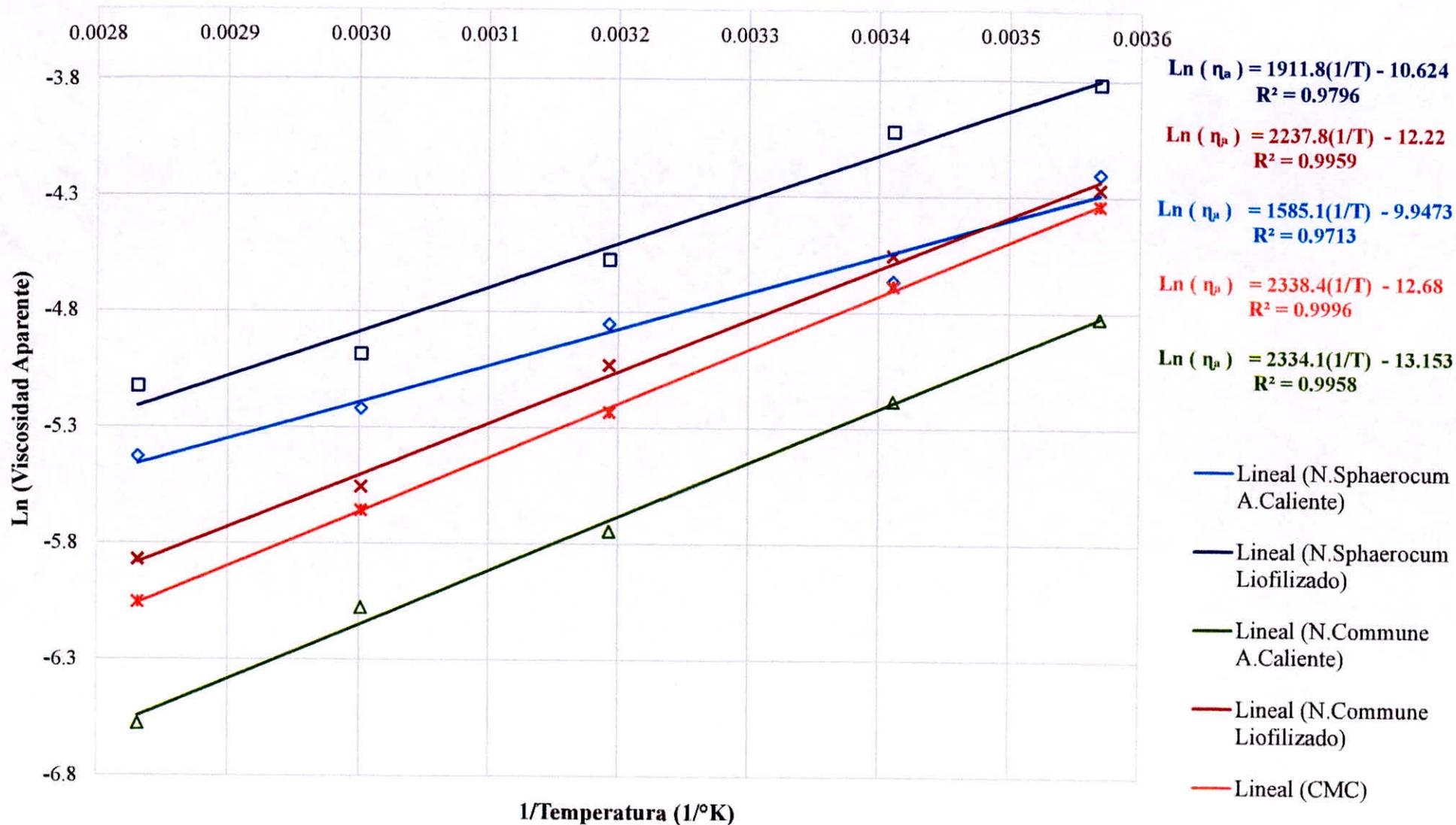
Según (Roldan W., 2015) nos dice que, la respuesta de la Viscosidad Aparente en función de la temperatura del hidrocoloide es relevante en la industria Alimentaria, ya que la mayoría de los procesos experimentan una gama de temperaturas y la respuesta puede variar con los tipos de hidrocoloide. Un claro ejemplo de esto, es la goma Xantano, quien 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 la temperaturas (Wu et al. 2014, Farhoosh y Riazi, 2007 y Yang y Zhu, 2007), y esto es justamente lo que pasa con nuestras muestras de hidrocoloides utilizados como espesantes.

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

Asimismo en la **Tabla 24** se presentan los parámetros del efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente, obtenidos de la **Gráfica 17** En él la Energía de Activación (Ea) del CMC y el Hidrocoloide *N. Commune* – Aire Caliente presentan una clara cercanía lo que hace suponer que tienen una sensibilidad a la temperatura muy similar, algo no tan distante además con el de especie *N. Commune* obtenido por liofilizado con un valor de 18.6060 KJ/mol.

Tabla 24: *Parámetros del efecto de la temperatura sobre la Viscosidad Aparente de la ecuación de Arrhenius al 0.15% de los hidrocoloides de las especies N. Commune y N. Sphaericum obtenidos por Liofilización y Aire Caliente.*

Espesante	B (°K)	A (Pa*s)	Ea (KJ/mol)	R
<i>N.Sphaericum</i> -A.Caliente	1585	0.000048	13.1796	0.9713
<i>N.Sphaericum</i> -Liofilizado	1912	0.000024	15.8957	0.9796
<i>N.Commune</i> -A.Caliente	2334	0.000002	19.4068	0.9958
<i>N.Commune</i> -Liofilizado	2238	0.000005	18.6060	0.9959
CMC	2338	0.000003	19.4422	0.9996



Gráfica 17: Ln de la Viscosidad Aparente frente a la inversa de la temperatura, de los hidrocoloides obtenidos por Liofilización y Aire Caliente de las especies *Nostoc Commune* y *Nostoc Sphaericum* en comparación del CMC, evaluados a 0.15% en condiciones de Néctar (12°Brix - 4.5pH).

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que no hay influencia de los métodos de secado ni especie en el modelo reológico que mejor describe el comportamiento al flujo de los hidrocoloides evaluados al 0.15% y 0.25% y sometido a temperaturas de 7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C, los cuales tuvieron comportamiento no newtoniano y se ajustaron mejor al modelo de Herschel-Bulkley con un valor R^2 de 0.9977.
- Los métodos de secado (Liofilizado y Aire Caliente), la especie (*N. Commune* y *N. Sphaericum*) y la interacción de ambos influyeron significativamente en los valores de viscosidad aparente ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) de las muestras de hidrocoloide evaluadas; siendo el hidrocoloide de la especie *N. Sphaericum* obtenido por liofilización la muestra que tuvo mayor valor de viscosidad, 3.2 veces y 4.8 veces más, evaluadas al 0.15% y 0.25% respectivamente; a comparación del hidrocoloide menos viscoso que fue el proveniente de la especie *N. Commune* secado por Aire Caliente
- El efecto de la temperatura sobre la viscosidad Aparente (η_a) del hidrocoloide proveniente de la especie *N. Sphaericum* obtenido por liofilización fueron descritos por el modelo de Arrhenius, donde tuvo influencia el Ritmo Cortante (1s^{-1} - 300s^{-1}), en el parámetro de la energía de activación. Asimismo el efecto de la concentración son descritos por el modelo potencial con un valor R^2 de 0.9748 determinando así la influencia del Ritmo Cortante en los parámetros " η_0 " y "a" del modelo potencial.

- De las evaluaciones a condiciones de Néctar de las muestras de hidrocoloides y CMC como espesante evaluados a un ritmo cortante de 1 a 300 1/s se obtuvieron valores de esfuerzo cortante y viscosidad aparente con un comportamiento no newtoniano y se ajustaron mejor al modelo de Herschel-Bulkley lo que indica que tanto los hidrocoloides como el CMC tuvieron el mismo comportamiento.
- Se realizó la comparación entre las muestras de hidrocoloide sometidos a métodos de secado (Liofilización y Aire Caliente) con el CMC como espesante a partir de los valores obtenidos de Viscosidad Aparente, determinando la similitud en su comportamiento al hidrocoloide obtenido por Liofilizado de la especie *N. Commune*, el cual podría ser la mejor opción como sustituto en la industria de elaboración de Néctares, No obstante las otras muestras también podrían serlo pero a menor proporción
- El efecto de la temperatura sobre las muestras de hidrocoloide y CMC sometidas a temperaturas de (7°C, 20°C, 40°C, 60°C y 80°C) tuvieron una respuesta considerable en la viscosidad aparente, ello fue comprobado a través del análisis de la Energía de Activación (E_a) del CMC y el Hidrocoloide *N. Commune* obtenido por Aire Caliente, quienes presentan una clara cercanía lo que comprueba la similar sensibilidad que tienen ambas muestras.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio que permita eliminar completamente los pigmentos del alga en estado fresco para poder obtener así un hidrocoloide con mejores características visuales para su posible uso comercial a futuro.
- Realizar evaluaciones Reológicas con muestras de mayor concentración que las usadas en este trabajo de investigación (Mayores a 0.25%) y de esta manera obtener datos más estables al ser sometidos a la variación de temperatura.
- Así como existe una gran gama de estudios referidos a las evaluaciones de Algas Marinas en diferentes ámbitos, se recomienda estudiar Algas altoandinas, crecidas en agua dulce, diferentes a las especies trabajadas en esta investigación.

VII. BIBLIOGRAFIA

- A.Ibarz, J.E. Lozano, Caracterización reológica de pulpas concentradas de ciruela y melocotón. Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment. 32(1), 85-94 (1992).
- A.Ibarz, V. Babosa – Canovas. 2005. Tecnología de alimentos. Operaciones Unitarias en la ingeniería de alimentos, Madrid. España Art.; Pags. 129 – 177.
- 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.
- 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.
- ALDAVE, P. Algas andino peruanas como recurso hidrobiológico alimentario. Boletín de Lima, 1985 Vol. 37: 66 – 72.
- Angioloni A. 2013. Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. Tecnifood. La revista de la tecnología alimentaria Valencia, España.
- B. Jurado T., C.M. Fuertes R., G.E. Tomas Ch., E. Ramos LL., J.L. Arroyo A., J.R. Cáceres P., M.A. Inocente C., B. Alvarado Ch., B.M. Rivera C., M. A. Ramírez O., H.Ostos F., L. Cárdenas M.(2014). *Estudio fisicoquímico, microbiológico y toxicológico de los polisacáridos del nostoc commune y nostoc Sphaericum*, Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 17

- Badui, S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta Edición. Editorial Pearson Education. México.
- Barbosa-Cánovas, G. V.; & Vega-Mercado, H. (2000). Deshidratación de alimentos. Edit: Acribia, S.A., Zaragoza-España.
- Barbosa-Cánovas, GV; Vega-Mercado, H. (2000). *Deshidratación de alimentos: liofilización*. Trad. AI Ribas. Zaragoza, A Acribia, S.A. p. 203-232.
- 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.
- 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
- Caldiño-Villagómez, I.A., Bonola-Alonso, I., Salgado-Maldonado, G. (2002). Determinación en laboratorio de los parámetros reológicos de mezclas agua-sedimentos para el cálculo de flujos de lodos y debris, *Ingeniería Hidráulica en México*, 17(3), 27-35.
- Calle Benites & Aparicio Baidal. (2011). *Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas*. Guayaquil, Ecuador
- Cameron RE. 1962. Species of Nostoc Vaucher occurring in the Sonaran desert in Arizona. Transactions of the American Microscopical Society 81: 379–384. Davey MC. 1989. The effect of freezing and desiccation on photosynthesis and survival of terrestrial Antarctic algae and cyanobacteria. Polar Biology 10: 29–36

- Campos D. Caracterización fisicoquímica del espejo de agua de la laguna Cushuro de la Provincia de Sánchez Carrión donde se desarrolla el *Nostoc commune*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo; 2010.
- Chhabra, R.P., Richardson, J.F., 1999, "Non-Newtonian Flow: Fundamentals and Engineering Applications" Capítulo 1, pp. 1 – 17. Editorial: Butterworth-Heinemann
- Chilingarian, G.V. & Vorabutr, P. (1983). Drilling and Drilling Fluids: Amsterdam, Elsevier, *Developments in Petroleum Science*, 770 pp.
- Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. Tesis Doctoral. Valencia, España. *Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos*. 233 p.
- D. Manayay, Williams Castillo Martinez, Soledad Quezada Berru, Lenin Palacios Ambrocio, Santos López Rivera. (2013). Agroindustrial Science. Caracterización del comportamiento al flujo de pulpa simple y concentrada de manzana (*Phyrus malus L.*) variedad San Antonio
- David J. Geveke, Ajaypal Singh, Madhav P. Yadav. 2017 Improvement of rheological, thermal and functional properties of tapioca starch by using gum arabic. *Food Safety and Intervention Technologies Research Unit*. 10.1016/j.lwt.2016.07.059
- Derosier, N. (1980). Conservación de Alimentos. Ed. Cecsa, Décima impresión, New York.
- Dodds WK, Gudder DA, Mollenhauer D. 1995. The ecology of Nostoc. *Journal of Phycology* 31: 2–18.

- Ercelebi, E; Ibanoglu, E. 2007. Influence of hydrocolloids on phase separation and emulsion properties of whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*. 80. 454-459.
- Ernesto Ponce. (2014), Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica, Scielo.
- 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.
- Federación nacional de cafeteros de Colombia. (2004) Liofilización (en línea). Consultado 16 Nov. del 2006. Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/quienessomos/fabrica/fabquees.html>
- Fennema, O. 2000. *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia. Segunda Edición. Zaragoza. España.
- Fito P., Andrés A., Barat J., Albors A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia, editorial U.P.V. 210 p.
- FLESIA, Miguel Ángel. Universidad Técnica Nacional. Facultad Regional Santa Fé. Ingeniería Industrial. Procesos Industriales – La conservación de sustancias perecederas por medio de la liofilización.
- 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

- Gantar, M. 2008. Microalgae and Cyanobacteria: Food for Thought. *Phycol*, 44: 260-268. Phycological Society of America.
- Geankoplis. (2000). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos
- Gómez, Jorge Andaverde, Edgar Santoyo y Gustavo Urquiza. 2009. Determinación de la viscosidad y su incertidumbre en fluidos de perforación usados en la construcción de pozos geotérmicos: aplicación en el campo de Los Humeros, Puebla, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*
- GONZALES, L. Determinación de ácidos grasos en una nueva especie de alga del género *Nostoc*. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México*, 1976
- Gratao, AC. Silveira, V. 2005. Rheology of soursop juice and friction factors in Circular pipe flow. Depto. Eng. Alimentos, Faculdade Eng. Alimentos, UNICAMP – CP. 6121, 13083 – 862 Campinas, SP – Brazil.
- 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.
- Ibarz, A.; Barbosa-Canovas, G. y Garza, S. 2000. Métodos experimentales en la ingeniería de alimentos. Zaragoza, ES. Edit. Acribia, S.A. 292 pp.
- Jenifer Santosa, Luis Alfonso Trujilloa, Nuria Caleroa, María Carmen Alfaroa, José Muñoz (2012). *Departamento de Ingeniería Química. Facultad de*

- Química. Universidad de Sevilla c/ P. García González. Caracterización reológica de una suspoemulsión comercial para uso agroquímico.*
- Jiménez, L.; Ferrer, J. L. y Garcia, I. 1987. Modelos reológicos para líquidos alimentarios. Alimentación, equipos y tecnología. Enero – Febrero, 295 – 299.
- Johansen, J.R.; Casamatta, D.A.; Xuesong, L.; Vincent, J; Reháková, K.; (2007). Morphological and molecular characterization of selected desert soil cyanobacteria: three species new to science including Mojaviapulchragen. *Phycologia*, 46, 481-502.
- 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
- KIRK R. S., Sawyer R; Egan, H. Composición y análisis de alimentos de Pearson, segunda edición; Compañía editorial continental SA de CV, México, 1996.
- Kok, M.V., Alikaya, T. (2004). Determination of rheological models for drilling fluids (a statistical approach). *Energy Sources*, 26, 153-165.
- Kudra, T., & Mujumdar, A.S. (2009). *Advanced Drying Technologies*. 2ª ed. Boca Ratón. CRC Press. 455 p.
- Kunshan, G. 1998. Chinese studies on the edible bluegreen alga, *Nostoc flagelliforme*: a review, *Journal of Applied Phycology*, 10: 37-49.
- Lauzon, R.V. & Reid, K.I. (1979). New rheological model offers field alternative. *Oil & Gas Journal*, 51-57.

- 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.
- 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.
- Mizrahi, S. y Berk, Z. 1972. Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. J. Texture Stud. 3, 69 – 79.
- Møller C, VangsøeMT, Sand-Jensen K. 2014. Comparative growth and metabolism of gelatinous colonies of three cyanobacteria, *Nostoc commune*, *N. pruniforme* and *N. zetterstedtii* across temperatures. Freshwater Biology, in press.
- Moreno Erazo Eider- Camilo Murillo Juan. (2010) Liofilización de microalgas por Congelamiento lento y Criogénico.

- 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 Técnica de Ambato. Ecuador.
- 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.
- Mujumdar, A. (2006). *Principles Classification and Selection of Dryers*. Handbook of Industrial Drying. 4 -31 p.1719-1725
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). 2014. NCBI Taxonomy. Accessed via <http://www.gbif.org/species/105948654> on 2014-01-31
- NIELSEN S. (ed); Food Analysis Laboratory Manual; Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, 2003.
- Novis PM, Whitebread D, Gregorich, et al. 2007. Annual carbon fixation in terrestrial populations of *Nostoc commune* (Cyanobacteria) from an Antarctic dry valley is driven by temperature regime. *Global Change Biology* 13: 1224–1237.
- NÚÑEZ, J. & MENDOZA, A. Fatty acid composition and nutritional effect in rats of cushuro (*Nostoc Sphaericum vaucher*). *Pharmacology on line*, 2006 Vol. N° 3: 676 – 682
- Oliveira, J. (1999). *Processing Foods: Quality Optimization and Process Assessment*, Ed. CRC Press Boca Raton.

Pagan Jordi ,1999 Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. ISBN: 89-89727-64-3 Depósito legal, S 54-98. Server de publicacione Universidad de Lleida. 21-23.

Pardo Carmelo, 2016. Biodiversidad Virtuales un proyecto de la asociación Fotográfica y Biodiversidad. Biodivesidadvirtual.org

Recuperado: <https://www.biodiversidadvirtual.org/peces/Nostoc-commune-img7553.html>

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. Reologia de productos alimenticios. Memoria para optar grado de Doctora. Universidad de Santiago de Compostela. Galicia. España

Ramirez J. 2006. Introducción a la Reologia de los Alimentos. Universidad del Valle Cali. Colombia.

RAMIREZ NAVAS, Juan Sebastián. 2006. Liofilización, Estado del Arte. Universidad del Valle Programa Doctoral en Ingeniería. Ingeniería de Alimentos. Cali – Colombia. [Www.ingenieriaquimica.net](http://www.ingenieriaquimica.net)

Rao, M. A; Cooley, H. J.y Vitail, A. A. 1984. Flow properties of concentratedjuices at low temperaturas. Foord Technol. 38, 113 -119.

Recuperado:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000200018

- Rodríguez, Karen N. Gonzales, Eduardo G. Romero, Omar P. Troncoso, Fernando G. Torres. 2017. International Journal of Biological Macromolecules. Geles elastoméricos reversibles inusuales de Nostoc ComunE. Departamento de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Roldan. Williams. 2015. Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del Nostoc (*Nostoc Sphaericum* V). Tesis para optar el grado de Magister scientiae en tecnología de alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Salvador Garza Garza. Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón, 19p, 1998.
- Sand-Jensen K, Jespersen TS. 2012. Tolerance of the widespread cyanobacterium *Nostoc commune* to extreme temperature variations (-269 to 1058C), pH and salt stress. *Oecologia* 169: 331–339.
- Satoh K, Hirai M, Nishio J, et al. 2002. Recovery of photosynthetic systems during rewetting is quite rapid in a terrestrial cyanobacterium. *Plant and Cell Physiology* 43: 170–176
- SCENI, P. 2007. Transiciones de Fase. Universidad Nacional de Quilmes. Area de Química de los Alimentos. *geankoplis c. procesos de transporte y operaciones unitarias. 2ª edición, editora continental, méxico d.f., méxico (1995)*
- 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.

Sworn, G.; Kasapis, S., The use of Arrhenius and WLF kinetics to rationalise the
mechanical spectrum in high sugar gellan systems, *Carbohydrate
Research*, 309, 353-361 (1998).

Tamaru Y, Takani Y, Yoshida T, Sakamoto T. 2005. Crucial role of extracellular
polysaccharides in desiccation and freezing tolerance in the terrestrial
cyanobacterium *Nostoc commune*. *Applied and Environmental
Microbiology* 71

Technology, B.2012 *Introduction to Freeze drying*. 2nd edn. United kingdom
BTL intelliggent freze drying

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.

Weir, I.S., Bailey, W.J., (1996). A statistical study of rheological models for
drilling fluids: Society of Petroleum Engineers, *SPE Journal*, 1(4),473-
486.: 7327–7333

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, T.J. Herald , F.M. Aramouni, S. Alavi. (2005). *Propiedades reológicas de soluciones de goma seleccionadas*, Food Science Institute, Kansas State University, KS 66506, USA

Y. Quan et al, optimización para la extracción de polisacáridos a partir de Nostoc Comune y sus actividades antioxidantes y antibacterianas, Revista del Instituto de Ingenieros Químicos de Taiwán (2015)

Zeki, B. 2013. Food Process Engineering and Technology, Second Edition Academic Press.US. p.77 – 125

VIII. ANEXOS

Ritmo Cortante 1/s	0.15%										0.25%									
	7°C		20°C		40°C		60°C		80°C		7°C		20°C		40°C		60°C		80°C	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	1.52	2.49	0.95	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.19	3.24	2.77	2.76	1.81	1.64	0.00	1.17	1.02	0.00
35	3.08	4.23	1.76	1.77	1.78	1.30	1.16	0.00	0.00	0.70	5.60	5.52	4.71	4.77	3.20	2.85	1.16	1.73	1.74	0.00
53	4.46	5.47	2.53	2.54	2.24	1.86	1.43	0.96	0.00	0.82	7.54	7.51	6.54	6.49	4.26	3.91	2.12	2.24	2.40	1.31
70	5.73	7.28	3.27	3.29	2.85	2.27	1.79	1.23	0.65	0.96	9.45	9.43	8.00	7.85	5.49	4.83	3.01	2.93	3.02	1.72
87	6.93	7.93	3.99	4.03	3.35	2.76	2.13	1.53	0.92	1.12	11.33	11.37	9.36	9.13	6.55	5.78	3.86	3.59	3.61	2.14
104	8.06	9.09	4.69	4.75	3.95	3.36	2.66	1.78	1.12	1.30	13.10	13.20	10.85	10.55	7.59	6.69	4.67	4.02	4.18	2.55
121	9.15	10.19	5.38	5.47	4.50	3.62	3.01	2.09	1.41	1.49	14.79	14.86	12.21	11.72	8.63	7.75	5.46	4.79	4.73	2.97
139	10.21	11.26	6.06	6.18	5.06	4.05	3.41	2.38	1.67	1.70	16.43	16.35	13.62	12.93	9.70	8.63	6.23	5.51	5.27	3.38
156	11.23	12.30	6.73	6.88	5.60	4.59	3.71	2.78	1.96	1.93	17.66	17.71	14.92	14.15	10.76	9.51	6.98	6.01	5.79	3.79
173	12.23	13.31	7.39	7.58	6.23	5.08	4.05	3.12	2.25	2.17	19.12	19.18	16.09	15.49	11.78	10.37	7.71	6.67	6.30	4.20
190	13.20	14.29	8.04	8.27	6.66	5.58	4.52	3.47	2.45	2.43	20.58	20.69	17.31	16.75	12.74	11.21	8.43	7.36	6.81	4.61
207	14.15	15.25	8.69	8.96	7.09	5.93	4.94	3.83	2.75	2.69	22.01	22.13	18.61	17.85	13.69	12.00	9.13	7.94	7.30	5.01
225	15.08	16.20	9.33	9.64	7.59	6.30	5.23	4.17	2.85	2.97	23.39	23.50	19.71	19.04	14.57	12.80	9.82	8.39	7.79	5.42
242	15.99	17.12	9.97	10.32	8.19	6.75	5.59	4.36	3.05	3.27	24.73	24.90	21.04	20.13	15.60	13.52	10.51	8.98	8.27	5.83
259	16.89	18.03	10.60	11.00	8.52	7.27	5.92	4.71	3.40	3.57	26.14	26.23	22.10	21.34	16.42	14.28	11.18	9.62	8.74	6.24
276	17.77	18.93	11.23	11.67	9.14	7.64	6.28	4.96	3.79	3.88	27.51	27.56	23.32	22.47	17.35	14.92	11.84	10.09	9.21	6.64
294	18.64	19.81	11.85	12.34	9.66	8.06	6.66	5.31	4.17	4.21	28.81	28.99	24.37	23.55	18.15	15.64	12.50	10.61	9.67	7.05
311	19.49	20.67	12.47	13.01	10.13	8.48	7.01	5.72	4.62	4.55	30.12	30.28	25.48	24.62	19.07	16.30	13.15	11.17	10.13	7.45
328	20.34	21.53	13.08	13.67	10.58	8.96	7.41	6.27	5.12	4.90	31.41	31.62	26.53	25.74	19.96	17.00	13.79	11.75	10.58	7.86

Anexo I: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie N.Sphaericum obtenido por liofilización evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C

Ritmo Cortante 1/s	0.15%										0.25%									
	7°C		20°C		40°C		60°C		80°C		7°C		20°C		40°C		60°C		80°C	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
100	1.91	1.67	1.68	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.17	1.82	2.66	2.56	1.15	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
113	2.21	1.98	1.92	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.75	2.36	3.08	2.97	1.32	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00
126	2.51	2.30	2.16	1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.32	2.90	3.51	3.39	1.51	1.59	0.00	0.00	0.00	0.82
139	2.81	2.61	2.41	2.06	0.85	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	5.89	3.44	3.93	3.81	1.72	1.70	0.00	0.00	0.00	0.90
153	3.11	2.93	2.68	2.31	1.08	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	6.45	3.98	4.35	4.22	1.95	1.84	0.00	0.00	0.00	0.98
166	3.41	3.25	2.96	2.56	1.32	1.27	0.00	0.00	0.00	0.00	7.01	4.52	4.77	4.64	2.19	2.00	0.67	0.00	0.88	1.07
179	3.71	3.57	3.24	2.81	1.57	1.54	0.61	0.00	0.00	0.00	7.56	5.05	5.19	5.05	2.45	2.19	0.88	0.87	1.06	1.18
192	4.01	3.89	3.54	3.08	1.84	1.81	0.75	0.71	0.00	0.00	8.11	5.58	5.61	5.47	2.73	2.41	1.10	1.11	1.25	1.29
205	4.31	4.21	3.85	3.35	2.10	2.08	0.89	0.86	0.75	0.66	8.65	6.12	6.03	5.89	3.02	2.67	1.32	1.36	1.44	1.40
218	4.61	4.53	4.16	3.62	2.38	2.36	1.04	1.02	0.91	0.80	9.20	6.65	6.46	6.30	3.32	2.95	1.56	1.60	1.63	1.53
232	4.92	4.85	4.48	3.90	2.67	2.65	1.20	1.18	1.08	0.94	9.73	7.18	6.88	6.72	3.65	3.27	1.79	1.85	1.82	1.67
245	5.22	5.17	4.81	4.19	2.97	2.94	1.38	1.36	1.25	1.10	10.27	7.71	7.30	7.14	3.98	3.63	2.04	2.09	2.01	1.82
258	5.52	5.49	5.15	4.48	3.27	3.24	1.56	1.54	1.43	1.26	10.80	8.24	7.71	7.56	4.34	4.03	2.29	2.34	2.20	1.98
271	5.83	5.82	5.49	4.78	3.58	3.54	1.75	1.73	1.61	1.43	11.33	8.77	8.13	7.97	4.70	4.47	2.54	2.59	2.39	2.14
284	6.13	6.14	5.85	5.08	3.90	3.85	1.95	1.93	1.78	1.61	11.86	9.29	8.55	8.39	5.09	4.95	2.80	2.83	2.58	2.32
297	6.43	6.46	6.21	5.39	4.22	4.16	2.16	2.14	1.97	1.79	12.39	9.82	8.97	8.81	5.48	5.48	3.07	3.08	2.77	2.51
311	6.74	6.79	6.58	5.70	4.56	4.48	2.38	2.35	2.15	1.98	12.91	10.35	9.39	9.23	5.89	6.05	3.34	3.33	2.96	2.70
324	7.04	7.11	6.95	6.02	4.90	4.81	2.61	2.57	2.34	2.18	13.43	10.87	9.81	9.65	6.32	6.68	3.62	3.57	3.15	2.91
337	7.35	7.44	7.33	6.34	5.25	5.13	2.84	2.80	2.53	2.39	13.95	11.40	10.23	10.06	6.76	7.36	3.90	3.82	3.35	3.13
350	7.65	7.76	7.72	6.66	5.60	5.46	3.09	3.04	2.72	2.60	14.47	11.92	10.65	10.48	7.22	8.09	4.19	4.07	3.54	3.36

Anexo 2: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie N.Sphaericum obtenido por Aire Caliente evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C

Ritmo Cortante 1/s	0.15%										0.25%									
	7°C		20°C		40°C		60°C		80°C		7°C		20°C		40°C		60°C		80°C	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
80	1.46	1.47	1.15	1.01	0.00	1.45	0.70	0.00	0.00	0.73	4.03	3.93	2.82	2.66	1.72	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00
94	1.80	1.81	1.28	1.17	0.00	1.70	0.85	0.71	0.00	0.77	4.68	4.62	3.32	3.17	2.03	1.92	0.81	0.00	0.00	0.00
108	2.15	2.15	1.44	1.34	0.00	1.96	1.02	0.93	0.00	0.82	5.34	5.31	3.81	3.67	2.34	2.24	1.00	0.94	0.00	0.00
123	2.49	2.50	1.62	1.54	0.00	2.22	1.20	1.16	0.00	0.88	6.00	5.98	4.30	4.16	2.65	2.57	1.21	1.19	0.00	0.00
137	2.84	2.85	1.82	1.76	0.84	2.48	1.39	1.39	0.77	0.94	6.65	6.65	4.78	4.65	2.98	2.91	1.43	1.45	0.00	0.00
151	3.19	3.21	2.05	2.00	1.07	2.75	1.60	1.63	0.88	1.02	7.30	7.32	5.26	5.14	3.31	3.24	1.66	1.72	0.83	0.00
165	3.54	3.56	2.30	2.26	1.32	3.02	1.82	1.87	1.02	1.11	7.95	7.98	5.74	5.63	3.65	3.58	1.91	1.99	0.95	0.90
179	3.89	3.92	2.57	2.54	1.58	3.30	2.05	2.12	1.17	1.21	8.60	8.64	6.22	6.11	3.99	3.92	2.16	2.27	1.08	1.06
194	4.24	4.28	2.87	2.84	1.86	3.57	2.29	2.37	1.34	1.32	9.25	9.30	6.69	6.59	4.34	4.27	2.43	2.55	1.23	1.24
208	4.59	4.65	3.18	3.16	2.15	3.85	2.54	2.63	1.53	1.44	9.89	9.95	7.17	7.06	4.69	4.61	2.70	2.84	1.40	1.44
222	4.95	5.01	3.52	3.50	2.47	4.13	2.81	2.89	1.74	1.58	10.54	10.59	7.64	7.54	5.05	4.96	2.99	3.13	1.59	1.66
236	5.31	5.38	3.89	3.86	2.79	4.41	3.08	3.16	1.98	1.72	11.18	11.24	8.10	8.01	5.41	5.31	3.28	3.42	1.80	1.89
251	5.66	5.75	4.27	4.24	3.13	4.70	3.36	3.43	2.24	1.88	11.83	11.88	8.57	8.48	5.78	5.66	3.59	3.73	2.03	2.15
265	6.02	6.12	4.68	4.64	3.49	4.98	3.66	3.71	2.52	2.06	12.47	12.52	9.04	8.95	6.15	6.02	3.90	4.03	2.28	2.43
279	6.38	6.49	5.12	5.06	3.86	5.27	3.96	3.98	2.83	2.24	13.11	13.16	9.50	9.41	6.52	6.37	4.22	4.34	2.55	2.72
293	6.74	6.86	5.57	5.50	4.24	5.56	4.28	4.26	3.16	2.44	13.75	13.79	9.96	9.88	6.90	6.73	4.55	4.65	2.84	3.04
307	7.10	7.24	6.05	5.95	4.64	5.85	4.60	4.55	3.52	2.65	14.39	14.42	10.42	10.34	7.28	7.09	4.89	4.97	3.15	3.38
322	7.46	7.61	6.55	6.43	5.06	6.15	4.93	4.84	3.90	2.88	15.03	15.05	10.88	10.80	7.66	7.45	5.24	5.29	3.49	3.75
336	7.82	7.99	7.08	6.92	5.48	6.44	5.27	5.13	4.32	3.12	15.67	15.68	11.34	11.26	8.05	7.81	5.60	5.61	3.86	4.13
350	8.19	8.37	7.63	7.43	5.93	6.74	5.62	5.42	4.76	3.37	16.31	16.31	11.79	11.72	8.44	8.17	5.96	5.94	4.24	4.54

Anexo 3: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie N. Commune obtenido por Liofilización evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C

Ritmo Cortante 1/s	0.15%										0.25%									
	7°C		20°C		40°C		60°C		80°C		7°C		20°C		40°C		60°C		80°C	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
150	2.11	2.29	1.70	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.08	4.22	2.90	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
161	2.34	2.50	1.85	1.77	1.04	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	4.59	3.17	2.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
171	2.57	2.72	2.01	1.93	1.19	1.17	0.96	0.84	0.00	0.00	4.80	4.96	3.45	2.99	0.82	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00
182	2.81	2.95	2.18	2.11	1.36	1.34	1.08	1.01	0.00	0.00	5.15	5.33	3.74	3.25	1.14	1.17	0.96	1.10	0.85	0.91
192	3.05	3.18	2.38	2.31	1.53	1.52	1.21	1.17	0.00	0.00	5.51	5.70	4.04	3.54	1.44	1.48	1.17	1.28	0.95	1.01
203	3.30	3.43	2.58	2.52	1.72	1.70	1.35	1.34	0.88	0.00	5.87	6.07	4.34	3.83	1.75	1.78	1.39	1.46	1.06	1.11
213	3.55	3.68	2.81	2.75	1.91	1.89	1.49	1.50	1.01	0.98	6.23	6.44	4.65	4.14	2.05	2.07	1.61	1.65	1.18	1.22
224	3.81	3.95	3.05	3.00	2.12	2.09	1.63	1.66	1.15	1.07	6.60	6.81	4.97	4.46	2.34	2.36	1.83	1.84	1.31	1.33
234	4.08	4.22	3.30	3.26	2.34	2.29	1.78	1.82	1.28	1.16	6.96	7.18	5.30	4.80	2.63	2.65	2.06	2.04	1.44	1.45
245	4.34	4.50	3.58	3.55	2.57	2.50	1.93	1.97	1.41	1.25	7.33	7.54	5.63	5.16	2.92	2.93	2.29	2.24	1.57	1.58
255	4.62	4.78	3.87	3.86	2.81	2.71	2.09	2.13	1.54	1.36	7.69	7.91	5.97	5.52	3.20	3.20	2.51	2.45	1.72	1.72
266	4.89	5.08	4.18	4.19	3.06	2.92	2.25	2.28	1.68	1.47	8.06	8.28	6.31	5.90	3.48	3.47	2.75	2.66	1.87	1.86
276	5.17	5.38	4.51	4.54	3.33	3.14	2.42	2.44	1.81	1.59	8.43	8.6: 4	6.66	6.30	3.76	3.74	2.98	2.87	2.02	2.02
287	5.46	5.69	4.86	4.91	3.60	3.37	2.59	2.59	1.94	1.72	8.79	9.01	7.02	6.71	4.03	4.01	3.21	3.09	2.19	2.17
297	5.75	6.01	5.22	5.31	3.89	3.60	2.76	2.74	2.06	1.85	9.16	9.37	7.38	7.13	4.30	4.27	3.45	3.31	2.35	2.34
308	6.04	6.33	5.61	5.72	4.19	3.83	2.94	2.89	2.19	2.00	9.54	9.74	7.75	7.57	4.57	4.53	3.68	3.53	2.53	2.52
318	6.34	6.66	6.01	6.16	4.49	4.07	3.12	3.04	2.32	2.15	9.91	10.10	8.12	8.02	4.83	4.78	3.92	3.76	2.71	2.70
329	6.64	7.00	6.44	6.63	4.81	4.31	3.31	3.19	2.45	2.31	10.28	10.46	8.50	8.48	5.10	5.03	4.16	3.99	2.90	2.89
339	6.94	7.35	6.89	7.12	5.15	4.56	3.50	3.34	2.58	2.48	10.65	10.83	8.89	8.96	5.36	5.28	4.40	4.22	3.09	3.08
350	7.25	7.70	7.35	7.63	5.49	4.81	3.70	3.48	2.70	2.66	11.03	11.19	9.28	9.45	5.62	5.53	4.65	4.46	3.29	3.29

Anexo 4: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie N. Commune obtenido por Aire Caliente evaluado al 0.15% y 0.25% en agua a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C

Ritmo Cortante 1/s	Liofilizado										Aire Caliente									
	7°C		20°C		40°C		60°C		80°C		7°C		20°C		40°C		60°C		80°C	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
100	2.00	1.94	1.49	1.65	1.95	0.00	0.45	0.33	0.25	0.00	1.91	1.67	1.68	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	2.30	2.26	1.73	1.95	2.15	0.24	0.50	0.38	0.29	0.00	2.21	1.98	1.92	1.60	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
126	2.61	2.59	1.98	2.24	2.35	0.42	0.56	0.45	0.35	0.00	2.51	2.30	2.16	1.83	0.63	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
139	2.92	2.92	2.23	2.53	2.57	0.62	0.63	0.52	0.41	0.00	2.81	2.61	2.41	2.06	0.85	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00
153	3.25	3.27	2.49	2.82	2.79	0.83	0.71	0.60	0.48	0.00	3.11	2.93	2.68	2.31	1.08	1.02	0.38	0.30	0.00	0.00
166	3.59	3.62	2.76	3.10	3.02	1.04	0.79	0.70	0.57	0.00	3.41	3.25	2.96	2.56	1.32	1.27	0.49	0.43	0.27	0.28
179	3.93	3.99	3.04	3.38	3.26	1.28	0.90	0.81	0.66	0.28	3.71	3.57	3.24	2.81	1.57	1.54	0.61	0.56	0.42	0.40
192	4.29	4.36	3.32	3.66	3.51	1.52	1.01	0.92	0.76	0.46	4.01	3.89	3.54	3.08	1.84	1.81	0.75	0.71	0.58	0.52
205	4.65	4.73	3.61	3.93	3.76	1.77	1.13	1.06	0.87	0.63	4.31	4.21	3.85	3.35	2.10	2.08	0.89	0.86	0.75	0.66
218	5.01	5.11	3.90	4.20	4.02	2.03	1.27	1.20	0.99	0.81	4.61	4.53	4.16	3.62	2.38	2.36	1.04	1.02	0.91	0.80
232	5.39	5.50	4.19	4.47	4.29	2.30	1.42	1.36	1.12	0.98	4.92	4.85	4.48	3.90	2.67	2.65	1.20	1.18	1.08	0.94
245	5.77	5.89	4.50	4.73	4.56	2.59	1.58	1.53	1.27	1.16	5.22	5.17	4.81	4.19	2.97	2.94	1.38	1.36	1.25	1.10
258	6.16	6.29	4.80	5.00	4.84	2.88	1.76	1.72	1.42	1.33	5.52	5.49	5.15	4.48	3.27	3.24	1.56	1.54	1.43	1.26
271	6.56	6.70	5.12	5.26	5.12	3.18	1.95	1.92	1.58	1.50	5.83	5.82	5.49	4.78	3.58	3.54	1.75	1.73	1.61	1.43
284	6.96	7.11	5.43	5.52	5.41	3.49	2.15	2.13	1.76	1.67	6.13	6.14	5.85	5.08	3.90	3.85	1.95	1.93	1.78	1.61
297	7.36	7.52	5.75	5.77	5.71	3.81	2.37	2.36	1.95	1.84	6.43	6.46	6.21	5.39	4.22	4.16	2.16	2.14	1.97	1.79
311	7.78	7.94	6.08	6.03	6.01	4.14	2.60	2.61	2.15	2.00	6.74	6.79	6.58	5.70	4.56	4.48	2.38	2.35	2.15	1.98
324	8.20	8.37	6.41	6.28	6.32	4.48	2.85	2.87	2.36	2.17	7.04	7.11	6.95	6.02	4.90	4.81	2.61	2.57	2.34	2.18
337	8.62	8.79	6.74	6.54	6.63	4.82	3.12	3.15	2.59	2.34	7.35	7.44	7.33	6.34	5.25	5.13	2.84	2.80	2.53	2.39
350	9.05	9.23	7.08	6.79	6.95	5.18	3.40	3.44	2.82	2.50	7.65	7.76	7.72	6.66	5.60	5.46	3.09	3.04	2.72	2.60

Anexo 5: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie N.Sphaericum obtenido por Liofilización y Aire Caliente evaluado al 0.15% en condiciones de Néctar (12°Brix-4.5Ph) a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C

Ritmo Cortante 1/s	Liofilizado										Aire Caliente									
	7°C		20°C		40°C		60°C		80°C		7°C		20°C		40°C		60°C		80°C	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
100	2.59	2.28	2.05	1.96	1.19	1.22	0.73	0.70	0.48	0.64	1.63	1.63	1.14	1.10	0.65	0.63	0.43	0.43	0.00	0.00
113	2.69	2.38	2.13	2.05	1.24	1.27	0.76	0.73	0.50	0.67	1.71	1.71	1.20	1.15	0.69	0.67	0.46	0.46	0.00	0.00
126	2.80	2.47	2.20	2.14	1.28	1.33	0.78	0.76	0.52	0.70	1.79	1.79	1.26	1.21	0.72	0.70	0.48	0.49	0.20	0.17
139	2.91	2.57	2.28	2.23	1.33	1.39	0.81	0.79	0.54	0.72	1.87	1.87	1.32	1.27	0.76	0.74	0.51	0.52	0.22	0.20
153	3.01	2.67	2.36	2.31	1.37	1.44	0.83	0.82	0.56	0.75	1.95	1.96	1.37	1.33	0.80	0.77	0.54	0.55	0.25	0.22
166	3.11	2.76	2.43	2.40	1.41	1.50	0.86	0.84	0.58	0.77	2.03	2.04	1.43	1.39	0.83	0.81	0.56	0.58	0.27	0.25
179	3.21	2.85	2.51	2.49	1.46	1.56	0.88	0.87	0.60	0.80	2.11	2.12	1.49	1.44	0.87	0.84	0.59	0.60	0.30	0.27
192	3.31	2.95	2.58	2.57	1.50	1.61	0.91	0.90	0.62	0.82	2.19	2.20	1.54	1.50	0.91	0.88	0.61	0.63	0.32	0.30
205	3.41	3.04	2.65	2.66	1.54	1.67	0.93	0.93	0.63	0.84	2.27	2.28	1.60	1.56	0.95	0.91	0.64	0.66	0.34	0.32
218	3.51	3.13	2.73	2.74	1.58	1.73	0.95	0.95	0.65	0.86	2.35	2.36	1.65	1.62	0.98	0.94	0.66	0.68	0.37	0.35
232	3.60	3.22	2.80	2.82	1.62	1.78	0.97	0.98	0.67	0.89	2.43	2.44	1.70	1.67	1.02	0.98	0.68	0.71	0.39	0.37
245	3.70	3.31	2.87	2.91	1.66	1.84	1.00	1.01	0.69	0.91	2.50	2.51	1.76	1.73	1.06	1.01	0.71	0.73	0.42	0.40
258	3.80	3.39	2.94	2.99	1.70	1.89	1.02	1.03	0.70	0.93	2.58	2.59	1.81	1.79	1.10	1.05	0.73	0.76	0.44	0.42
271	3.89	3.48	3.01	3.07	1.73	1.95	1.04	1.06	0.72	0.95	2.66	2.67	1.86	1.85	1.14	1.08	0.75	0.78	0.47	0.45
284	3.98	3.57	3.08	3.15	1.77	2.01	1.06	1.08	0.73	0.97	2.73	2.75	1.92	1.90	1.17	1.12	0.77	0.81	0.50	0.47
297	4.08	3.66	3.15	3.24	1.81	2.06	1.08	1.11	0.75	0.99	2.81	2.83	1.97	1.96	1.21	1.15	0.80	0.83	0.52	0.50
311	4.17	3.74	3.22	3.32	1.84	2.12	1.10	1.13	0.76	1.01	2.88	2.90	2.02	2.02	1.25	1.19	0.82	0.86	0.55	0.52
324	4.26	3.83	3.28	3.40	1.88	2.17	1.12	1.16	0.78	1.03	2.96	2.98	2.07	2.07	1.29	1.22	0.84	0.88	0.58	0.54
337	4.35	3.91	3.35	3.48	1.92	2.23	1.14	1.18	0.79	1.05	3.03	3.06	2.12	2.13	1.33	1.26	0.86	0.90	0.60	0.57
350	4.44	3.99	3.42	3.56	1.95	2.28	1.16	1.21	0.81	1.07	3.11	3.13	2.18	2.19	1.37	1.29	0.88	0.93	0.63	0.59

Anexo 6: Base de datos de la evaluación del comportamiento al flujo del hidrocoloide de la especie N.Commune obtenido por Liofilización y Aire Caliente evaluado al 0.15% en condiciones de Néctar (12°Brix-4.5Ph) a las temperaturas de 7, 20, 40, 60, 80°C

Ritmo Cortante (1/s)	POTENCIAL			EXPONENCIAL		
	η_1	a	R ²	η_2	b	R ²
1	12.9410	2.2228	0.8717	0.1503	4.7277	0.8328
17	2.3003	1.4209	0.9137	0.1293	3.0860	0.9101
32	1.6640	1.4508	0.9763	0.0908	3.0870	0.9334
48	1.3468	1.4330	0.9896	0.0768	3.0314	0.9352
64	1.1475	1.3961	0.9948	0.0706	2.9486	0.9370
80	1.0081	1.3535	0.9974	0.0675	2.8588	0.9396
95	0.9018	1.3074	0.9982	0.0661	2.7669	0.9441
111	0.8207	1.2702	0.9984	0.0646	2.6933	0.9480
127	0.7563	1.2391	0.9984	0.0632	2.6321	0.9513
143	0.7032	1.2145	0.9979	0.0616	2.5852	0.9548
158	0.6593	1.1906	0.9976	0.0605	2.5380	0.9574
174	0.6222	1.1685	0.9974	0.0596	2.4940	0.9594
190	0.5901	1.1488	0.9970	0.0587	2.4546	0.9612
206	0.5620	1.1310	0.9965	0.0579	2.4193	0.9629
221	0.5372	1.1145	0.9959	0.0571	2.3856	0.9643
237	0.5152	1.0990	0.9954	0.0564	2.3555	0.9655
253	0.4954	1.0847	0.9947	0.0558	2.3267	0.9666
269	0.4775	1.0709	0.9940	0.0553	2.2990	0.9674
284	0.4612	1.0584	0.9933	0.0547	2.2739	0.9682
300	0.4464	1.0463	0.9925	0.0542	2.2497	0.9686

Anexo 7: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de 1s⁻¹ hasta 300 s⁻¹ de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 7°C.

Ritmo Cortante (1/s)	POTENCIAL			EXPONENCIAL		
	η_1	a	R ²	η_2	b	R ²
1	14.3818	2.8620	0.9583	0.0524	5.8296	0.8397
17	2.3908	1.9469	0.9874	0.0520	3.9862	0.8740
32	1.5646	1.7567	0.9915	0.0491	3.6124	0.8854
48	1.2151	1.6442	0.9934	0.0473	3.3917	0.8927
64	1.0122	1.5700	0.9953	0.0454	3.2510	0.9012
80	0.8781	1.5119	0.9966	0.0440	3.1404	0.9080
95	0.7826	1.4604	0.9967	0.0433	3.0391	0.9115
111	0.7093	1.4192	0.9971	0.0424	2.9599	0.9158
127	0.6516	1.3822	0.9970	0.0418	2.8877	0.9190
143	0.6045	1.3496	0.9967	0.0413	2.8242	0.9217
158	0.5654	1.3202	0.9963	0.0409	2.7667	0.9240
174	0.5321	1.2934	0.9956	0.0405	2.7142	0.9260
190	0.5034	1.2692	0.9950	0.0402	2.6670	0.9279
206	0.4783	1.2472	0.9944	0.0398	2.6244	0.9298
221	0.4563	1.2260	0.9934	0.0396	2.5826	0.9309
237	0.4367	1.2068	0.9925	0.0393	2.5451	0.9323
253	0.4191	1.1884	0.9915	0.0391	2.5090	0.9332
269	0.4031	1.1719	0.9907	0.0388	2.4770	0.9347
284	0.3887	1.1560	0.9897	0.0385	2.4460	0.9357
300	0.3755	1.1409	0.9886	0.0383	2.4165	0.9366

Anexo 8: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de 1s-1 hasta 300 s-1 de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 20°C.

Ritmo Cortante (1/s)	POTENCIAL			EXPONENCIAL		
	η_1	a	R ²	η_2	b	R ²
1	9.4763	2.6907	0.9272	0.0465	5.5615	0.8365
17	1.5978	1.8220	0.9798	0.0433	3.7816	0.8913
32	1.0708	1.6874	0.9897	0.0380	3.4974	0.8978
48	0.8374	1.6020	0.9930	0.0351	3.3258	0.9038
64	0.7019	1.5331	0.9954	0.0337	3.1864	0.9080
80	0.6111	1.4783	0.9969	0.0326	3.0766	0.9118
95	0.5453	1.4320	0.9978	0.0318	2.9839	0.9150
111	0.4954	1.3897	0.9984	0.0314	2.8976	0.9167
127	0.4556	1.3537	0.9986	0.0310	2.8254	0.9186
143	0.4231	1.3216	0.9985	0.0306	2.7608	0.9202
158	0.3959	1.2927	0.9983	0.0303	2.7028	0.9216
174	0.3727	1.2669	0.9979	0.0300	2.6516	0.9231
190	0.3526	1.2434	0.9975	0.0297	2.6051	0.9246
206	0.3351	1.2219	0.9971	0.0294	2.5625	0.9261
221	0.3197	1.2012	0.9964	0.0292	2.5213	0.9270
237	0.3059	1.1829	0.9959	0.0290	2.4856	0.9285
253	0.2935	1.1656	0.9953	0.0288	2.4516	0.9298
269	0.2823	1.1494	0.9947	0.0285	2.4201	0.9312
284	0.2722	1.1338	0.9940	0.0283	2.3892	0.9321
300	0.2630	1.1188	0.9931	0.0282	2.3595	0.9328

Anexo 9: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de 1s-1 hasta 300 s-1 de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 40°C.

Ritmo Cortante (1/s)	POTENCIAL			EXPONENCIAL		
	η_1	a	R ²	η_2	b	R ²
1	1.4918	2.0845	0.8829	0.0248	4.2607	0.7790
17	0.2726	1.2335	0.9379	0.0240	2.5327	0.8350
32	0.1984	1.2342	0.9606	0.0180	2.4739	0.8150
48	0.1616	1.2007	0.9518	0.0158	2.3822	0.7913
64	0.1383	1.1551	0.9421	0.0148	2.2808	0.7752
80	0.1218	1.1066	0.9343	0.0144	2.1789	0.7650
95	0.1093	1.0579	0.9285	0.0142	2.0805	0.7585
111	0.0995	1.0105	0.9241	0.0142	1.9869	0.7545
127	0.0915	0.9652	0.9208	0.0142	1.8986	0.7514
143	0.0849	0.9223	0.9182	0.0143	1.8156	0.7514
158	0.0793	0.8816	0.9162	0.0145	1.7375	0.7514
174	0.0745	0.8432	0.9144	0.0146	1.6640	0.7520
190	0.0703	0.8068	0.9129	0.0148	1.5947	0.7532
206	0.0667	0.7723	0.9115	0.0150	1.5292	0.7547
221	0.0635	0.7396	0.9102	0.0152	1.4673	0.7564
237	0.0606	0.7085	0.9088	0.0153	1.4085	0.7584
253	0.0580	0.6789	0.9074	0.0155	1.3562	0.7606
269	0.0556	0.6507	0.9058	0.0157	1.2994	0.7628
284	0.0535	0.6237	0.9039	0.0159	1.2487	0.7650
300	0.0515	0.5979	0.9019	0.0161	1.2002	0.7673

Anexo II: Valores de los parámetros de los modelos potencial y exponencial sometidos a Ritmo cortante de 1s-1 hasta 300 s-1 de las soluciones preparadas con hidrocoloide obtenido por liofilización de la especie N.Sphaericum evaluadas a 80°C.

Espesante	T (°C)	η (Pa*s)	τ_0 (Pa)	R ²
CMC	7°C	0.0113	0.3228	0.9994
	20°C	0.0089	0.0492	0.9977
	40°C	0.0055	-0.0180	0.9969
	60°C	0.0033	0.0370	0.9929
	80°C	0.0017	0.1303	0.9709
Hidrocoloide (<i>N.Sphaericum</i> , Liofilizado)	7°C	0.0269 ± 0.0009	-0.7574 ± 0.1722	0.9954
	20°C	0.0212 ± 0.0003	-0.5646 ± 0.2212	0.9974
	40°C	0.0210 ± 0.0008	-2.4706 ± 0.2668	0.9971
	60°C	0.0145 ± 0.0006	-1.9821 ± 0.1737	0.9743
	80°C	0.0129 ± 0.0001	-1.9472 ± 0.0306	0.9870
Hidrocoloide (<i>N.Sphaericum</i> , Aire Caliente)	7°C	0.0159 ± 0.0014	-0.1594 ± 0.0769	0.9985
	20°C	0.0161 ± 0.0011	-1.3426 ± 0.0002	0.9548
	40°C	0.0131 ± 0.0018	-1.1714 ± 0.2946	0.9923
	60°C	0.011 ± 0.0030	-1.3838 ± 0.6472	0.9732
	80°C	0.0102 ± 0.0001	-1.7992 ± 0.1074	0.9875
Hidrocoloide (<i>N.Commune</i> , Liofilizado)	7°C	0.0118 ± 0.0001	0.2552 ± 0.0290	0.9973
	20°C	0.0089 ± 0.0004	0.1915 ± 0.0563	0.9973
	40°C	0.0055 ± 0.0001	0.1227 ± 0.0111	0.9923
	60°C	0.0032 ± 0.0000	0.0848 ± 0.0260	0.9645
	80°C	0.0024 ± 0.0004	0.0719 ± 0.0358	0.9613
Hidrocoloide (<i>N.Commune</i> , Aire Caliente)	7°C	0.0080 ± 0.0000	0.0010 ± 0.0019	0.9985
	20°C	0.0057 ± 0.0001	-0.0244 ± 0.0043	0.9980
	40°C	0.0034 ± 0.0001	-0.0271 ± 0.0011	0.9914
	60°C	0.0025 ± 0.0001	-0.0688 ± 0.0156	0.9941
	80°C	0.0024 ± 0.0001	-0.3514 ± 0.0029	0.9860

Anexo 12: Valores de los parámetros del modelo de Bingham de los hidrocoloides (obtenidos por liofilización y Aire Caliente de las especies *N.Commune* y *N.Sphaericum*) y CMC evaluados en condiciones de néctar (12°Brix-4.5pH)

Espesante	T (°C)	k (Pa*s ⁿ)	n	R ²
CMC	7°C	0.0269	0.8624	0.9992
	20°C	0.0089	1.0076	0.9947
	40°C	0.0044	1.038	0.9956
	60°C	0.0051	0.9279	0.993
	80°C	0.0092	0.7426	0.9789
Hidrocoloide (<i>N.Sphaericum</i> , Liofilizado)	7°C	0.0280 ± 0.0029	0.8571 ± 0.0196	0.9985
	20°C	0.0220 ± 0.0045	0.8488 ± 0.0403	0.9980
	40°C	0.0137 ± 0.0002	0.8467 ± 0.0041	0.9908
	60°C	0.0082 ± 0.0018	0.8497 ± 0.0349	0.9599
	80°C	0.0081 ± 0.0012	0.8777 ± 0.0421	0.9620
Hidrocoloide (<i>N.Sphaericum</i> , Aire Caliente)	7°C	0.0071 ± 0.0001	1.0246 ± 0.0052	0.9976
	20°C	0.0042 ± 0.0005	1.0553 ± 0.0243	0.9971
	40°C	0.0026 ± 0.0002	1.0452 ± 0.0089	0.9921
	60°C	0.0010 ± 0.0001	1.1476 ± 0.0197	0.9916
	80°C	0.0000 ± 0.0000	1.7930 ± 0.0116	0.9817
Hidrocoloide (<i>N.Commune</i> , Liofilizado)	7°C	0.0084 ± 0.0025	1.1927 ± 0.0590	0.9954
	20°C	0.0066 ± 0.0022	1.1975 ± 0.0540	0.9981
	40°C	0.0000 ± 0.0000	2.0728 ± 0.0773	0.9963
	60°C	0.0000 ± 0.0000	2.1021 ± 0.1237	0.9768
	80°C	0.0000 ± 0.0000	2.1964 ± 0.0410	0.9839
Hidrocoloide (<i>N.Commune</i> , Aire Caliente)	7°C	0.0119 ± 0.0043	1.0509 ± 0.0472	0.9988
	20°C	0.0004 ± 0.0003	1.6016 ± 0.0906	0.9472
	40°C	0.0002 ± 0.0001	1.6704 ± 0.1497	0.9953
	60°C	0.0001 ± 0.0001	1.9788 ± 0.5064	0.9714
	80°C	0.0000 ± 0.0000	2.3440 ± 0.2515	0.9836

Anexo 13: Valores de los parámetros del modelo de Ostwald de los hidrocoloides (obtenidos por liofilización y Aire Caliente de las especies *N.Commune* y *N.Sphaericum*) y CMC evaluados en condiciones de néctar (12°Brix-4.5pH)

Espesante	T (°C)	K _H (Pa*s ⁿ)	n	τ ₀ (Pa)	R ²
CMC	7°C	0.0199	0.9099	0.1110	0.9994
	20°C	0.0259	0.8263	-0.2086	0.9993
	40°C	0.0106	0.8939	-0.1261	0.9973
	60°C	0.0010	1.1852	0.1284	0.9937
	80°C	1.3565	0.1276	-2.1910	0.9831
Hidrocoloide (<i>N.Sphaericum</i> , Liofilizado)	7°C	0.0048 ± 0.0013	1.2899 ± 0.0394	0.1909 ± 0.1971	0.9982
	20°C	0.0292 ± 0.0364	1.0725 ± 0.3184	-0.4712 ± 0.8440	0.9988
	40°C	0.0010 ± 0.0008	1.5185 ± 0.1488	0.1124 ± 1.1540	0.9981
	60°C	0.0000 ± 0.0000	2.4756 ± 0.0064	0.2475 ± 0.0902	0.9826
	80°C	0.0146 ± 0.0206	1.6307 ± 0.0649	-1.1909 ± 1.8379	0.9877
Hidrocoloide (<i>N.Sphaericum</i> , Aire Caliente)	7°C	0.0048 ± 0.0003	1.1958 ± 0.0244	0.2782 ± 0.1626	0.9996
	20°C	0.0000 ± 0.0000	2.6106 ± 0.0309	0.4461 ± 0.4095	0.9875
	40°C	0.0000 ± 0.0000	1.9350 ± 0.0132	0.2379 ± 0.1284	0.9919
	60°C	0.0956 ± 0.1054	0.7877 ± 0.2359	-3.2320 ± 0.8084	0.9877
	80°C	0.1447 ± 0.1447	0.7697 ± 0.3363	-3.1562 ± 1.8317	0.9927
Hidrocoloide (<i>N.Commune</i> , Liofilizado)	7°C	0.0560 ± 0.0075	0.0000 ± 0.0114	-0.2692 ± 0.0221	0.9988
	20°C	0.0324 ± 0.0131	0.7896 ± 0.0755	-0.0317 ± 0.0260	0.9982
	40°C	0.0389 ± 0.0450	0.7686 ± 0.2664	-0.1262 ± 0.2989	0.9944
	60°C	0.0553 ± 0.0487	0.5833 ± 0.1558	-0.2460 ± 0.1761	0.9668
	80°C	0.1128 ± 0.0010	0.4272 ± 0.0232	-0.5272 ± 0.0068	0.9645
Hidrocoloide (<i>N.Commune</i> , Aire Caliente)	7°C	0.0188 ± 0.0016	0.8637 ± 0.0139	-0.1925 ± 0.0153	0.9992
	20°C	0.0141 ± 0.0095	0.8741 ± 0.1126	-0.1639 ± 0.1372	0.9989
	40°C	0.0024 ± 0.0010	1.0592 ± 0.0756	0.0056 ± 0.0408	0.9910
	60°C	0.0423 ± 0.0188	0.5935 ± 0.0709	-0.5014 ± 0.0845	0.9956
	80°C	0.0017 ± 0.0019	1.1329 ± 0.2425	-0.2724 ± 0.1538	0.9859

Anexo 14: Valores de los parámetros del modelo de Herschel-Bulkley de los hidrocoloides (obtenidos por liofilización y Aire Caliente de las especies *N.Commune* y *N.Sphaericum*) y CMC evaluados en condiciones de néctar (12°Brix-4.5pH)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
A: Especie	0.0036	1	0.0036	9.79	0.0035
B: Secado	0.0051	1	0.0051	13.72	0.0007
AB	0.0024	1	0.0024	6.65	0.0141
RESIDUOS	0.0134	36	0.0004		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0246	39			

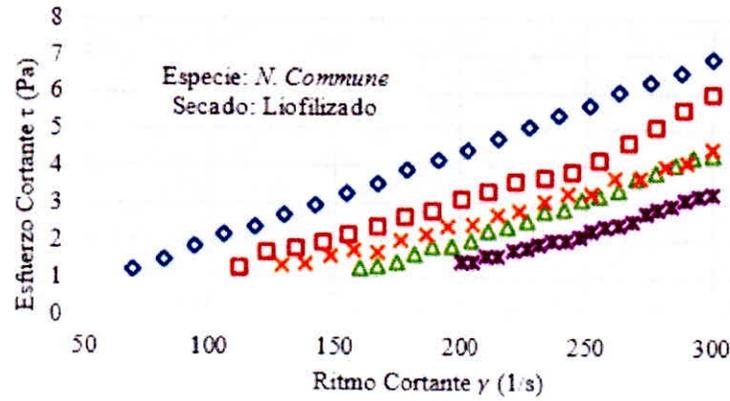
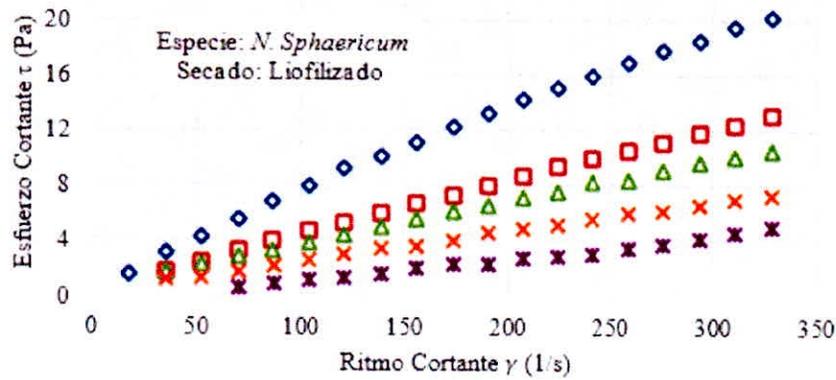
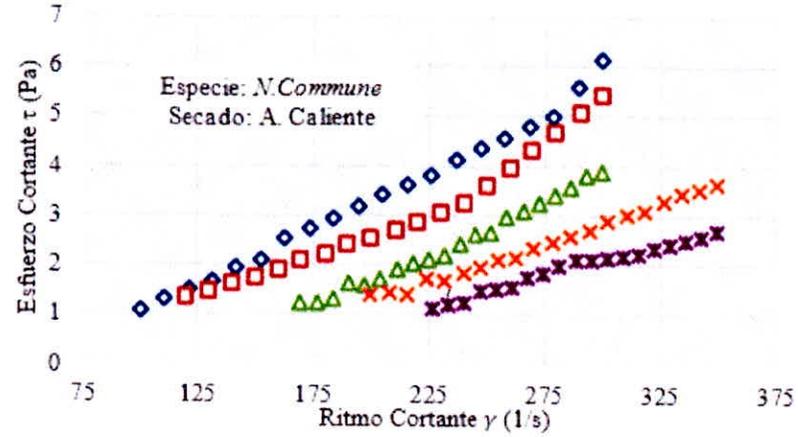
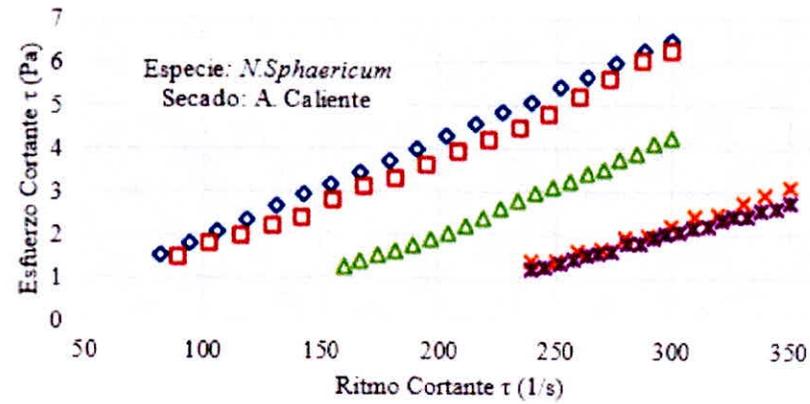
Anexo 15: *Análisis estadístico según el diseño experimental Multifactorial Categórico de las variables, especie (N.Sphaericum y N.Commune) y secado (Liofilización y Aire Caliente) sobre los valores de viscosidad aparente evaluado a diferentes concentraciones y temperaturas.*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.1294	3	0.0431	11.5070	0.0003	3.2389
Dentro de los grupos	0.0600	16	0.0037			
Total	0.1894	19				

Anexo 16: *Análisis de varianza de índices de comportamiento (Modelo de Ostwald) a concentración de 0.25%*

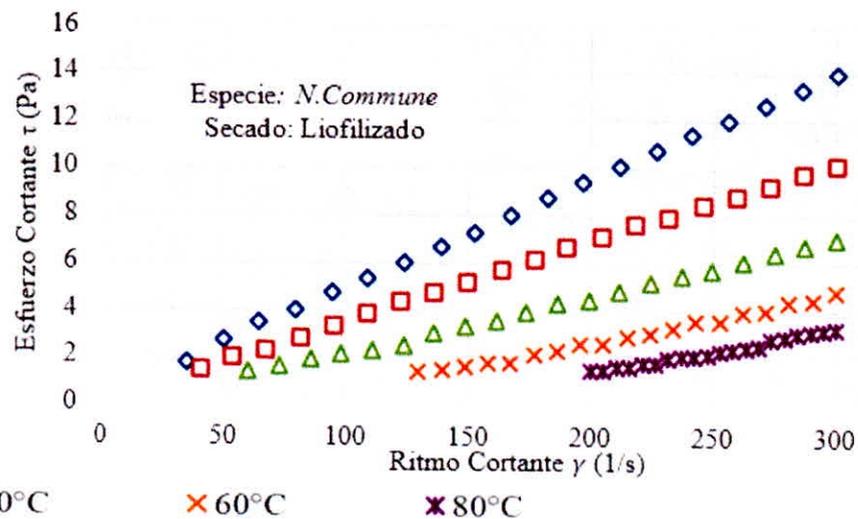
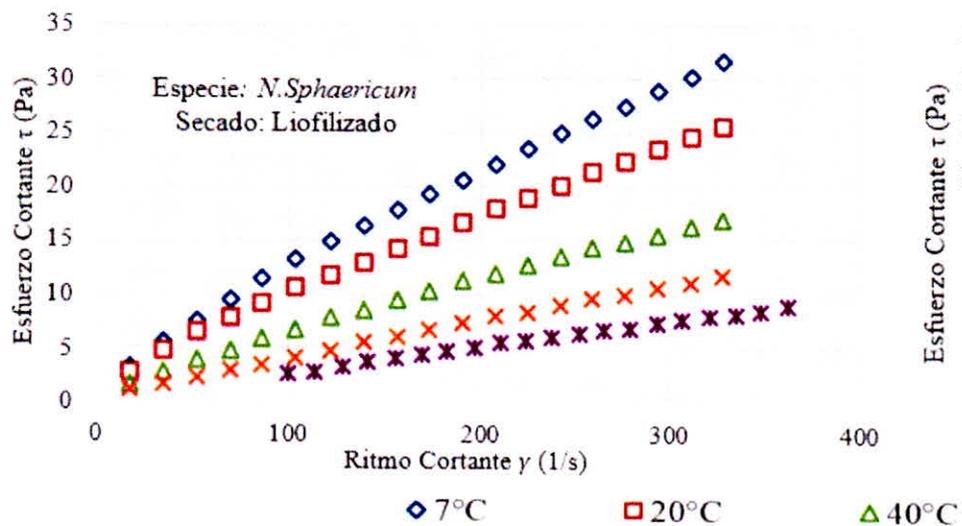
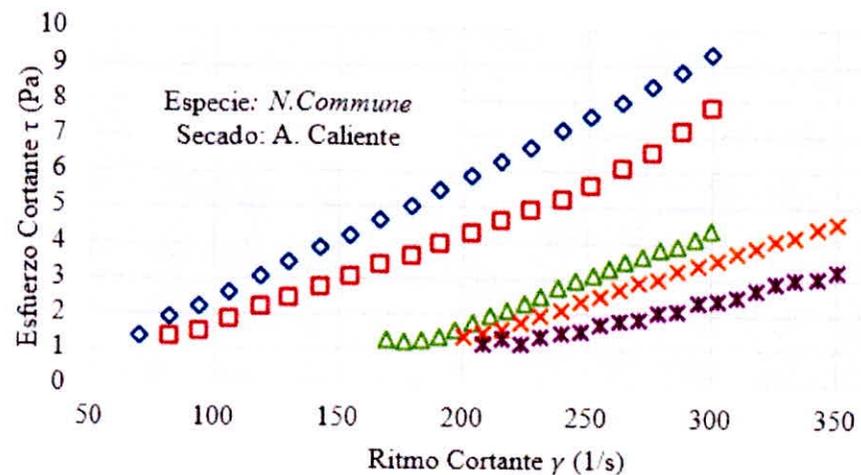
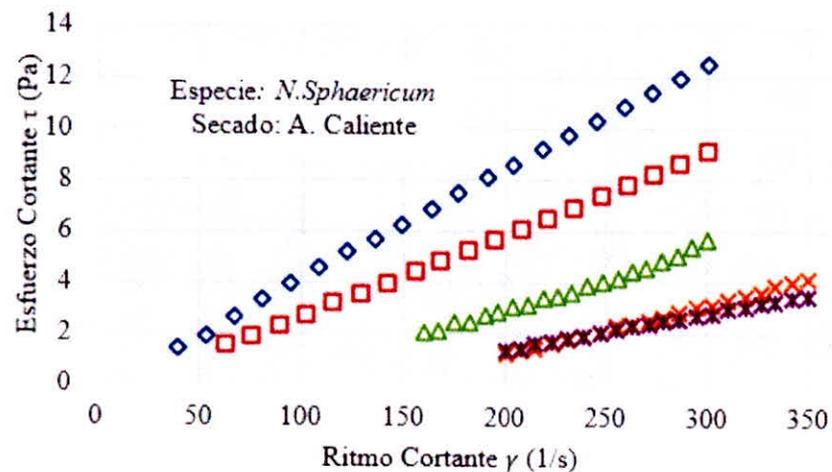
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.0218	3	0.0073	2.3751	0.1084	3.2389
Dentro de los grupos	0.0489	16	0.0031			
Total	0.0707	19				

Anexo 17: *Análisis de varianza entre valores del índice de consistencia del hidrocoloide al 0.15% obtenido del N. Commune y N. Sphaericum secado por liofilización y A. Caliente evaluado a temperatura de 7, 20, 40, 60 y 80 °C*

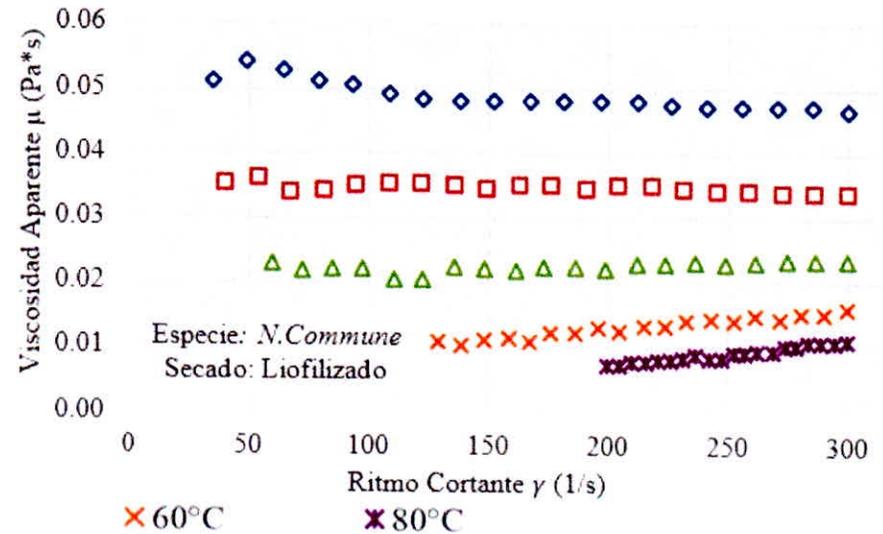
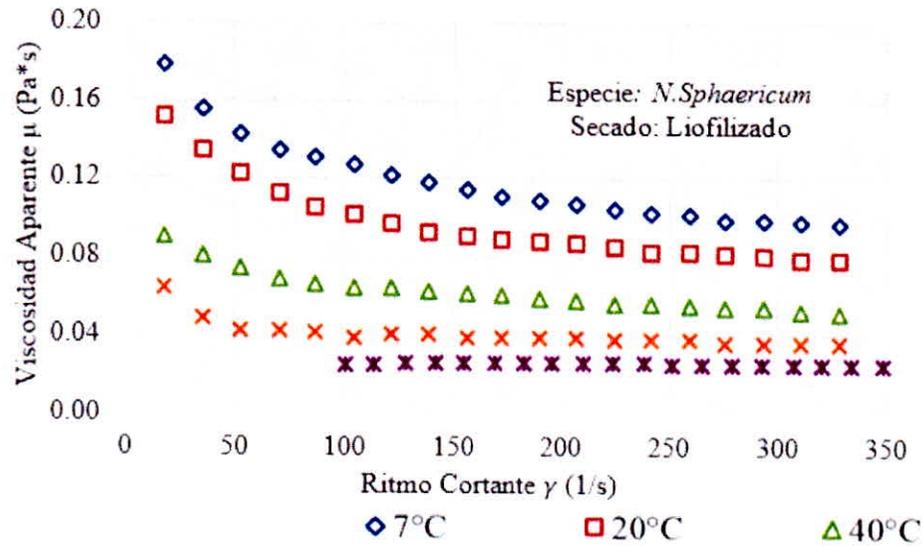
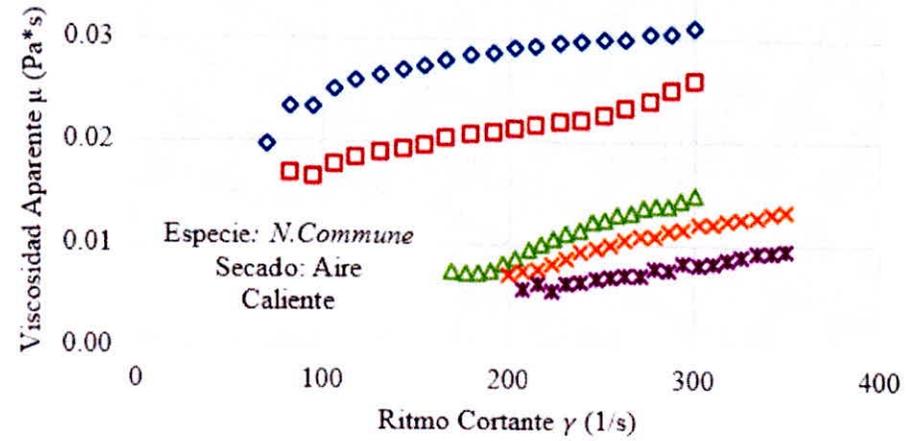
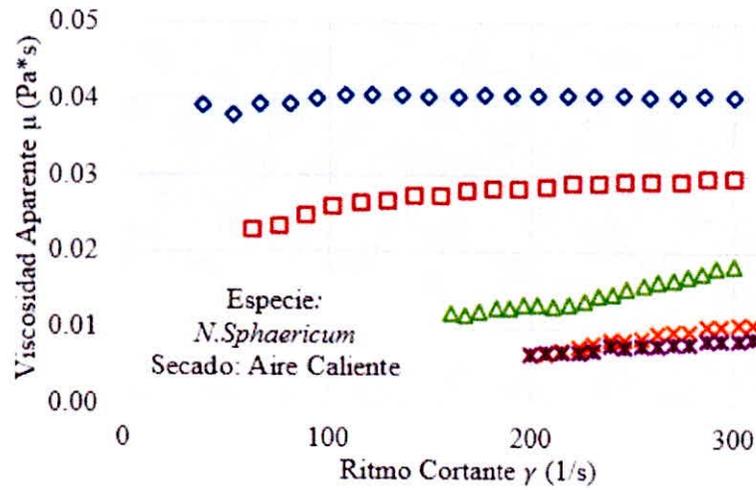


◆ 7°C
 ■ 20°C
 ▲ 40°C
 × 60°C
 ✱ 80°C

Anexo 18: Curvas de flujo (esfuerzo cortante τ como función del Ritmo Cortante $\dot{\gamma}$) de las soluciones al 0.15% de hidrocoloide obtenido por *A. Caliente* y liofilizado del cushuro (*N. Sphaericum* y *N. Commune*).



Anexo 19: Curvas de flujo (esfuerzo cortante τ como función del Ritmo Cortante γ) de las soluciones al 0.25% de hidrocoloide obtenido por *A. Caliente* y liofilizado del cushuro (*N. Sphaericum* y *N.Commune*).



Anexo 20: Curvas de flujo (Viscosidad Aparente μ_a en función del Ritmo Cortante γ) de las soluciones al 0.25% de hidrocoloide obtenido por *A. Caliente* y liofilizado del cushuro (*N. Sphaericum* y *N. Commune*).