



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SINÉRGICA EN EL
COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE DE
LA CIANOBACTERIA NOSTOC (*Nostoc sphaericum*) CON
HIDROCOLOIDES COMERCIALES**

TESIS

PRESENTADA POR:

ABRAHAN CALSÍN YANARICO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SINÉRGICA EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE DE LA CIANURO

AUTOR

Abraham Calsín Yanarico

RECuento DE PALABRAS

18564 Words

RECuento DE CARACTERES

100133 Characters

RECuento DE PÁGINAS

104 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 15, 2024 1:47 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 15, 2024 1:49 PM GMT-5

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

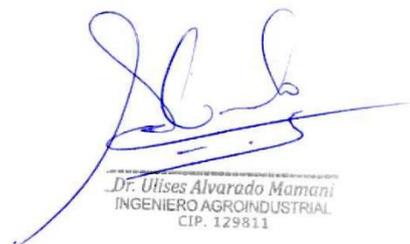
- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Dr. Sc. S. Rogelio Guerra Llanza
DOCENTE UTA - PUNO T.C.
CIP. 106463



Dr. Ulises Alvarado Mamani
INGENIERO AGROINDUSTRIAL
CIP. 129811

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza y la sabiduría para culminar mi carrera profesional.

A July Jessica, por su amor, paciencia, lealtad y darme palabras de aliento en los momentos difíciles.

A mi hermano David Elvis, por enseñarme a luchar y enfrentar la vida con una sonrisa, aunque ya no este físicamente a nuestro lado su esencia sigue vibrando en nuestro corazón. Descansa en paz querido hermano.

A mis queridos padres, Daniel Calsin y Eugenia Yanarico, por su amor y apoyo a lo largo de mi vida, que ha sido fundamental para alcanzar mis objetivos académicos.

A mis hermanos y amigos, por estar al pendiente del avance de mi investigación y lograr su culminación.

Abrahan Calsín Yanarico



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, mi alma mater en la Región de Puno, agradezco a los profesores que me dotaron de todos los conocimientos necesarios durante mis estudios de pregrado, formar parte de esta destacada institución académica me ha permitido alcanzar una de mis metas.

A mi asesor de tesis M. Sc. Saire Roenfi Guerra Lima por su orientación paciencia y dedicación. Su recomendación y sugerencias fueron fundamentales para mejorar este trabajo.

A mi familia, amigos y compañeros de trabajo, por su apoyo, sabiduría y experiencias que compartieron conmigo. A cada uno de ustedes expresarles mi más profunda gratitud. ¡GRACIAS!.

Abrahan Calsín Yanarico



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL NOSTOC (<i>Nostoc sphaericum</i>)	
.....	22
2.1.1. Fitología.....	22
2.1.1.1 Definición.....	22
2.1.1.2 Habidad y reproducción.....	23



2.1.1.3	Clasificación taxonómica.....	24
2.1.2.	Composición bromatológica.....	24
2.1.3.	Consumo y potencialidades del Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	25
2.2.	LOS HIDROCOLOIDES	26
2.2.1.	Hidrocoloides utilizados en la industria alimentaria.....	27
2.2.2.	Propiedades físicas, químicas y funcionalidad.....	28
2.2.3.	Estructura molecular de los hidrocoloides.....	29
2.2.4.	Extracción de hidrocoloides.....	31
2.3.	HIDROCOLOIDES OBJETO DE ESTUDIO	32
2.3.1.	Carboximetilcelulosa (CMC).....	32
2.3.1.1	Descripción y origen.....	32
2.3.1.2	Propiedades físicas y químicas.....	32
2.3.1.3	Reología y características de la solución.....	33
2.3.1.4	Aplicaciones.....	33
2.3.2.	Alginato de sodio.....	34
2.3.2.1	Descripción y origen.....	34
2.3.2.2	Propiedades físicas y químicas.....	34
2.3.2.3	Reología y características de la solución.....	35
2.3.2.4	Aplicaciones.....	36
2.4.	REOLOGÍA	37
2.4.1.	Reología de los alimentos.....	37
2.4.2.	Clasificación reológica de los fluidos.....	37



2.4.2.1	Fluidos newtonianos	38
2.4.2.2	Fluidos no newtonianos	39
2.4.3.	Análisis reológico	46
2.4.3.1	Barrido de deformación	46
2.4.3.2	Barrido de frecuencia	48
2.4.3.3	Comportamiento de flujo o curva de fluidez	49

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	51
3.2.	MATERIA ORGÁNICA EN ESTUDIO.....	51
3.3.	MATERIALES DE LABORATORIO Y EQUIPOS.....	51
3.3.1.	Materiales de laboratorio	51
3.3.2.	Equipos	52
3.3.3.	Reactivos.....	52
3.3.4.	Software	52
3.4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	53
3.4.1.	Diagrama de flujo para la extracción del hidocoloide.....	53
3.4.2.	Descripción de obtención del hidocoloide	54
3.4.3.	Análisis fisicoquímico del hidocoloide Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>)	57
3.4.4.	Comportamiento reológico	57
3.4.4.1.	Barrido de frecuencia	57
3.4.4.2.	Comportamiento de flujo	58



3.4.5. Modelo estadístico 59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DEL HIDROCOLOIDE
OBTENIDO DEL NOSTOC (*Nostoc sphaericum*)..... 61**

4.2. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO 62

4.1.1. Barrido de frecuencia..... 62

4.1.2. Curva de fluidez..... 66

V. CONCLUSIONES..... 76

VI. RECOMENDACIONES 77

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 78

ANEXOS..... 87

ÁREA: Ciencia y Tecnología

TEMA: Propiedades Físicas y Estructurales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Composición química nutricional del Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	24
Tabla 2 Gomas o hidrocoloides de importancia industrial.....	28
Tabla 3 Composición química del hidrocoloide del Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	61
Tabla 4 Módulo de almacenamiento G' y módulo de pérdida G'' de las soluciones mixtas del hidrocoloide Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>) con hidrocoloides comerciales en función de la concentración.....	65
Tabla 5 Parámetros reológicos ajustado al modelo Ostwald-de Waele; de soluciones mixtas del hidrocoloide Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>), con hidrocoloides comerciales en función de la concentración y la temperatura.....	72



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Viscosidad aparente de fluidos independientes del tiempo.....	41
Figura 2 Representación gráfica de fluidos dependientes del tiempo.....	45
Figura 3 Diagrama de flujo para la extracción del hidrocoloide del Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	53
Figura 4 Balance de materia del proceso de extracción de hidrocoloide del Nostoc (<i>Nostoc sphaericum</i>).....	56
Figura 5 Espectros mecánicos de sistemas mixtos de hidrocoloides Nostoc/CMC a la concentración total de polisacárido del 1%, temperatura 25°C de los módulos G' y G'' , en función de la velocidad angular.....	63
Figura 6 Espectros mecánicos de sistemas mixtos de hidrocoloides Nostoc:alginato de sodio a la concentración total de polisacárido del 1%, temperatura 25°C de los módulos G' y G'' , en función de la velocidad angular.....	64
Figura 7 Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc: CMC a concentración total del 1% a 25°C.....	67
Figura 8 Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc: CMC a concentración total del 1%, a 50 °C.....	67
Figura 9 Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:CMC a concentración total del 1%, a 70 °C	68
Figura 10 Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:alginato de sodio, a concentración total del 1% a 25°C.....	69
Figura 11 Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:alginato de sodio, a concentración total del 1% a 50°C	69



Figura 12 Viscosidad en función de la tasa de deformación para las soluciones de
Nostoc:alginato de sodio, a concentración total del 1% a 70°C 70



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Manejo documentario.....	87
ANEXO 2 Panel fotográfico de la investigación realizada.....	89
ANEXO 3 Diseño experimental para el procesamiento de datos de las propiedades viscoelásticas, respecto a las concentraciones del hidrocoloide de Nostoc y CMC.....	93
ANEXO 4 Diseño experimental para el procesamiento de datos de las propiedades viscoelásticas, respecto a las concentraciones del hidrocoloide de Nostoc y alginato de sodio.....	93
ANEXO 5 Análisis de varianza para el módulo de almacenamiento G' de la fracción Nostoc:CMC.....	93
ANEXO 6 Prueba de comparación de Tukey para el módulo de almacenamiento G' de la fracción Nostoc:CMC	94
ANEXO 7 Análisis de varianza para el módulo de pérdida G'' de la fracción Nostoc:CMC	94
ANEXO 8 Prueba de comparación de Tukey para el módulo de pérdida G'' de la fracción Nostoc:CMC	94
ANEXO 9 Análisis de varianza para el módulo de pérdida G' de la fracción Nostoc:alginato.....	94
ANEXO 10 Prueba de comparación de Tukey para el módulo de almacenamiento G' de la fracción Nostoc:alginato.....	95
ANEXO 11 Análisis de varianza para el módulo de pérdida G'' de la fracción Nostoc:alginato.....	95



ANEXO 12	Prueba de comparación de Tukey para el módulo de pérdida G'' de la fracción Nostoc:alginato.....	95
ANEXO 13	Diseño experimental para el procesamiento de datos respecto a las concentraciones del hidrocoloide de Nostoc y CMC.....	96
ANEXO 14	Diseño experimental para la recopilación de datos respecto a las concentraciones de hidrocoloide de Nostoc y alginato de sodio.....	96
ANEXO 15	Análisis de varianza para el índice de consistencia K de la fracción Nostoc:CMC.....	97
ANEXO 16	Prueba de comparación de Tukey para el índice de consistencia K de la fracción Nostoc:CMC.....	97
ANEXO 17	Análisis de varianza para el índice de flujo n de la fracción Nostoc:CMC.....	98
ANEXO 18	Prueba de comparación de Tukey para el índice de flujo n de la fracción Nostoc:CMC.....	98
ANEXO 19	Análisis de varianza para la viscosidad aparente de la fracción Nostoc:CMC.....	99
ANEXO 20	Prueba de comparación de Tukey para la viscosidad η_{50} de la fracción Nosto:CMC.....	99
ANEXO 21	Análisis de varianza para el índice de consistencia K de la fracción Nostoc:alginato de sodio.....	100
ANEXO 22	Prueba de comparación de Tukey para el índice de consistencia K de la fracción Nostoc:alginato	100
ANEXO 23	Análisis de varianza para el índice de flujo n de la fracción Nostoc:alginato de sodio.....	101



ANEXO 24 Prueba de comparación de Tukey para el índice de flujo n de la fracción	
Nostoc:alginato.....	101
ANEXO 25 Análisis de varianza para la viscosidad aparente de la fracción	
Nostoc:alginato	102
ANEXO 26 Prueba de comparación de Tukey para la viscosidad η_{50} de la fracción	
Nostoc: alginato.....	102



ACRÓNIMOS

ANVA:	Análisis de varianza
AOAC:	Asociación científica dedicada a la excelencia analítica
Atm:	Atmósferas
cm:	Centímetros
CMC:	Carboximetilcelulosa
<i>et al.:</i>	Colaboradores
τ :	Esfuerzo de corte (Pa)
sp:	Especie
ω :	Frecuencia o velocidad angular (rad/s)
°C:	Grados Celsius
DS:	Grado de sustitución
g/l:	Gramos por litro
h:	Hora
K:	Índice de consistencia (Pa.s)
n:	Índice de flujo
kg:	Kilogramo
m.s.n.m.:	Metros sobre el nivel del mar
SEM:	Micrografía electrónica de barrido
mm:	Milímetro
G´:	Módulo elástico (Pa)
G´´:	Módulo viscoso (Pa)
Pa:	Pascal
p/p:	Peso de soluto/peso de una solución
%:	Porcentaje



pH:	Potencial del ion Hidrógeno
LVE:	Rango lineal viscoelástico
rad/s:	Radianes por segundo
Tan δ :	Tangente de pérdida
$\dot{\gamma}$:	Tasa de deformación (s ⁻¹)
τ_0 :	Umbral de fluencia
η :	Viscosidad
Sum Sq:	Suma de cuadrados
Mean Sq:	Cuadrado medio
F value:	Valor F
p value:	Valor p



RESUMEN

El Nostoc (*Nostoc sphaericum*), es una cianobacteria que habita en las lagunas alto andinas del Perú el cual posee propiedades viscosantes que pueden interactuar con hidrocoloides de uso común. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades reológicas de las soluciones acuosas del hidrocoloide de la cianobacteria Nostoc con hidrocoloides comerciales, en función de la concentración y temperatura. El proceso de extracción de hidrocoloide del alga del Nostoc se realizó por la metodología de precipitación con alcohol de 96°. La existencia de la interacción sinérgica en la reología de sistemas acuosos mixtos entre el hidrocoloide de la cianobacteria del Nostoc con gomas comerciales (carboximetil celulosa y alginato de sodio), se estudió mediante el análisis reológico (barrido de frecuencia y curva de fluidez) usando un reómetro con geometría tipo plato-plato; el barrido de frecuencia se trabajó a una temperatura constante de 25°C y el comportamiento de flujo a las temperaturas de 25°C, 50°C y 70°C; además las concentraciones de Nostoc:gomas comerciales fueron del 100.00:0.00, 0.75:0.25, 0.50:0.50, 0.25:0.75 y 0.00:100.00 p/p, dentro de la concentración total de 1%. Se determinó las características viscoelásticas (módulo elástico G' y módulo viscoso G'') y el comportamiento de flujo (viscosidad, índice de consistencia “k” e índice de flujo “n”). Las soluciones del Nostoc y alginato mostraron predominio elástico $G' > G''$ superior en la fracción del 0.50:0.50 de Nostoc:alginato; además, presentaron un comportamiento no newtoniano de carácter pseudoplástico. Se concluye que existen importantes efectos de interacción del hidrocoloide del Nostoc con el alginato de sodio al incrementar el porcentaje de concentración del Nostoc, mostrando un máximo a la fracción de la solución del 0.50:0.50%.

Palabras clave: Efecto sinérgico, Hidrocoloide, Reología, Viscosidad.



ABSTRACT

Nostoc (*Nostoc sphaericum*), a cyanobacterium that inhabits the high Andean lagoons of Peru, has viscous properties that can interact with commonly used hydrocolloids. Therefore, the objective of this research was to evaluate the rheological properties of aqueous solutions of *Nostoc* cyanobacteria hydrocolloid with commercial hydrocolloids, as a function of concentration and temperature. The *Nostoc* algae hydrocolloid extraction process was performed by 96° alcohol precipitation methodology. The existence of synergistic interaction in the rheology of mixed aqueous systems between *Nostoc* cyanobacteria hydrocolloid with commercial gums (carboxymethyl cellulose and sodium alginate), was studied by rheological analysis (frequency sweep and flow curve) using a rheometer with plate-plate type geometry; the frequency sweep was worked at a constant temperature of 25°C and the flow behavior at the temperatures of 25°C, 50°C and 70°C; also the *Nostoc* concentrations: commercial gums were 100.00:0.00, 0.75:0.25, 0.50:0.50, 0.25:0.75 and 0.00:100.00 w/w, within the total concentration of 1%. The viscoelastic characteristics (elastic modulus G' and viscous modulus G'') and flow behavior (viscosity, consistency index "k" and flow index "n") were determined. The *Nostoc* and alginate solutions showed higher elastic predominance $G' > G''$ in the 0.50:0.50 fraction of *Nostoc*:alginate; moreover, they presented a non-Newtonian behavior of pseudoplastic character. It is concluded that there are significant interaction effects of *Nostoc* hydrocolloid with sodium alginate with increasing *Nostoc* concentration percentage, showing a maximum at the 0.50:0.50% solution fraction.

Keywords: Synergistic effect, Hydrocolloid, Rheology, Viscosity.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los hidrocoloides son sustancias de composición polisacárida y son altamente hidrofílicas. Estas moléculas pueden reducir la movilidad del agua y aumentar la viscosidad en bajas concentraciones; por lo que son aplicados de gran manera en la industria alimentaria por su capacidad de modificar las propiedades reológicas de los sistemas alimentarios (Whistler y BeMiller, 1999; Angioloni, 2013). Los hidrocoloides de origen natural son variados y pueden provenir de plantas (como paredes celulares, semillas, troncos, raíces, etc.), algas, bacterias e incluso animales. Estos hidrocoloides pueden producir gomas, mucílagos, fibras o compuestos proteicos (Mirhosseini *et al.*, 2012).

En la actualidad se cuentan con muchos estudios de las bondades de las algas y microalgas acerca de su uso industrial que permiten el aprovechamiento de las biomoléculas en la agroindustria especialmente procedentes del mar; A pesar de que existen hidrocoloides de agua dulce, su explotación e información científica son limitadas, especialmente en lo que respecta a la reología de su hidrocoloide, como es en el caso del Nostoc.

El Nostoc (*Nostoc sphaericum*) es una cianobacteria que se encuentra en las lagunas altas de los andes peruanos que comprenden los departamentos como: Ancash, Junín, Cajamarca, Huánuco, Cusco y Puno (Aldave, 1989; Gonzáles, 2006); es un recurso hidrobiológico renovable, considerada como una alternativa para fuente de mejora de viscosidad que puede ser usado en la agroindustria como mejorador de textura (Roldan, 2015); sin embargo, comercialmente existen diferentes hidrocoloides que cumplen esa función; lastimosamente existen pocas investigaciones acerca de las



interacciones sinérgicas reológicas entre ellas y más aun con el hidrocoloide proveniente del Nostoc.

Las interacciones sinérgicas en la reología de las mezclas de hidrocoloides pueden tener resultados positivos, actuando entre sí y potenciando la formación de geles. Sin embargo, tales mezclas pueden dar lugar a una gran variedad de interacciones, que pueden alterar significativamente (aumentar o disminuir) las características fisicoquímicas específicas del sistema mezclado en comparación con los de los coloides individuales (Philips, y Williams, 2009).

Debido a la búsqueda de nuevos hidrocoloides de fuente natural, que puedan interaccionar sinérgicamente en el comportamiento reológico con hidrogeles de uso común, nace la necesidad de investigar y entender acerca de este fenómeno con hidrocoloides comerciales, como: alginato de sodio y carboximetil celulosa, además se decidió estudiar el hidrocoloide procedente del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) con estos hidrogeles comerciales no solo por su origen o naturaleza química, sino por su estructura (ramificación) variada que propician condiciones de estudio (sinergismo reológico) y su interés por el uso común.

En tal sentido, se tienen los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las propiedades reológicas de las soluciones acuosas del hidrocoloide de la cianobacteria Nostoc (*Nostoc sphaericum*) con hidrocoloides comerciales, en función de la concentración y temperatura.



1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características viscoelásticas (módulo elástico G' y módulo viscoso G'') de las soluciones acuosas del hidrocoloide procedente del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) con hidrocoloides comerciales, en función de la concentración.
- Determinar la viscosidad, índice de consistencia “K” e índice de flujo “n” (comportamiento del flujo) de los sistemas mixtos del hidrocoloide del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) e hidrocoloides comerciales, en función de la concentración, y temperatura.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL NOSTOC (*Nostoc sphaericum*)

2.1.1. Fitología

2.1.1.1. Definición

El Nostoc sp es una cianobacteria o también conocida como alga verde azul; que se encuentra en las lagunas altas de los andes de Ancash, Junín, Cajamarca, Huánuco, Cusco y Puno; departamentos que forman parte de la sierra peruana. Esta particular cianobacteria es capaz de fijar nitrógeno y forma colonias gelatinosas coriáceas de forma esférica, que pueden medir entre 0.3 cm y 5 cm de diámetro. Estas colonias tienen un color que varía entre verde oliva, pardo verdoso o amarillento y están envueltas por una capa externa firme. Las colonias coexisten principalmente en hábitats de gran altitud, como el altiplano andino, donde flotan libremente en la superficie de lagos, estanques y condiciones extremadamente húmedas. (Reháková *et al.*, 2007; Gonzáles, 2006).

Aldave. (1989) menciona que en Perú hay distintas variedades del género Nostoc como:

- *Nostoc sphaericum*
- *Nostoc commune*
- *Nostoc pruniforme*
- *Nostoc parmelioides*



- *Nostoc verrucosum*.

Según Ponce (2014), el Nostoc (*Nostoc sphaericum*) es una colonia de cianobacterias que se encuentra en agua dulce y es conocida por diferentes nombres por los pobladores andinos de distintos países. En Sudamérica, se le conoce también por nombres como cushuro, murmunta, llullucha, llayta, o crespito. Esta colonia de cianobacterias es conocida desde Centroamérica hasta Brasil y aprovechado como alimento por los países de Perú y Bolivia principalmente.

2.1.1.2. Habidad y reproducción

El Nostoc (*Nostoc sphaericum*) es un organismo cosmopolita que prospera en diversos medios acuáticos, sobre rocas y suelos húmedos. Puede encontrarse en altitudes superiores a los 3.000 metros sobre el nivel del mar, donde existen lagunas de agua pura y clara. Estas lagunas son ricas en nitrógeno, lo que favorece el crecimiento de las algas, que crecen especialmente durante la estación lluviosa. La reproducción la llevan a cabo mediante hormosporas, también conocidas como heteroquistes, formando colonias esféricas y gelatinosas que flotan libremente en los bordes de estos ambientes, así como en los departamentos de Ancash, Junín, Cajamarca, Huánuco, Cusco y Puno (González, 2006).



2.1.1.3. Clasificación taxonómica

Según National Center for Biotechnology Information (2024), la clasificación taxonómica para las especies andinas es:

Dominio : Bacteria

Filo : Cyanobacteria.

Clase : Cyanophyceae.

Orden : Nostocales.

Familia : Nostocaceae.

Género : Nostoc.

Especie : *Nostoc sphaericum*

2.1.2. Composición bromatológica

Tabla 1

Composición química nutricional del Nostoc (Nostoc sphaericum)

Composición química nutricional	Promedio %
Proteína	30
Carbohidratos	50
Lípidos	17
Polisacáridos	
Ácido galacturónico y Ácido glucónico	30
Ramosa	10
Galactosa y glucosa	35

Nota. En la tabla se detalla los datos de la composición química nutricional del *Nostoc sphaericum* en base seca, tomado de González (2006).



2.1.3. Consumo y potencialidades del Nostoc (*Nostoc sphaericum*)

Esta alga, es consumida en los andes de Bolivia, Perú y Ecuador; debido a las bondades nutricionales que ésta posee (ver Tabla 1) y encontrarse con mucha facilidad en las zonas frías. Se trata de un suplemento nutricional barato que está disponible en estos países andinos y que desde hace siglos ha demostrado ser beneficioso, debido a la creciente demanda mundial de alimentos. (Ponce, 2014). Además, se han determinado sus propiedades medicinales, entre las principales; evitar la presencia del colesterol malo (Rasmussen *et al.*, 2009).

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).

Estudios realizados por De Philips (2000), sobre distintas cianobacterias muestran que esta alga tiene la capacidad de producir gran cantidad de carbohidratos en forma de capa mucilaginosa e intracelularmente como glicógeno. Así mismo, Campos (2010), menciona que dicho polisacárido extracelular de estos organismos, es un complejo de alto peso molecular con propiedades reológicas.

(Hori *et al.*, 1992), determinaron que el alga *Nostoc commune* presentaba un elevado volumen de sedimentación en agua y absorbía aditivos colorantes. Por ello sugieren que esta alga puede tener un valor nutricional significativo como fuente de fibra dietética y como aditivo viscoso en la preparación de productos alimenticios.



Jurado *et al.* (2014), estudió las propiedades fisicoquímicas del *Nostoc sphaericum* y *Nostoc commune* recolectadas en Ancash, Pachacamac, Junín y Cajamarca; donde indica que los parámetros fisicoquímicos tales como pH, viscosidad y punto de gelificación demostraron que el *N. sphaericum* presentó mejores valores que el *Nostoc commune*. Así también, Lagarto *et al.*, (1997) extrajo y caracterizó el polisacárido de *Nostoc sphaericum*, recomendando su aplicación como aditivo viscosante alimentario.

2.2. LOS HIDROCOLOIDES

Los hidrocoloides o gomas son un grupo diverso de polímeros de cadena larga que se caracterizan por formar dispersiones o geles viscosos cuando se dispersan en agua. Debido a su gran cantidad de grupos hidroxilo, su afinidad para unirse a moléculas de agua aumenta significativamente, lo que los convierte en sustancias hidrofílicas (Milani y Maleki, 2012).

Los hidrocoloides son polisacáridos de gran peso molecular que pueden modificar las propiedades reológicas del medio, al formar conexiones con otras moléculas adicionales y actuar como gelificante, estabilizante; entre otras propiedades (Badui, 2006).

Dependiendo de su composición y del contenido de sustituyentes, la conformación que adoptan los polisacáridos afecta a las características funcionales de estos compuestos en solución. Las dos conformaciones primordiales en suspensión son la helicoidal y la irregular, siendo los enlaces de hidrógeno el principal medio de interacción. (Silva, 2010).



2.2.1. Hidrocoloides utilizados en la industria alimentaria

Gracias a su amplia disponibilidad, variedad de características físicas y químicas, buenas características organolépticas, ausencia de toxicidad y bajo coste, los polisacáridos se utilizan en la alimentación. Los almidones, los derivados de la celulosa y las gomas (vegetales, derivadas de algas y microorganismos) son aditivos alimentarios de uso frecuente. Los hidrocoloides se utilizan como aditivos alimentarios para mejorar o regular determinadas propiedades de los alimentos procesados y, en determinadas situaciones, como materiales no energéticos (acalórico) para reducir el contenido de calorías y la densidad de determinados alimentos. En cambio, el almidón nativo y la gelatina se consideran ingredientes (Silva, 2010).

Las gomas naturales se clasifican de diversas maneras, las más frecuentes se basan en su lugar de origen, su composición química o características generales (BeMiller, 2001).

Beltran (2013) clasifica a los hidrocoloides de mayor interés industrial por categorías, las que se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2*Hidrocoloides y gomas de interés industrial*

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

Nota. Datos extraídos de Beltran (2013).

2.2.2. Propiedades físicas, químicas y funcionalidad

La importancia y necesidad de los hidrocoloides por parte de la industria alimentaria y otras industrias, se basa en las propiedades físicas, químicas y funcionales que estas poseen, mientras que parte del valor añadido se debe a las mejoras organolépticas (Malone *et al.*, 2003 a y b).



Los hidrocoloides tienen la capacidad de incrementar la viscosidad, formar geles ocasionalmente y tener cierto grado de solubilidad en agua. Mejoran y estabilizan la textura, evitan la cristalización (azúcar y hielo), estabilizan emulsiones y espumas, mejoran el recubrimiento con azúcar (reduciendo la pegajosidad) de diversos productos pastelería y encapsulan sabores, entre otros fines (Fennema, 2010).

La estructura espacial de las moléculas y su estado de asociación tienen una relación directa con estas características. Los principales factores que intervienen son los siguientes: composición del medio (agua, otras moléculas presentes, pH y fuerza iónica), modificaciones del medio por medios químicos y físicos (Linden y Lorient, 1996); y son el resultado de las interacciones intermoleculares del polisacárido con las moléculas de agua del medio, así como con las moléculas de su entorno (Díaz *et al.*, 2004).

2.2.3. Estructura molecular de los hidrocoloides

La estructura de los hidrocoloides es uno de los factores que establecen la cantidad de interacciones que se pueden desarrollar entre la cadena del polisacárido y las moléculas adyacentes a él (Medina, 2005).

La dependencia de las propiedades físicas, químicas y reológicas de los hidrocoloides de una estructura molecular determinada es uno de los elementos más importantes de su comportamiento. El grado de ramificación y la estructura lineal o ramificada dictan la capacidad del polisacárido para retener agua, lo que a su vez determina la textura y las propiedades reológicas que imparte (Cubero *et al.*, 2002).



La estructura lineal está formada por moléculas de hidratos de carbono enlazadas en cadena con un gran volumen hidrodinámico y la capacidad de alterar drásticamente la viscosidad. Cuando las moléculas están en reposo, establecen un estado de equilibrio sostenido por conexiones intermoleculares débiles. Cuando se aplica una fuerza de cizallamiento, estos contactos se rompen y las moléculas suelen mostrar un comportamiento fluido pseudoplástico. Por el contrario, las cadenas laterales que pueden alcanzar pesos moleculares elevados y adherirse a patrones de sustitución se encuentran en la estructura altamente ramificada. En comparación con su peso molecular, tienen un radio de rotación minúsculo y una tendencia a enrollarse sobre sí mismas en conformaciones compactas que ocupan poco espacio en solución. Esto establece un límite a la alteración de la viscosidad y las características reológicas (Silva, 2010).

Las propiedades funcionales desarrolladas por los hidrocoloides son debidas a las interacciones que establecen con su entorno, el cual puede estar constituido por moléculas de agua, iones u otras macromoléculas. Estas interacciones se generan mediante enlaces de hidrogeno, enlaces iónicos o fuerzas de Van der-Waals, predominando en la mayoría, los enlaces de hidrógeno (Dea, 1993).

Para comprender a profundidad el comportamiento de los hidrocoloides, se examinan sus características estructurales, centrándose en las interacciones que surgen con el disolvente. El aumento de la viscosidad, la estabilidad, la capacidad de suspensión, la acción emulsionante y la gelificación son algunas de las propiedades principales (Uruakpa y Arntfield, 2004).



2.2.4. Extracción de hidrocoloides

Existen diferentes métodos de extracción de un hidrocoloide, y cada una debe tener en cuenta el tipo de materia prima que se va a utilizar, el tipo de hidrocoloide, la composición de la materia prima y la fuente (vegetal, algal o microbiana). Así Yupanqui y Torres (2018) mencionan que en estos procesos 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.

Uno de los métodos más antiguos y convencionales de extracción de hidrocoloides es la precipitación alcohólica. Esta técnica puede ser utilizado con cualquier tipo de hidrocoloide, ya que el disolvente elegido es el alcohol isopropílico, que deshidrata la molécula del hidrocoloide y provoca su coagulación. Un inconveniente podría ser que, si bien el alcohol puede pasar por un proceso de destilación para recuperarlo, este método indica un mayor coste si se desea extraer una forma particular de hidrocoloide para una aplicación concreta. (Whistler y BeMiller, 1997).

Para desarrollar un bioproceso industrial económico, es importante comprender todos los fenómenos fisicoquímicos que ocurren durante los procesos de ultrafiltración tangencial para obtener el mejor rendimiento en términos de: altas tasas de transferencia de masa, separación y flujo, transmisión y capacidad



de la biomolécula para purificar (Baruah *et al.*, 2005; Charcosset, 2006; Rickman *et al.*, 2012). Sobre esa base, según el ejemplo de los polisacáridos comerciales más importantes como el xantano, el curdlán, la pectina, la goma guar o el carragenano, la extracción industrial a gran escala más barata es definitivamente la precipitación alcohólica (Bixler y Porse 2011; Delattre *et al.*, 2009, 2011; Pierre *et al.*, 2014).

2.3. HIDROCOLOIDES OBJETO DE ESTUDIO

2.3.1. Carboximetilcelulosa (CMC)

2.3.1.1. Descripción y origen

El CMC, un polímero lineal aniónico, se produce regenerando la celulosa con monocloroacetato de sodio o ácido hidroacético. Es un polímero aniónico que se disuelve en agua y posee buenas cualidades estabilizadoras debido a su capacidad para generar soluciones muy viscosas. Fabricado como sal sódica, su cadena está formada por residuos de D-glucosa unidos por enlaces β -1,4 (Yasar *et al.*, 2007).

2.3.1.2. Propiedades físicas y químicas

Entre las características de los éteres de celulosa se encuentran su viscosidad en solución, compatibilidad, grado de sustitución (DS), naturaleza química del sustituyente, pureza, características reológicas y solubilidad. El tipo de sustituyente determina en gran medida propiedades como la actividad superficial, la estabilidad térmica, la estabilidad coloidal y la compatibilidad salina (Badui, 2006).



Luque (2008), indica que la carboximetilcelulosa es hidrosoluble tanto a baja y alta temperatura, por otro lado, al igual que todos los polímeros hidrosolubles, la CMC tienden a la aglomeración de sus partículas y formar grumos cuando es diluida en agua.

Las soluciones de CMC no cambian con el calentamiento, pero sí presentan variaciones de viscosidad, la cual disminuye al incrementar de la temperatura; Por tanto, en condiciones normales, el efecto de la temperatura sobre la viscosidad es reversible, Además, afirman que las soluciones de CMC mantienen una viscosidad constante y su máxima estabilidad se da en un rango de pH que va de 6 a 9.4, por debajo de pH 4 la CMC se transforma en ácido carboximetilcelulósico, el cual flocula, dando viscosidades superiores, por encima de pH 10, la viscosidad disminuye significativamente (Cubero *et al.*, 2002).

2.3.1.3. Reología y características de la solución

Mamdouh (1996), menciona que, si se realiza disoluciones entre el 1 y el 5 %, se puede comprobar que, a bajas concentraciones, la CMC se comporta como un fluido newtoniano; a grandes concentraciones, actúa como un fluido pseudoplástico, Tixotrópico y Viscoelástico.

2.3.1.4. Aplicaciones

La CMC, se usa comúnmente como aglutinante, espesante, estabilizador, gelificante, y modificador de las propiedades de flujo de soluciones o suspensiones acuosas. Estas propiedades funcionales son de interés para la industria alimentaria y puede utilizarse en productos como; tortillas de maíz por su capacidad de retener agua, en la elaboración de



jugos y néctares, rellenos de tartas, productos de panificación, como sustituto de grasa, en productos lácteos (helados), en salsas, aderezos y productos de tomate (Dziezak, 1991; Bingham *et al.*, 1979; Hoefler, 2004; Rankin y Bodyfelt, 2001).

2.3.2. Alginato de sodio

2.3.2.1. Descripción y origen

El alginato de sodio es un biopolímero lineal compuesto por dos monosacáridos de ácido urónico: ácido manurónico (bloque M) y ácido gulurónico (bloque G) (Fu, y otros, 2010). Los alginatos constituyen hasta el 40% del peso seco de las algas marinas, lo que los convierte en el polisacárido más frecuente que se encuentra en ellas. Sirven como elementos estructurales de la pared celular de las algas, aportando principalmente rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad para retener agua (Hernández *et al.*, 2005).

Se extraen principalmente de tres especies de algas marrones, incluidas *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*. En su estado natural son una combinación de sales de los cationes que suelen estar presentes en el agua de mar, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^{+} (Yabur *et al.*, 2007).

2.3.2.2. Propiedades físicas y químicas

Estas propiedades de los alginatos se basan en cuatro principalmente.



La primera; se refiere a su capacidad para espesar soluciones disolviéndose en agua y aumentando la viscosidad de la mezcla resultante (Funami *et al.*, 2009).

La segunda; a su capacidad de retener agua. Pueden crear retículas poliméricas tridimensionales con grupos hidrófilos capaces de retener agua bajo presión y absorber grandes cantidades de ésta: de diez a miles de veces su propio peso (Hernández *et al.*, 2005).

Por otra parte; la solubilidad de los alginatos en el agua esta limitada y determinada por características críticas. Dado que los residuos de ácido urónico deben cargarse electrostáticamente, el pH del medio es crucial. Una disminución repentina puede causar la precipitación del ácido algínico (Draget, 2000). Además, la solubilidad de los alginatos estaría limitada por la fuerza ionica del medio y la existencia de iones gelificantes en el disolvente (Pawar y Edgar, 2012).

La tercera; se debe a su capacidad para crear un gel mediante una secuencia de procesos químicos de intercambio iónico que crean enlaces entre cadenas cercanas de polímeros de alginato; concretamente, los iones de sodio se intercambian por cationes divalentes o trivalentes. La cuarta propiedad se basa en su capacidad de formar películas (Funami *et al.*, 2009).

2.3.2.3. Reología y características de la solución

La formación del gel inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna, donde el ion de calcio alcanza a la cadena polimérica para producir un reordenamiento estructural



en el espacio, resultando un material sólido con las características de un gel. El grado de gelificación depende de la hidratación del alginato, la concentración del ion calcio y la proporción de ácido gúlico.

Cuando se combinan una fuente externa o interna de calcio y una solución de alginato de sodio, el ion calcio hace contacto con la cadena polimérica y provoca un reordenamiento estructural en el espacio, que se solidifica en una sustancia parecida al gel. La cantidad de ácido gúlico, la concentración de iones de calcio y la hidratación del alginato influyen en el grado de gelificación (Funami *et al.*, 2009). Es así, que las propiedades estructurales y mecánicas de la solución de alginato se pueden controlar regulando la fuerza iónica del medio de gelificación o la fuente de calcio (SC Chen *et al.*, 2004 y M. George *et al.*, 2006).

(Belalia y Djelali 2014), indican que las suspensiones acuosas de alginato de sodio presentan las características de un flujo no newtoniano de adelgazamiento por cizallamiento. Además, los experimentos con concentraciones de alginato de sodio (20g/L), en régimen oscilatorio muestra que el polímero exhibe un comportamiento viscoelástico típico.

2.3.2.4. Aplicaciones

Gracias a las cualidades mencionadas, el alginato sódico se utiliza en diversas aplicaciones alimentarias. Se emplean en la elaboración de helados como agentes estabilizadores, ya que inhiben la formación de cristales de hielo; como espesante es útil en salsas, jarabes, coberturas para helados y rellenos de pasteles; como emulgentes en mezclas agua-aceite



en la elaboración de mayonesa y aderezos para ensaladas; además en el desarrollo de películas y recubrimientos (Avendaño *et al.*, 2013).

2.4. REOLOGÍA

La reología es la ciencia de la deformación y el flujo de la materia. Es una rama de la física y la fisicoquímica ya que las variables más importantes provienen del campo de la mecánica: fuerzas, deflexiones y velocidad. El término “reología” tiene su origen del griego: “Rhein” que significa “fluir”. Así, en sentido literal, la reología es, por tanto, la “ciencia del flujo”. Por otra parte, las investigaciones reológicas no solo permiten comprender sobre el comportamiento de flujo de los líquidos, sino también sobre el comportamiento de deformación de los sólidos (Mezger, 2014).

2.4.1. Reología de los alimentos

La ciencia del flujo y la deformación de la materia prima, los productos intermedios y terminados se conoce como la reología de los alimentos. Al estudiar la deformación y el flujo de los materiales, nos permite acceder a información cualitativa y cuantitativa para caracterizar los parámetros reológicos como viscosidad, propiedades elásticas y viscoelásticas. La ciencia de la reología tiene varias aplicaciones en las áreas de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos; ya que permiten dilucidar la estructura o composición de los alimentos y analizar los cambios estructurales que ocurren durante un proceso (Díaz, 2018; Alvarado, 1996).

2.4.2. Clasificación reológica de los fluidos

El procesamiento de los alimentos conlleva a que tanto los alimentos sólidos, semi sólidos y alimentos líquidos se sometan a distintos esfuerzos, los que



generan cambios en su comportamiento reológico en cada etapa del proceso. Además, a lo largo de los procesos de masticación e ingestión, los alimentos se descomponen en una forma más adecuada para su deglución y posterior digestión, al sufrir una serie de deformaciones y flujos (Díaz, 2018).

Así; los alimentos reológicamente se clasifican según sus propiedades físicas, tales como viscosidad y fluidez que caracterizan a alimentos de estructura líquida y débil, en cambio la elasticidad se usa para clasificar a los alimentos más sólidos; estas estructuras viscosas y sólidas pueden ser descritos por distintos modelos matemáticos que ayudan a interpretar su comportamiento bajo condiciones deseadas. Debido a la complejidad y el alcance del tema, los investigadores realizaron una clasificación inicial entre los alimentos que se ajustan a la ley de Newton (Newtonianos) y de los que no obedecen a esta ley (no newtonianos), analizando el comportamiento reológico obedezcan o no la ley de viscosidad de Newton (Barbosa-Cánovas *et al.*, 1993; Cárcamo, 2005).

En función al comportamiento reológico, Muller en 1973 clasifica a los fluidos de la siguiente manera:

2.4.2.1. Fluidos newtonianos

A excepción de los gases, el fluido newtoniano es isótropo, incompresible, carece de cualidades elásticas y describe un escenario de flujo ideal (Muller, 1973). El esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad (tasa de deformación) están relacionados linealmente. Esto indica que la viscosidad η permanece constante y no se ve afectada por la tasa de deformación, siendo la viscosidad η la constante de proporcionalidad,

también llamada viscosidad dinámica o simplemente viscosidad (Díaz, 2018; Ramírez, 2006).

La ley de Newton puede utilizarse para describir el comportamiento reológico de los fluidos newtonianos.

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

τ = esfuerzo de corte (Pa)

η = viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

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

En general, para que un fluido muestre un comportamiento newtoniano, es necesaria una estructura discontinua en las suspensiones macromoleculares. Además, las partículas deben actuar de manera rígida y abstenerse de interactuar entre sí. En este contexto, se clasifican fluidos como el agua, el té, el café, la cerveza, los refrescos, los zumos industriales, la leche, los aceites comestibles, el almíbar de azúcar, las cremas con un contenido específico de grasa, el aceite de oliva, los vinos y la miel (Bourne, 2002; Perry y Chilton, 1982; Qixin y Daubert, 2013).

2.4.2.2. Fluidos no newtonianos

El término "fluido no newtoniano" se refiere a materiales cuya viscosidad aparente varía en función de la velocidad de deformación y la duración del esfuerzo cortante aplicado. Estos fluidos se definen estructuralmente por tener dispersiones acuosas internas, sólidos suspendidos en la matriz o emulsiones líquidas que forman asociaciones

estables (Quintáns, 2008; Fischer y Windhab, 2011). La relación entre la tensión de corte y la velocidad de corte (tasa de deformación) en fluidos no newtonianos, no es lineal y puede clasificarse a su vez como dependiente o independiente del tiempo (Ramírez, 2006).

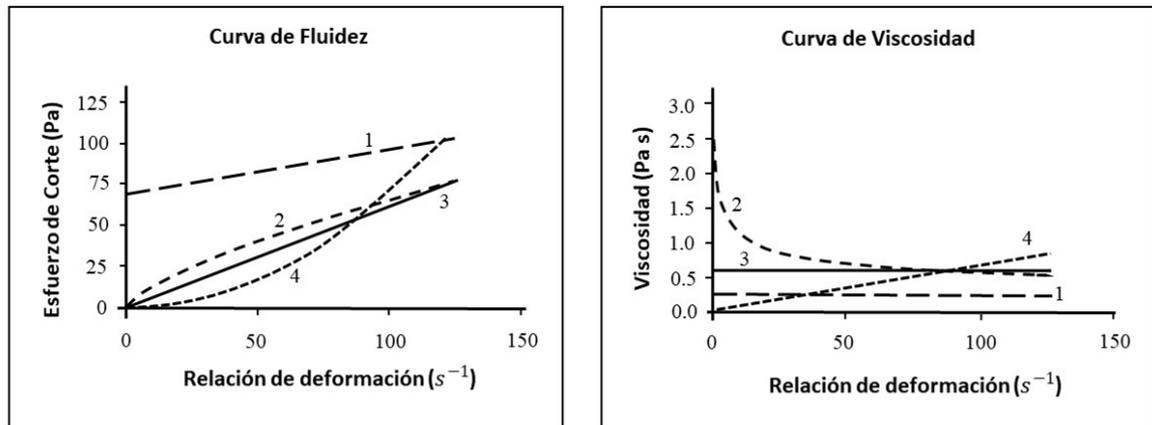
- **Independientes del tiempo**

Para un fluido independiente del tiempo, la proporcionalidad entre la velocidad de corte y la tensión cortante no existe; por lo cual, cuando la temperatura y la composición se mantienen constantes, la viscosidad varía en toda su extensión; dependiendo únicamente del esfuerzo cortante o de la velocidad de corte. Por ende, se le conoce como viscosidad aparente (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005).

El modelo matemático para este tipo de fluido establece que la viscosidad aparente es independiente del tiempo aplicado del esfuerzo de cortante, porque los cambios que provoca esta tensión se desarrollan de forma instantánea (Aguado *et al.*, 1999). Muestran un comportamiento común, con curvas representativas en un diagrama de esfuerzo-deformación la cual se puede apreciar en la Figura 1 (Hermida, 2000; Alvarado, 1996).

Figura 1

Viscosidad aparente de fluidos independientes del tiempo.



Nota. La figura describe algunos de los fluidos reológicos más frecuentes: 1 fluido plástico, 2 fluido pseudoplástico, 3 fluido newtoniano y 4 fluido dilatante; donde la viscosidad es estructural y presenta un límite de fluencia. Extraído de Cárcamo (2005).

a) Fluidos pseudoplásticos

La viscosidad de los fluidos pseudoplásticos se distinguen por disminuir a medida que la velocidad corte o tasa de deformación incrementa. La causa de este comportamiento al flujo es que las partículas en suspensión se deforman y/o se reordenan continuamente a medida que aumenta el gradiente de velocidad, lo que origina una baja resistencia al flujo y, por ende, una menor viscosidad (Steffe, 1996; Sharma, 2000).

La ley de potencia de Ostwald-de Waele, es un modelo matemático frecuentemente empleado para caracterizar este tipo de comportamiento:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

τ : esfuerzo de corte (Pa)

K: índice de consistencia (Pa. s^n)



$\dot{\gamma}$: tasa de deformación (s^{-1})

n: índice de flujo (adimensional).

La consistencia del producto viene indicada por el índice de consistencia K, mientras que el índice de fluidez n indica la desviación del comportamiento de flujo respecto al newtoniano.

El modelo matemático de Herschel-Bulkley es otra relación utilizada habitualmente. Se expresa añadiendo un término a la ley de potencia que corresponde al umbral de fluencia (τ_o) (Sherman, 1970).

$$\tau = K \dot{\gamma}^n + \tau_o \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

τ = esfuerzo cortante (Pa)

τ_o = Umbral de fluencia

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

n = índice de fluides (adimensional)

K = índice de consistencia

b) Fluidos dilatantes

Este tipo de comportamiento se caracteriza por un aumento de la viscosidad al incrementar la tasa de deformación, opuesto al comportamiento pseudoplástico. La dilatancia se explica por el hecho de que, a bajas velocidades de deformación, la parte líquida rellena los espacios y lubrica el movimiento, mientras que las partículas sólidas de diversos tamaños y formas se empaquetan estrechamente, resultando en



una viscosidad débil. Las partículas largas y flexibles pueden extenderse a medida que aumenta la velocidad de corte, disolviéndose los sólidos empaquetados y aumentando la fracción de espacios entre las partículas. La viscosidad aparente incrementa cuando no hay suficiente líquido para lubricar la fricción de las partículas entre sí. El desarrollo o la reorganización de la estructura de la muestra se refleja entonces en la dilatación, que provoca un incremento de la resistencia a una fuerza aplicada (Rha, 1978).

Los mismos modelos matemáticos que describen el comportamiento pseudoplástico expuesto anteriormente, también explican este tipo de comportamiento.

c) **Fluidos plásticos de Bingham**

Los fluidos plásticos de Bingham actúan como un sólido hasta que se elimina una tensión cortante límite determinado a la que se conoce como el umbral de fluencia. Cuando el esfuerzo de corte supera a este valor, el material comienza a fluir (Costa, 2006). Por otra parte, dependiendo de dónde se encuentre su límite elástico, los fluidos plásticos presentan una proporcionalidad diferente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Si se confirma la existencia de la proporcionalidad, se denominan como fluidos plásticos de Bingham, caso contrario se denomina solo plásticos (Ramírez, 2006).

- **Dependientes del tiempo**

Ciertos fluidos, como los de comportamiento tixotrópico y reopéctico, presentan una viscosidad aparente que depende tanto de la tasa



de deformación como del tiempo que dura la deformación (Hermida, 2000),

a) Fluidos tixotrópicos

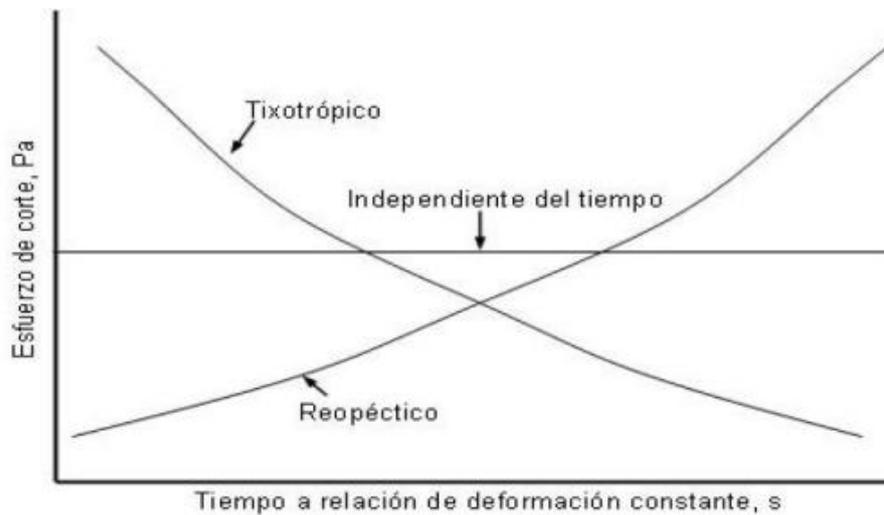
Debido al cambio estructural continuo del material, a veces irreversible, su viscosidad aparente y su esfuerzo de corte disminuyen con el tiempo mientras se mantiene una tasa de deformación constante. La tixotropía denota una desintegración o reorganización persistente de la estructura, disminuyendo la resistencia al flujo (Rha, 1978). Debido a estas modificaciones, la viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de deformación, y el tiempo tiene un efecto significativo en la velocidad de deformación. Dejando reposar la estructura durante un tiempo, se puede dar la recuperación de su forma inicial (Ramírez, 2006).

b) Fluidos reopéticos

Un fluido reopético es aquel que cuando se le aplica un esfuerzo cortante se crean enlaces intermoleculares, lo que provoca un incremento de la viscosidad. Este comportamiento se produce a lo largo del tiempo mientras el esfuerzo cortante permanece constante (Ramírez, 2006).

Figura 2

Representación gráfica de fluidos dependientes del tiempo



Nota. La figura representa las gráficas de los fluidos dependientes del tiempo. Tomado de Steffe (1996).

- **Fluidos viscoelásticos**

Este tipo de fluidos tienen propiedades tanto viscosas como elásticas y muestran una recuperación elástica de las deformaciones inducidas por el flujo. La eliminación de la tensión permite recuperar parte de la deformación (Geankoplis, 2009).

Gran parte de los materiales tienen un comportamiento denominado viscoelástico, que se sitúa entre el de un líquido puro y el de un sólido puro. Cuando un material fluye, parte de su energía de deformación se libera, mientras que otra parte de la energía se almacena y se utiliza para restaurar parcialmente la forma original (Silva, 2010); además, bajo el impacto de la tensión, la red tridimensional elástica se colapsa. Una mayor elasticidad corresponde a la integridad y resistencia de la red, mientras que un mayor componente viscoso indica la facilidad de desintegración de la estructura (Muller, 1973).



Distintos productos alimenticios muestran características viscoelásticas de carácter semisólido o de gel como: gel de almidón y gelatina, helados, fideo cocinado, masa de harina y otros (Muller, 1973).

2.4.3. Análisis reológico

El experimento reológico oscilatorio es una de las técnicas más utilizadas para medir la viscoelasticidad de un material como respuesta a una fuerza aplicada (Mandala, 2012). Los experimentos de transición, como los ensayos oscilatorios y de fluencia, generan datos que pueden cuantificar la viscoelasticidad. Una muestra se somete a deformaciones de pequeña amplitud que cambian armónicamente (a menudo sinusoidales) en un campo de cizalladura básico mediante la técnica oscilatoria. El ensayo no es destructivo y permite caracterizar el comportamiento viscoelástico. La oscilación también puede emplearse para identificar las alteraciones estructurales de la muestra (Rao y Steffe, 1992; Steffe, 1996).

2.4.3.1. Barrido de deformación

El barrido de deformación o, más sucintamente, barrido de amplitud de deformación por cizallamiento puede determinar la deformación que daña la estructura (límite viscoelástico lineal). En este caso, el ensayo puede determinar la región viscoelástico lineal (LVE), rigidez, punto de fluencia, estabilidad y resistencia estructural. Para ello, se emplean las relaciones de módulo G' y G'' . La energía de deformación almacenada por la muestra durante un proceso de cizallamiento, se conoce como módulo elástico, o módulo G' . Esta medida representa el comportamiento elástico del material analizado. La cantidad de energía



disipada o perdida durante cada ciclo de cizallamiento se conoce como módulo G'' , también conocido como módulo viscoso. El comportamiento viscoso de esa sustancia es representado por este módulo. Los ciclos de oscilación de la barra de medición tienen una duración fija (frecuencia); la única variable que aumenta constantemente es la amplitud (Mezger, 2014).

La estructura de un material se caracteriza como sólido viscoelástico con actividad mayoritariamente elástica cuando $G' > G''$. Una estructura se clasifica como fluido viscoelástico cuando $G'' > G'$ y presenta un comportamiento principalmente viscoso. Las cualidades de un sólido o un fluido puro, respectivamente, aumentan con la diferencia de los módulos del fluido (Huang *et al.*, 2011; Welti-Chanes y Aguilera, 2002).

Los aumentos de G' y G'' y su diferencia, hacen que los fluidos sean más viscoelásticos, lo que significa que pueden almacenar más energía durante deformaciones bajas, liberarla a lo largo de la deformación y volver a su estructuración inicial sin cambios. La constante del factor de pérdida, puede calcularse como sigue utilizando el análisis de barrido de deformación: $(\tan \delta)$ (Norton *et al.*, 2010).

$$\tan \delta = G'' / G' \dots\dots\dots(4)$$

Donde; $\tan \delta = 0$ representa una deformación elástica ideal, mientras que $\tan \delta = \infty$ representa un sistema viscoso ideal. El margen de deformación aplicada en el que $\tan \delta$ permanece constante se conoce como rango viscoelástico lineal, o LVE para la viscoelasticidad lineal. Para determinar el porcentaje de deformación al que deben realizarse los ensayos de barrido de frecuencia, debe determinarse el LVE. La selección



de este % garantiza que el barrido de frecuencia se realice únicamente dentro del intervalo LVE. En consecuencia, las modificaciones de la estructura del material dependerán únicamente de los tiempos experimentales que se empleen a lo largo de los barridos de frecuencia (Ospina, 2016).

2.4.3.2. Barrido de frecuencia

Los ensayos de barrido de frecuencia, determinan los módulos dinámicos (G' y G'') en una amplia gama de frecuencias, aplicando al material una deformación sinusoidal de amplitud fija (% de deformación) y a una temperatura constante; por lo que puede utilizarse para examinar la viscoelasticidad de un material. Este procedimiento oscilatorio se limita a observar el comportamiento de la estabilidad en función de la frecuencia aplicada, ya que la frecuencia incrementa en tanto que la deformación de entrada permanece constante, lo que garantiza que la prueba se realiza en el intervalo LVE. Este análisis permite comparar las características únicas de diversos productos alimentarios o los efectos de diversos componentes sobre la viscoelasticidad (Steffe, 1996; Norton *et al.*, 2010).

Rao (2014), Menciona que los "geles fuertes" pueden identificarse a partir de los datos de barrido de frecuencia cuando el reordenamiento molecular dentro de la red es mínimo y en las escalas de tiempo examinadas; de modo que, G' es mayor que G'' en todo el rango de frecuencias y es esencialmente independiente de la frecuencia. Por otro lado, los "geles débiles" presentan una menor diferencia entre los valores de los módulos y una mayor dependencia de la frecuencia con los módulos

dinámicos, lo que indica la presencia de procesos de relajación incluso en escalas de menor tiempo.

Mediante el uso de esta técnica no destructiva, se pueden realizar mediciones sin causar daños estructurales a la muestra. Esto permite relacionar el daño estructural dinámico de la muestra con los parámetros reológicos dinámicos, que a su vez pueden relacionarse con las temperaturas de transición vítrea y la estructura molecular en un estado de equilibrio próximo al estado de reposo (Gunasekaran y Ak, 2000).

En comparación con las mediciones en estado estacionario, las pruebas oscilatorias son un método más fiable para caracterizar las propiedades viscoelásticas de los alimentos. Son un instrumento vital que se emplea cada vez más (Diaz, 2018).

2.4.3.3. Comportamiento de flujo o curva de fluidez

La curva de fluidez caracteriza el comportamiento de flujo de un material en un proceso de cizallamiento. Para ello se usan representaciones graficas en la que se muestra una relación entre la tasa de deformación y el esfuerzo de corte (figura 1). Dependiendo del tipo de material este diagrama muestra diferentes tendencias o curvaturas que pueden o no obedecer a la ley de Newton. Además, se puede mostrar otra representación de la viscosidad denominado curva de viscosidad en función de la tasa de deformación. Así, las investigaciones de la curva de fluidez proporcionan información sobre los tipos de comportamiento que muestra el flujo de un material (Kreith, 1999; Ospina, 2016).



La estructura de equilibrio en la mayoría de los alimentos multifásicos tiene una menor resistencia "interna" al flujo. Como resultado, la viscosidad disminuye en la zona de la Ley de Potencia con el aumento de las velocidades de deformación o la tensión aplicada, lo que corresponde a un comportamiento tixotrópico o pseudoplástico dependiendo de si la estructura se alcanza instantáneamente o requiere una cantidad específica de tiempo de cizallamiento (Diaz, 2018).

Los parámetros reológicos más básicos que denotan a un fluido no Newtoniano son dos: índice de consistencia (K) e índice de flujo (n); la primera corresponde a una descripción numérica de la consistencia del fluido; es decir, es una unidad de medida de la viscosidad que no es directamente proporcional a n. El fluido se vuelve más espeso o más viscoso a medida que k aumenta. La segunda corresponde al índice de fluidez (adimensional), este parámetro revela la desviación del comportamiento al flujo respecto al newtoniano. Donde: n = 1 corresponde a un fluido newtoniano; n > 1 revela un fluido dilatante y sí; n < 1, corresponde a un fluido pseudoplástico (Steffe, 1996; Barnes, 2001; Streblow y Muller, 2012).

En general, el modelo de Ostwald-de Waele puede describir total o parcialmente los fluidos.

$$\eta = K \dot{\gamma}^{n-1} \dots\dots\dots (5)$$

Dónde: n es el índice de flujo, K el índice de consistencia, η es la viscosidad aparente y $\dot{\gamma}$ representa a la velocidad de cizalla aplicada.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente proyecto de investigación experimental se ejecutó en los laboratorios de: Laboratorio de procesamiento de productos alimentarios y laboratorio de ingeniería de alimentos; de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional del Altiplano, del Departamento de Puno, Provincia y Distrito de Puno, situado a 3825 m.s.n.m.

3.2. MATERIA ORGÁNICA EN ESTUDIO

La materia prima utilizada es la cianobacteria *Nostoc (Nostoc sphaericum)* recolectado de la laguna de Pichacani, distrito de Nicasio, provincia de Lampa del departamento de Puno e hidrocoloides comerciales las cuales son CMC y alginato de sodio.

3.3. MATERIALES DE LABORATORIO Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales de laboratorio

Para la realización de este estudio se ocuparon los siguientes materiales:

- Vasos precipitados Pyrex de 50ml, 100 ml y 1000 ml marca Boeco.
- Probeta graduada de 100 ml marca Boeco Germany.
- Tubos de ensayo Pyrex.
- Pipetas volumétricas Pyrex.
- Espátula cuchara níquel 150 mm.
- Mortero.



- Malla de abertura de 5 cm y tela organza.

3.3.2. Equipos

Para la ejecución del presente estudio se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza analítica, marca METTLER- TOLEDO, modelo PB3002-S.
- Licuadora, marca Oster BLSTMG-T15 de 1.5 L.
- pH metro, marca JENWAY, modelo 3510.
- Hornilla eléctrica.
- Termómetro, Marca DIGITAL THERMOMETER.
- Liofilizadora, marca LIOTOP modelo L101.
- Balanza electrónica analítica ALC – 210, Marca ACCULAB - Sartorius group.
- Molino pulverizador J & J MD – JJ001
- Agitador magnético con termorregulación C-MAG HS 7, marca IKA.
- Reómetro modular compacto, marca Anton Paar (MCR 302, Anton Paar GmbH, Graz, Austria) equipado con un plato paralelo de 50 mm de diámetro (PP50).

3.3.3. Reactivos

- Alcohol de 96°, marca comercial.

3.3.4. Software

- RStudio.
- Anton Paar RheoCompass.
- Microsoft Excel 2019.

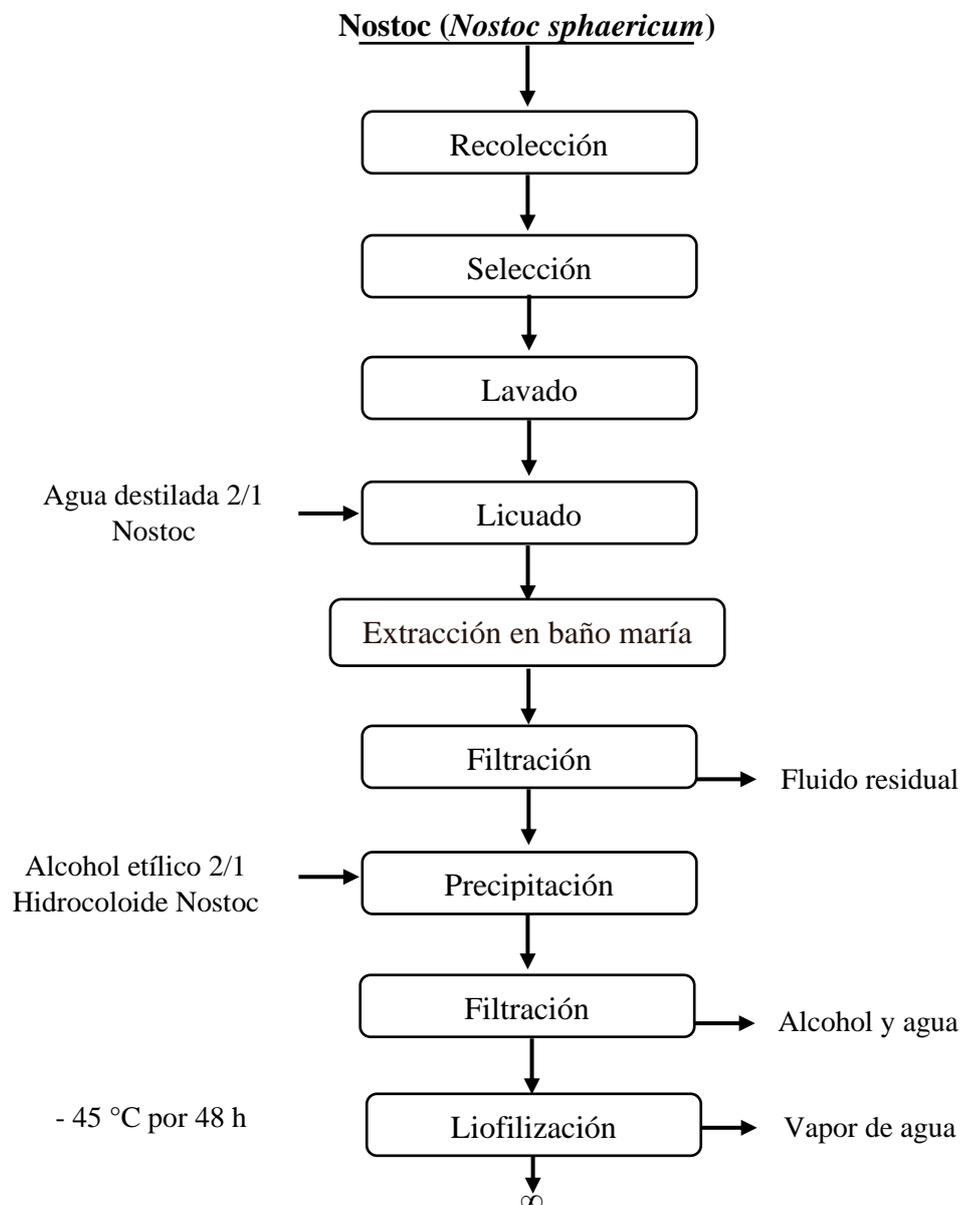
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

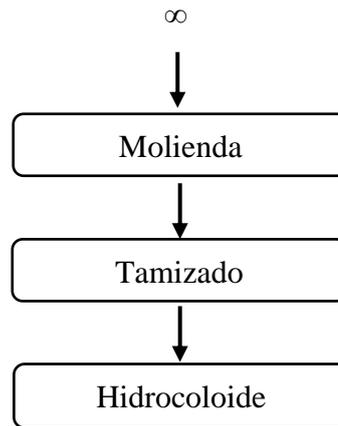
3.4.1. Diagrama de flujo para la extracción del hidrocoloide

El flujograma de operaciones para la extracción del hidrocoloide procedente del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) modificado por Roldan, (2015); se muestra a continuación.

Figura 3

Diagrama de flujo para la extracción del hidrocoloide del Nostoc.





Nota. La figura muestra el proceso de extracción de hidrocoloide del Nostoc por precipitación en alcohol. Extraído de Roldan (2015) con algunas modificaciones.

3.4.2. Descripción de obtención del hidrocoloide

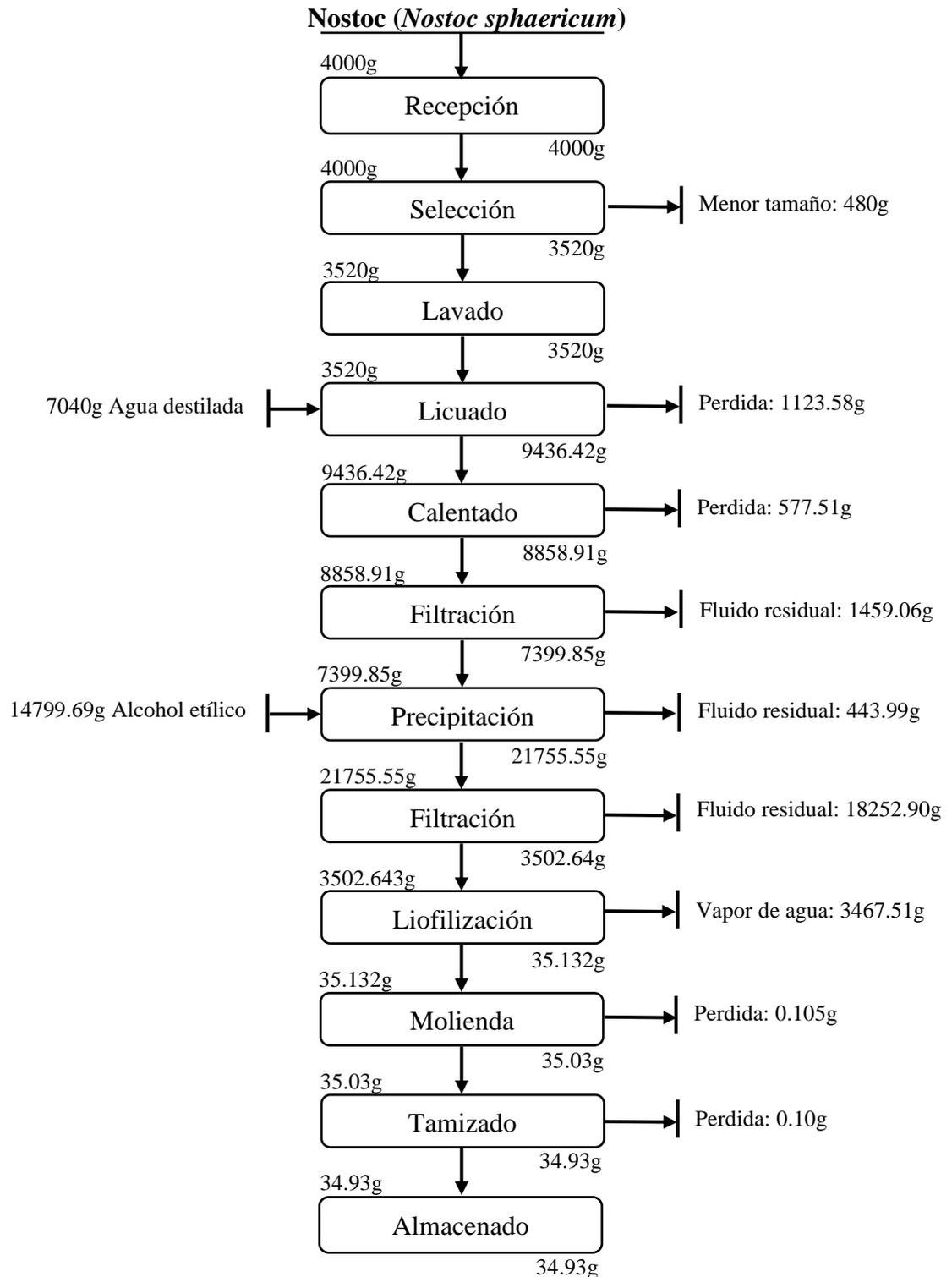
- a) **Recolección.** Se recolecto 4 Kg de Nostoc de las orillas de la laguna de Pichacani, distrito de Nicasio, provincia de Lampa del departamento de Puno; en época de lluvia.
- b) **Selección.** La selección se realizó por clasificación por malla de abertura de 0.5 cm, por lo que se obtuvo muestras de diámetro de Nostoc mayores a dicha medida.
- c) **Lavado.** Las muestras de Nostoc seleccionadas, se sometieron a un proceso de lavado con agua destilada.
- d) **Licuada.** El licuado del Nostoc se realizó en una proporción de 1:2 de alga fresca/agua destilada, hasta obtener una consistencia densa y homogénea.
- e) **Extracción en baño maría.** Se procedió a calentar el extracto del hidrocoloide en baño maría a una temperatura de 70 °C durante 30 minutos y agitando constantemente.
- f) **Filtrado.** Una vez realizado la extracción del hidrocoloide se procedió con el filtrado de la muestra usando una tela organza.



- g)** Precipitado. A la mezcla hidrocoloidal se le adicionó alcohol etílico de 96° a una proporción de 2:1, dos volúmenes de alcohol por uno de licuado de Nostoc.
- h)** Liofilización. El floculo resultante se traspasó a recipientes (bandeja) preparándolo para ser liofilizado en condiciones de temperatura a -45 °C y una presión de sublimación de 0,001 atm, por 48 horas.
- i)** Molienda. Luego de la liofilización, el producto se molió en un mortero manual; posterior a ello, se realizó el molido en un molino de anillos, el hidrocoloide pulverizado se almacenó en frascos de vidrio para su posterior análisis de composición química y estudio del comportamiento reológico con hidrocoloideos comerciales

Figura 4

Balance de materia del proceso de extracción de hidrocoloide del Nostoc (Nostoc sphaericum)





3.4.3. Análisis fisicoquímico del hidrocoloide Nostoc (*Nostoc sphaericum*)

El hidrocoloide del Nostoc se realizó los siguientes análisis:

- Determinación del contenido de humedad según el método AOAC 925.10.
- Cenizas del hidrocoloide según el método de la AOAC 923.03.
- Determinación de grasa según el método AOAC 920.85.
- Determinación de proteínas según el método AOAC 920.87.
- Determinación de carbohidratos.
- Determinación de fibra bruta según el método AOAC 978.10.

3.4.4. Comportamiento reológico

Para evaluar las interacciones sinérgicas en el comportamiento reológico entre el hidrocoloide Nostoc y las gomas comerciales (CMC, Alginato de sodio), se prepararon mezclas a concentraciones del 1.00%, 0.75%, 0.50%, 0.25% (p/p) (ver Anexo 13) siguiendo el método utilizado por Cengiz *et al.* (2013), con algunas modificaciones; siendo la concentración total al 1.00%.

Las mediciones se realizaron usando un reómetro modular compacto (MCR 302, Anton Paar, Austria) de configuración de plato-plato de 50 mm de diámetro (PP50) y un gap de 1000 μm .

3.4.4.1. Barrido de frecuencia

La evaluación de las propiedades viscoelásticas se realizó por medio de la prueba de barrido de frecuencia siguiendo el método propuesto por Jo *et al.* (2018), con algunas modificaciones.



Los hidrocoloides del Nostoc e hidrocoloides comerciales (CMC y alginato de sodio), se prepararon en agua destilada a concentraciones de 1.00%, 0.75%, 0.50%, 0.25% (p/p).

Se agitaron continuamente con un agitador magnético durante 1 h y a una temperatura de 25°C. Seguidamente la muestra gelificada se almaceno por 12 h para lograr la hidratación completa de los hidrocoloides.

El gel mezclado a dichas concentraciones se cargó en el reómetro y se dejó estabilizar durante 5 minutos a 25°C. Las pruebas de barrido de frecuencia se analizaron en condiciones de temperatura constante de 25°C, estas pruebas un rango de frecuencia de 0.63 a 62.83 rad/s y a una deformación constante del 1% dentro del rango viscoelástico lineal (RVL).

3.4.4.2. Comportamiento de flujo

La evaluación del comportamiento de flujo o también llamado curva de fluidez, se realizó siguiendo el método propuesto por Jo *et al.* (2018), con algunas modificaciones.

Los hidrocoloides del Nostoc e hidrocoloides comerciales (CMC y alginato de sodio), se prepararon en agua destilada a concentraciones de 1.00%, 0.75%, 0.50%, 0.25% (p/p).

Se agitaron continuamente con un agitador magnético durante 1 h y a una temperatura de 25°C. Seguidamente la muestra gelificada se almacenó por 12 h para lograr la hidratación completa de los hidrocoloides.



El gel obtenido se cargó sobre la placa del reómetro y se dejó estabilizar durante 5 minutos a 25°C. Las corridas de curva de fluidez se realizaron a temperaturas de 25°C, 50°C y 70°C; a un rango de cizalla del 0.1 – 100 1/s. Los datos obtenidos se ajustaron al conocido modelo de Ostwald-de Waele o ley de potencia ($\tau = K \dot{\gamma}^n$) que es usada ampliamente para describir las propiedades de flujo de líquidos no newtonianos.

3.4.5. Modelo estadístico

Los datos obtenidos del comportamiento de flujo (ver Anexo 3 y Anexo 4) se ajustaron al modelo reológico matemático de Ostwald-de Waele ($\tau = K \dot{\gamma}^n$) y se validó por el coeficiente de determinación.

Para el procesamiento estadístico de datos de los parámetros reológicos de las propiedades viscoelásticas G' y G'' (ver en el Anexo 3 y Anexo 4) y del comportamiento de flujo del índice de consistencia k , índice de flujo n y la viscosidad como se muestra en el Anexo 13; se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con 3 repeticiones. El análisis de la varianza (ANVA) se realizó con un nivel de confianza del 95%, seguido de la prueba Tukey con un nivel de significancia ($p < 0,05$). Para detectar diferencias significativas, los resultados se analizaron e interpretaron mediante el programa estadístico Rstudio.

En un diseño completamente al azar (DCA), los tratamientos se asignan aleatoriamente a las unidades experimentales. El modelo lineal para un DCA se expresa de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$



Donde:

Y_{ij} : es la respuesta observada para la j -ésima unidad experimental del i -ésimo tratamiento.

μ : es la media general.

T_i : es el efecto del i -ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} : es el término de error aleatorio asociado con la j -ésima unidad experimental del i -ésimo tratamiento.

En este modelo, los tratamientos (T_i) son las variables de estudio, y se pretende evaluar si existen diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la variable respuesta (k , n y η_{50}).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DEL HIDROCOLOIDE OBTENIDO DEL NOSTOC (*Nostoc sphaericum*)

Para el cumplimiento del primer y segundo objetivo, se realizó el análisis de la composición química del hidrocoloide obtenido del Nostoc (*Nostoc sphaericum*). En la Tabla 3 se presenta los resultados del análisis de la composición química; donde, se exhibe el contenido de ceniza, fibra bruta, carbohidratos y humedad. Además, se muestra que el hidrocoloide está exento de grasas y la ínfima existencia de proteínas.

Tabla 3

*Composición química del hidrocoloide del Nostoc (*Nostoc sphaericum*)*

Componentes	Cantidad
Ceniza	5.14 %
Fibra Bruta	1.75 %
Grasa	0.00 %
Humedad	4.11 %
Proteína	0.03 %
Carbohidratos	83.83 %
Energía	335.44 kcal/g de muestra

En la Tabla 3, se muestra que el porcentaje de carbohidratos presente en el Hidrocoloide es igual a 83.83 %. Por otra parte, un estudio realizado por Roldan (2015), en el hidrocoloide extraído del alga Nostoc (*Nostoc sphaericum*) determinó que los carbohidratos resultantes representan el 85,54%, mientras que estudios efectuados por Richert *et al.* (2005) en seis cianobacterias concluyó que

los hidratos de carbono representan entre 57% a 84%. Así, el porcentaje obtenido en la presente investigación se sitúa dentro del rango porcentual bibliográfico.

Por otra parte, se obtuvo un rendimiento de hidrocoloide liofilizado del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) del 0.87 % en base húmeda, con un contenido de humedad del 4.11 %; estos datos se aproximan a lo que Roldan (2015) refiere, indicando que el rendimiento del hidrocoloide del alga Nostoc obtenido por la extracción por precipitación en alcohol fue del 0.81 % al estado fresco y con un contenido de humedad del 4.56 %.

4.2. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO

4.1.1. Barrido de frecuencia

En las Figuras 5 y 6, se muestran los módulos viscoelásticos tanto el módulo elástico G' (diagrama A) y el módulo viscoso G'' (diagrama B) en función de la velocidad angular (ω) de las soluciones mixtas del hidrocoloide procedente del Nostoc con la carboximetilcelulosa CMC (100:0, 0.75:0.25, 0.5:0.5, 0.25:0.75 y 0:100 p/p) e hidrocoloide del Nostoc con el Alginato de sodio (100:0, 0.75:0.25, 0.5:0.5, 0.25:0.75 y 0:100 p/p), a la concentración total del 1%.

Todas las pruebas de barrido de frecuencia se realizaron con una deformación del 1% dentro de rango viscoelástico lineal (RVL) en un rango de frecuencia desde 0.63 a 62.83 rad/s. En general, las soluciones evaluadas mostraron un comportamiento viscoelástico singular y que indica que las mezclas a fracciones iguales o mayores del hidrocoloide extraída del Nostoc repercuten marcadamente sobre las propiedades reológicas del Alginato de sodio.

La Figura 5, muestra el comportamiento viscoelástico de la mezcla de los hidrocoloides del Nostoc y CMC a partir de los datos que se muestra en los Anexos 27, 28, 29 y 31; en el que todas las soluciones estudiadas actúan como un fluido elástico (ver en la Tabla 4), esto denota que el módulo de almacenamiento o de elasticidad (G') gobierna sobre el módulo viscoso (G''). Debido a ello mostró un comportamiento común a la de un gel elástico. Además, mientras el porcentaje de las concentraciones el hidrocoloide del Nostoc es mayor en la fase Nostoc/CMC las distancias entre el módulo elástico y el módulo viscoso se acortan por lo que la solución no actúa en conjunto.

Este fenómeno lo explica Mezger (2014), menciona que cuando $G' > G''$ están creando una red continua de fuerzas en la estructura de la dispersión que mantienen estable al gel. Estos materiales ilustran curvas que se asemejan a líneas pseudo paralelas con una pequeña pendiente en toda la gama de frecuencias.

Figura 5

Espectros mecánicos de sistemas mixtos de hidrocoloides Nostoc: CMC: 100:0 (x), 75:25 (), 50:50 (x), 25:75 () y 0:100 (); a la concentración total de polisacárido del 1%, temperatura 25°C. A módulo de almacenamiento, G' ; y B módulo de pérdida, G'' , en función de la velocidad angular.

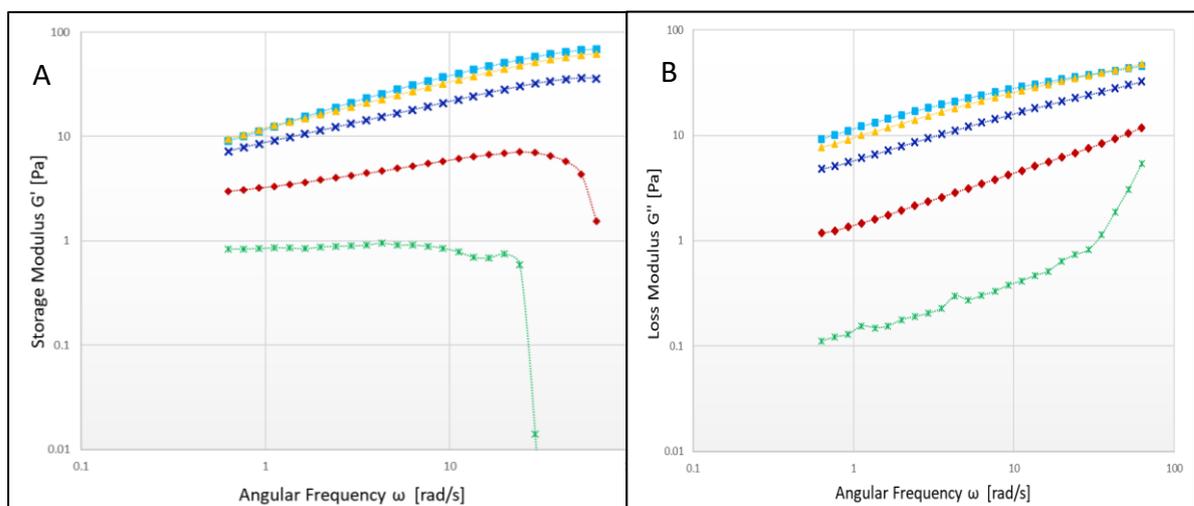
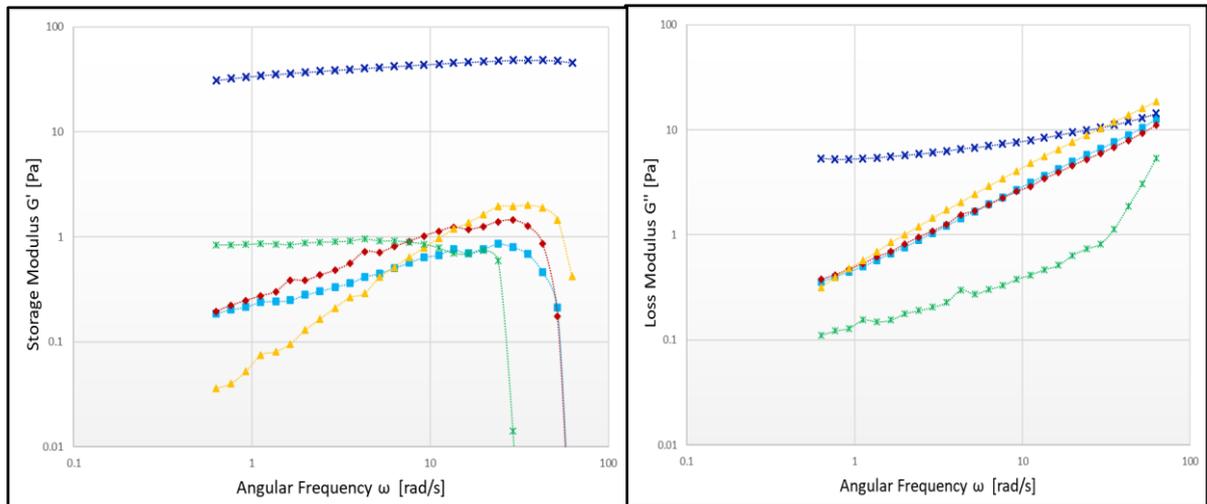


Figura 6

Espectros mecánicos de sistemas mixtos de hidrocoloides Nostoc: alginato de sodio: 100:0 (x), 75:25 (), 50:50 (x), 25:75 () y 0:100 (); a la concentración total de polisacárido del 1%, temperatura 25°C. A módulo de almacenamiento, G' ; y B módulo de pérdida, G'' , en función de la velocidad angular.



Por otra parte, la Figura 6 muestra el comportamiento viscoelástico de los sistemas mixtos de hidrocoloides del Nostoc y alginato de sodio (a partir de los datos en los Anexos 27, 32, 33, 34 y 35); donde, se observa que las soluciones Nostoc:alginato (0.25:0.75; 0.75:0.25 y 0.00:100.00) actúan como un fluido viscoso, esto denota que el módulo viscoso (G'') gobierna sobre el módulo de almacenamiento o de elasticidad (G') (ver en la Tabla 4). Debido a ello mostró un comportamiento viscoso; sin embargo, en la tabla 4 se muestra que la solución Nostoc:alginato de sodio del 0.5:0.5 %; el módulo elástico (G') es superior al módulo viscoso (G'') y muestra una curva (Figura 6) que se asemeja a líneas casi paralelas con una pequeña pendiente en toda la gama de frecuencias (Mezger, 2014) teniendo un comportamiento de un gel elástico. Además, Rao (2014) menciona que el comportamiento de un gel fuerte puede identificarse a partir de los datos de barrido de frecuencia cuando los reordenamientos moleculares dentro de la red son muy mínimos, de modo que G' es mayor que G'' en todo el rango de

frecuencias y es esencialmente independiente de la frecuencia. Es así que, a una concentración de hidrocoloide en la fase Nostoc:alginato de 0.5:0.5 %, mostraron poca dependencia respecto a la velocidad angular y con valores de G' y G'' por debajo de los 100 Pa y en cuanto al módulo de almacenamiento G' por encima de los 10 Pa. Además, la concentración de hidrocoloide en la fase Nostoc:alginato de 0.5:0.5 % el valor medio de G' fue de 41.33 Pa. (ver en la tabla 4), las cuales superan ampliamente a las demás mezclas Nostoc:alginato, Nostoc:CMC y las soluciones puras de Nostoc y alginato; excepto el valor medio del módulo viscoso G'' de 7.87 Pa, así; las características viscosas son inferiores a las soluciones del 0.25:0.75 y 0:1% de Nostoc:CMC. Esto significa que esta mezcla interactúa entre sí, obteniendo características de mayor rigidez y capacidad de almacenamiento de energía que las mencionadas anteriormente.

Tabla 4

*Módulo de almacenamiento G' y módulo de pérdida G'' de las soluciones mixtas del hidrocoloide Nostoc (*Nostoc sphaericum*) con hidrocoloides comerciales en función de la concentración.*

Muestra	Concentración (%)	G'	G''
Nostoc	1	0.626±0.167c	0.99±0.318c
Nostoc:CMC	0.75:0.25	4.833±0.417c	4.433±0.45c
Nostoc:CMC	0.50:0.50	19.959±7.044b	15.072±4.735b
Nostoc:CMC	0.25:0.75	31.044±2.607ab	23.444±1.811a
CMC	1	34.538±5.727a	25.187±3.959a
Nostoc:Alginato	0.75:0.25	0.434±0.244b	2.562±0.49c
Nostoc:Alginato	0.50:0.50	41.335±8.786a	7.877±1.81a
Nostoc:Alginato	0.25:0.75	0.747±0.129b	5.1±0.45b
Alginato	1	0.444±0.142b	3.396±0.56bc

Nota: G' : módulo de almacenamiento (Pa), G'' : módulo de pérdida (Pa). La diferencia entre las letras de una misma columna indica la presencia de desviaciones significativas, según la prueba de Tukey ($P<0.05$).

4.1.2. Curva de fluidez

En la Figura 7, 8, y 9; se muestra el comportamiento de la viscosidad aparente vs tasa de deformación, a 25, 50 y 70°C y a distintas suspensiones de hidrocoloides Nostoc:CMC. Se observa que en todas las soluciones de Nostoc:CMC la viscosidad reduce a medida que la tasa de deformación incrementa.

Según Sharma (2000), menciona que esta característica es la más frecuente entre los fluidos pseudoplásticos - no newtonianos. Un fluido pseudoplástico no newtoniano se caracteriza por una curva en su reograma que es convexa con respecto al eje del esfuerzo cortante. En estos fluidos, la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad de cizallamiento, es decir, son menos consistentes cuando se someten a velocidades de cizallamiento elevadas que cuando se cortan lentamente. La razón de este comportamiento del flujo es que las partículas suspendidas en el fluido se deforman y/o reordenan a medida que aumenta el esfuerzo cortante; en consecuencia, disminuye la resistencia al flujo y, por tanto, la viscosidad.

Además, todas las soluciones de hidrocoloide del Nostoc con CMC y alginato, mostraron que la temperatura influye sobre la viscosidad aparente, disminuyendo al incrementar desde 25 a 70°C. El fenómeno de la variación de la viscosidad aparente está causado por el movimiento térmico de las moléculas, que se intensifica con la temperatura y alarga la distancia intermolecular al tiempo que disminuye las conexiones entre ellas. Además, los polisacáridos de *Nostoc sphaericum* V. pueden hidrolizarse a altas temperaturas para reducir la viscosidad. (Kim y Yoo, 2011).

Figura 7

Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:CMC a concentración total del 1% (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100) a 25 °C.

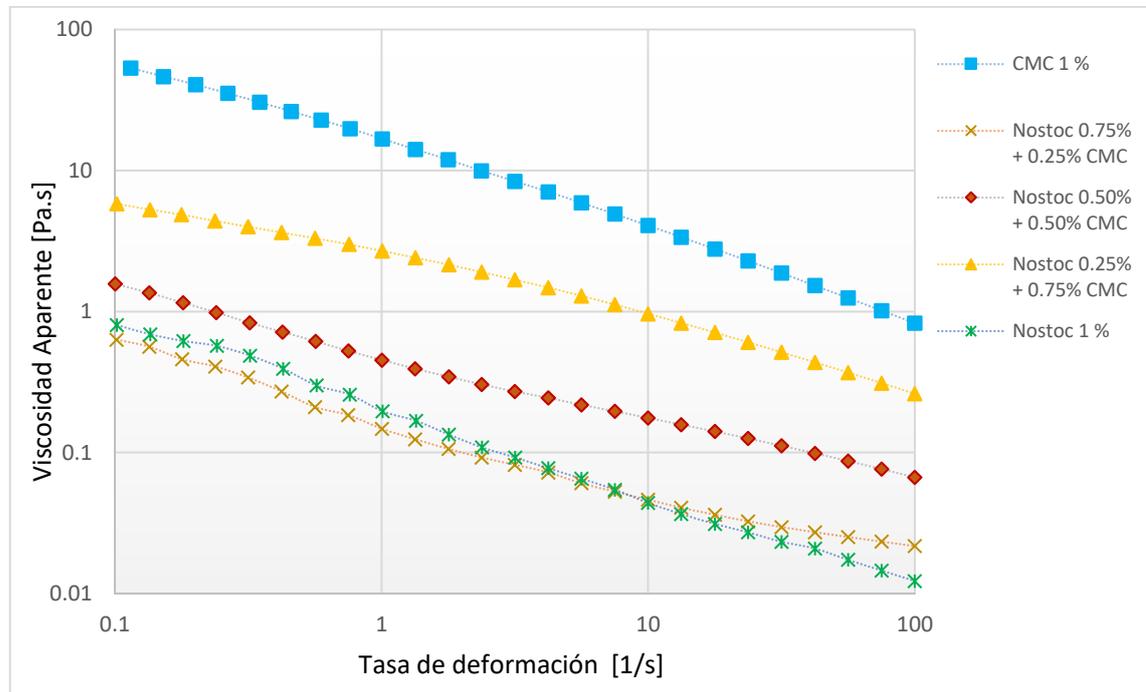


Figura 8

Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:CMC a concentración total del 1% (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100) a 50 °C.

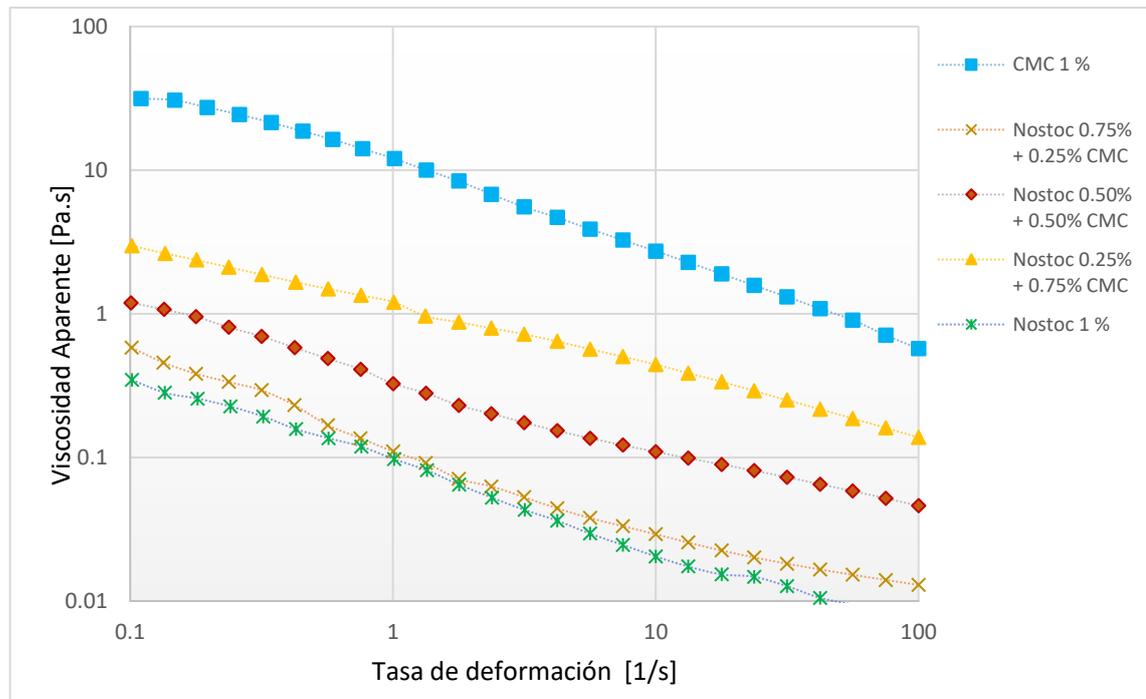
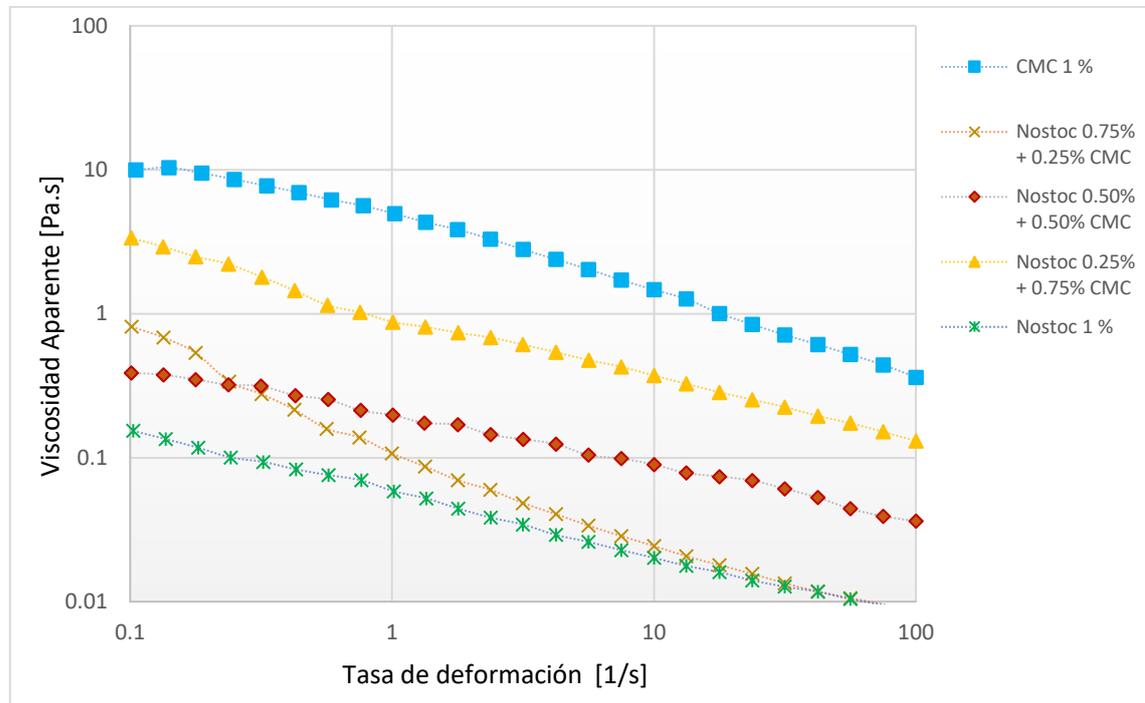


Figura 9

Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:CMC a concentración total del 1% (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100) a 70 °C



Por otro lado, las Figuras 9, 10 y 11; muestran el comportamiento de flujo (viscosidad aparente vs. Tasa de deformación), a 25, 50 y 70°C respectivamente; a distintas suspensiones de hidrocoloides Nostoc/Alginato. Se observa que en todas las soluciones de Nostoc/Alginato, la viscosidad disminuye cada vez que la Tasa de deformación incrementa. Además, se puede observar que la temperatura influye sobre la viscosidad aparente de estas mezclas de hidrocoloides (Nostoc – alginato de sodio) (Tabla 5), disminuyendo al incrementar esta. Estas características indican que soluciones corresponden a un comportamiento pseudoplástico típico.

Figura 10

Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:alginato de sodio, a concentración total del 1% (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100) a 25 °C

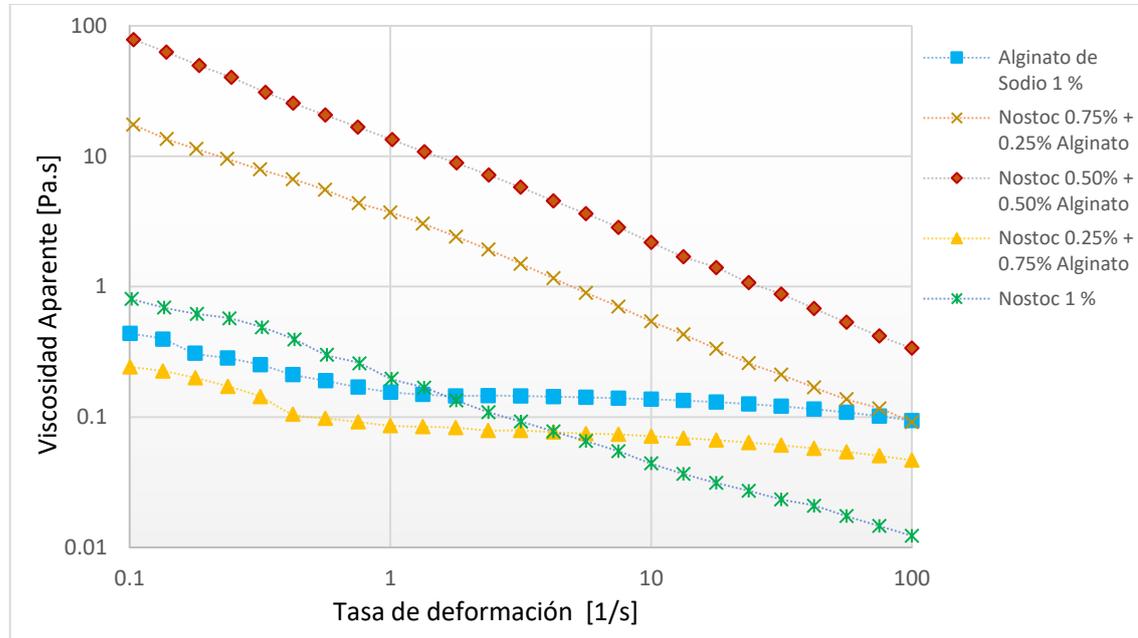


Figura 11

Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:alginato de sodio, a concentración total del 1% (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100) a 50 °C

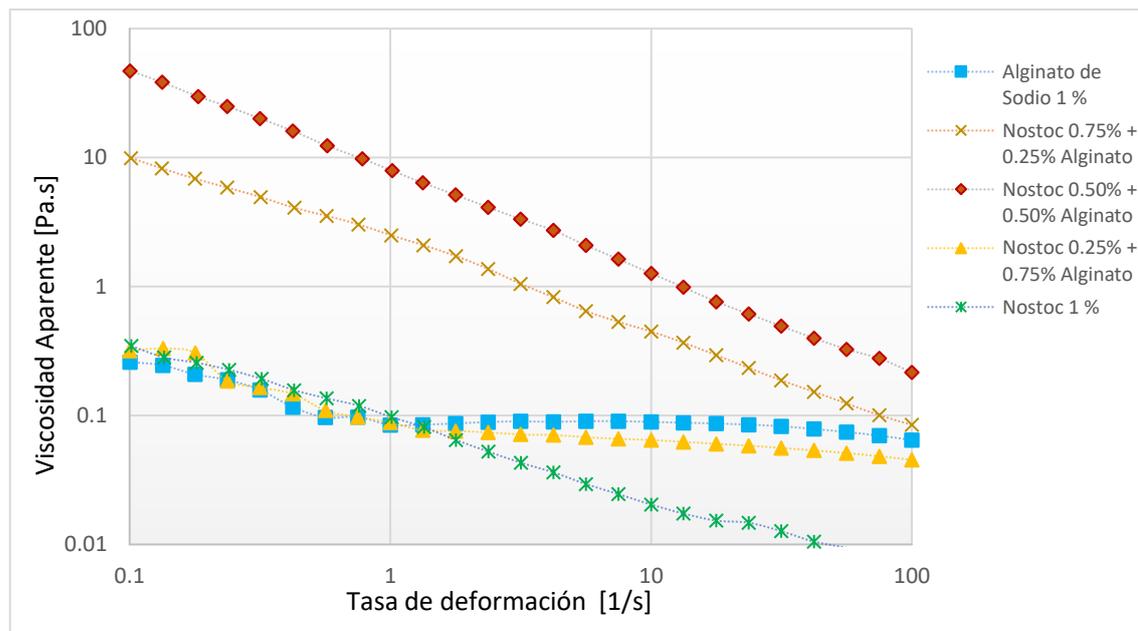
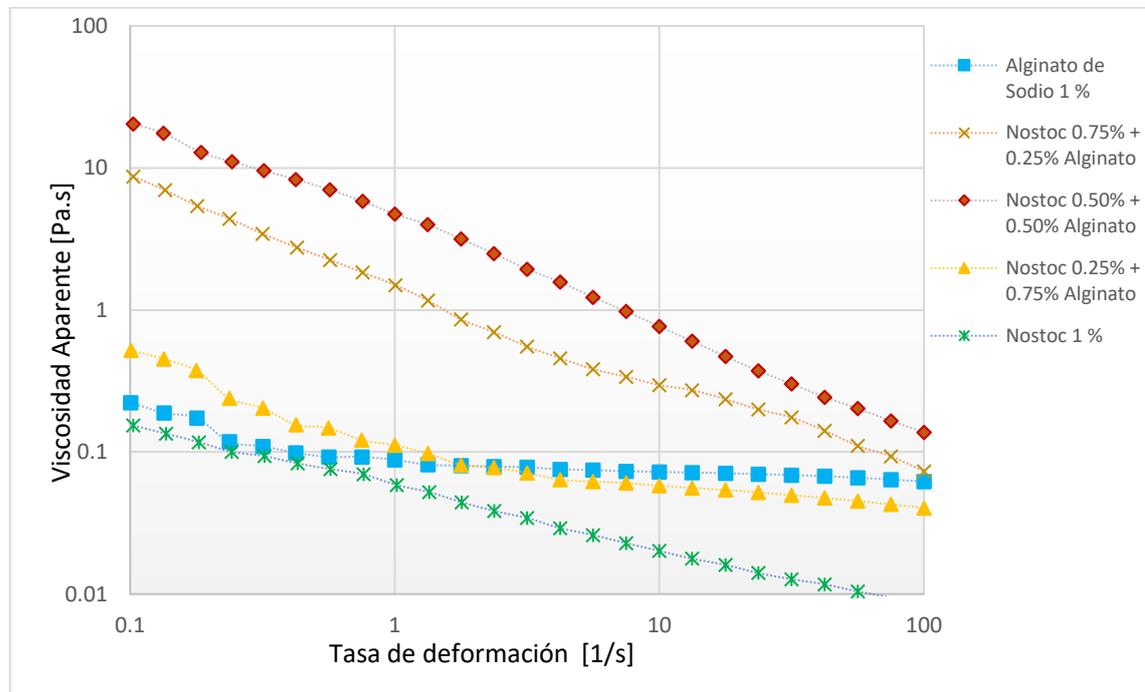


Figura 12

Viscosidad aparente vs tasa de deformación para las soluciones de Nostoc:Alginato de sodio, a concentración total del 1% (100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100) a 70 °C



Respecto a la concentración del hidrocoloide procedente del Nostoc en las soluciones con el CMC; esta, no es un factor que influya sobre la mejora de las características reológicas de la solución final, en cambio tiene un efecto contrario haciendo que a medida que la fracción del hidrocoloide del Nostoc incrementa frente a la concentración del CMC la viscosidad disminuye desde 0.391 a 0.027 (Pa.s) y el índice de flujo también incrementa desde 0.466 hasta 0.648 haciendo del gel más débil y menos viscoso.

Sin embargo, la concentración de la fracción entre el hidrocoloide del Nostoc con el alginato de sodio tiene un efecto sinérgico; donde, las soluciones entre Nostoc/alginato del 0.5:0.5% y 0.75:0.25% incrementaron la viscosidad aparente, desde el 0.056 (Pa.s) del alginato puro al 1% y 0.018 (Pa.s) del hidrocoloide del Nostoc al 1%; hasta los 0.595 (Pa.s) de la fracción del 0.5:0.5 %,



haciendo que también repercute en el índice de flujo n del alginato puro desde 0.823 hasta los 0.2 de la fracción 0.5:0.5 %, estos datos muestran la existencia de interacciones reológicas entre estas mezclas, siendo las soluciones del 0.5:0.5 y 0.75:0.25% de Nostoc:alginato respectivamente los mejores tratamientos.

Para modelar la curva de flujo y determinar los parámetros reológicos (índice de consistencia k , índice de flujo n y viscosidad aparente) se utilizó el modelo matemático de Ostwald-de Waele las cuales se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5

Parámetros reológicos ajustado al modelo Ostwald-de Waele; de soluciones mixtas del hidrocoloide Nostoc (Nostoc sphaericum), con hidrocoloides comerciales en función de la concentración y la temperatura.

Muestra	Concentrac ión	Temperatura																				
		25 °C						50 °C						70 °C								
		K	n	η50	R ²	K	n	η50	R ²	K	n	η50	R ²	K	n	η50	R ²					
Nostoc	1	0.185±0.0	0.41±0.0	0.018±0	0.995	0.078±0	0.47±0.0	0.01±	0.994	0.049±0.	0.621±0.	0.011±0.	0.999	48d	14d	.004e	.004d	19d	0e	009d	036c	001e
Nostoc:CMC	0.75:0.25	0.106±0.0	0.649±0.	0.027±0	0.996	0.075±0	0.596±0.	0.016±0.	0.993	0.088±0.	0.454±0.	0.011±0.	0.988	15d	017a	.002e	.043d	031abc	011e	025d	146cde	005e
Nostoc:CMC	0.50:0.50	0.47±0.12	0.581±0.	0.091±0	0.999	0.284±0	0.605±0.	0.061±0.	0.999	0.227±0.	0.602±0.	0.048±0.	0.998	5d	01abc	.022e	.022d	004ab	005e	014d	017abc	001e
Nostoc:CMC	0.25:0.75	3.158±1.5	0.469±0.	0.391±0	0.997	1.316±0	0.519±0.	0.196±0.	0.999	1.038±0.	0.549±0.	0.18±0.0	0.999	95cd	011bcde	.185cd	.455d	026abcd	048de	097d	048abcd	43de
CMC	1	17.697±0.	0.342±0.	1.353±0	0.996	12.041±	0.354±0.	0.943±0.	0.996	5.285±0.	0.424±0.	0.553±0.	0.997	816a	018e	.132a	4.132b	088e	289b	586c	042de	034c
Nostoc:Alginato	0.75:0.25	3.36±2.21	0.239±0.	0.155±0	0.978	2.347±0	0.274±0.	0.137±0.	0.994	1.362±0.	0.378±0.	0.119±0.	0.982	5cd	082e	.05cd	.287cd	019e	014cde	176cd	045d	005cde
Nostoc:Alginato	0.50:0.50	13.695±2.	0.2±0.01	0.595±0	0.993	7.918±2	0.207±0.	0.361±1	0.989	4.384±1.	0.244±0.	0.225±0.	0.974	754a	5e	.086a	.54b	031e	35b	045c	057e	25c
Nostoc:Alginato	0.25:0.75	0.116±0.0	0.808±0.	0.054±0	0.999	0.08±0.	0.827±0	0.041±0.	0.999	0.107±0.	0.835±03	0.056±0.	0.999	29d	11b	.012de	019d	06ab	01de	011d	2ab	08de
Alginato	1	0.216±0.0	0.823±0.	0.108±0	0.999	0.139±0	0.842±0	0.074±0.	0.998	0.09±0.0	0.921±0.	0.066±0.	0.999	03d	001ab	.01cde	.028d	22ab	08de	21d	007a	013de

Nota: K: Índice de consistencia (Pa. sⁿ), n: índice de flujo (adimensional), η50: Viscosidad aparente (Pa.s), R²: Coeficiente de determinación. La diferencia entre las letras de una misma columna indica la presencia de desviaciones significativas, según la prueba de Tukey (P<0.05).



Los parámetros reológicos obtenidos para el hidrocoloide del Nostoc al 1% y a 25 °C fueron: índice de flujo $n = 0.41$ e índice de consistencia $k = 0.185$ (Pa. s^n). Haciendo que difieran con lo reportado por Roldan (2015), obteniendo un índice de flujo de 1.066 e índice de consistencia k del 0.106 (Pa. s^n) a 27 °C. Esto se pudo haber dado por las diferencias en los métodos de medición y las condiciones experimentales. Además, el tiempo de hidratación que se les dio a las muestras fueron de 12 horas para lograr una hidratación completa de los hidrocoloides comerciales, por lo que; el tiempo de hidratación puede tener un impacto significativo en las propiedades reológicas de un gel (Funami *et al.*, 2009).

En los análisis varianza ANVA (ver los Anexos 15, 17, 19, 21, 23 y 25) se evaluaron tres factores: las concentraciones del hidrocoloide procedente del Nostoc, concentración del CMC o alginato, y la temperatura; que influyen sobre las propiedades reológicas de sus mezclas y obtenidos del ajuste al modelo matemático de Ostwald-de Waele o también conocido como ley de potencia (k , n y viscosidad aparente). Los resultados demostraron que los tres factores tenían efectos significativos en las propiedades reológicas de la solución de Nostoc:alginato, en cambio en las suspensiones de la fase Nostoc:CMC, la concentración del Nostoc no influye o influye negativamente sobre los parámetros reológicos del CMC.

En la Tabla 5, se muestran los parámetros reológicos de las soluciones mixtas del hidrocoloide nostoc, con el alginato de sodio y el CMC; en función de la concentración y la temperatura.



Los resultados mostraron efectos de interacción importantes del hidrocoloide del Nostoc con el alginato de sodio; donde, el índice de flujo n (adimensional) varió desde 0.808 para la suspensión 0.25:0.75% hasta el 0.239 de la fase del 0.75:0.25%; siendo la suspensión de la fase Nostoc:alginato del 0.5 : 0.5% superior a estas, mostrando un índice de flujo del 0.199. Además, el índice de flujo de las suspensiones de la fase Nostoc: alginato del 0.75:0.25% y 0.5:0.5% fueron superiores a las suspensiones puras del 1% de Nostoc, alginato y CMC; mostrando un valor n del 0,41; 0.823 y 0.342 respectivamente a 25 °C. Estos resultados pudieron haberse dado por el grado de ácidos urónicos que el Nostoc contiene, además de calcio. El grado de gelificación es influenciado por la hidratación del alginato, la proporción de ácido gulurónico y la concentración del ion calcio (Funami *et al.*, 2009).

El CMC al 1% tuvo un índice flujo n del 0.342, este valor difiere al índice de fujo n del 0.422 obtenido por Lasheras (2009), esto indica que el tipo de CMC que utilizamos es de viscosidad alta; sin embargo, el índice de fujo n está dentro del rango que varía entre 0.3 a 0.5 (Cubero *et al.*, 2002). Por otra, este fue el que tuvo mejor resultado del índice de flujo frente a las soluciones de Nostoc:CMC, sin embargo, al aumentar la temperatura de 25 a 50 después a 70 °C, el valor del índice de flujo fue incrementando, el incremento del índice de flujo (n) con el aumento de la temperatura se debe a que el aumento de la temperatura reduce la viscosidad (Durubal *et al.*, 2023) del CMC.

Todas las suspensiones de la fase Nostoc: CMC y alginato de sodio; presentaron un valor del índice de flujo n menor a 1. Si, n es igual a 1 la suspensión se caracteriza como un fluido newtoniano; cuando n es mayor a 1; este revela las características de un fluido dilatante y sí; n es menor a 1, esta describe las



características que corresponden a un fluido pseudoplástico. Cuanto mayor sea la distancia a la 1 ($n < 1$), mayores características pseudoplásticas mostrara el fluido (Steffe, 1996; Barnes, 2001; Streblow y Muller, 2012).

Referente al índice de consistencia k , el hidrocoloide obtenido del Nostoc interactúa positivamente con el alginato de sodio, específicamente en la suspensión de la fase 0.5%:0.5% de Nostoc:alginato, el cual resultó superior a las demás mezclas estudiadas, teniendo un índice de consistencia del 13.695 (Pa.s) aunque menor al 17.697 (Pa.s) de la suspensión pura del 1 % del CMC. El coeficiente de consistencia K , es una medida indirecta de la viscosidad que depende de n . A medida que k aumenta, el fluido se espesa o se vuelve viscoso. Como resultado, es un indicador de la viscosidad de los fluidos no newtonianos (Steffe, 1996).



V. CONCLUSIONES

- El hidrocoloide procedente del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) en solución con el alginato de sodio en una concentración total del 1%, en la fracción del 0.50:0.50% p/p (T3); presentó un comportamiento de predominio elástico, donde el módulo de almacenamiento gobierna sobre el módulo viscoso ($G' > G''$) por encima de los 10 Pa, haciendo del fluido un gel fuerte e interactuando entre ellas; es así que, el alginato de sodio es influenciado positivamente por el hidrocoloide procedente del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) sobre las características viscoelásticas, específicamente en la fracción del 0.50:0.50%. Por otro lado, no se encontraron efectos de interacción en las propiedades viscoelásticas, que muestren influencia positiva en las soluciones de Nostoc-CMC.
- Las soluciones del hidrocoloide del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) con el alginato de sodio del 1% mostraron un incremento significativo en los parámetros reológicos del comportamiento de flujo, principalmente en el tratamiento 7 (concentración de 0.5:0.5); donde, la viscosidad aparente (0.5948 (Pa.s)), índice de consistencia K (13.695 (Pa. sⁿ)) e índice de flujo n (0.199 adimensional) fueron superiores a los parámetros reológicos de las fracciones puras del alginato de sodio e hidrocoloide del Nostoc al 1%. Esto indica que existe interacción positiva entre el hidrocoloide procedente del Nostoc con el alginato de sodio. Por otra parte, el hidrocoloide del Nostoc no presenta señales de interacción frente a las soluciones con la CMC. Todas las fracciones evaluadas, mostraron que la temperatura influye sobre sus características reológicas disminuyéndolas a medida que la temperatura incrementa.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de comparación de las propiedades reológicas y viscoelásticas del Nostoc (*Nostoc sphaericum*) y Nostoc (*Nostoc comunne*) que se encuentran adheridas a las rocas en las orillas de las islas Amantaní y Taquile del lago Titicaca; las cuales podrían tener mayor densidad de volumen y repercutir en la viscosidad.
- Realizar estudios de las propiedades de reológicas con otras gomas de uso común a menor concentración.
- Realizar estudios de micrografía electrónicas de barrido (SEM) en las soluciones de Nostoc y alginato de sodio para evaluar la microestructura de la interacción.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, A. J. (1999). *Ingeniería de la Industria Alimentaria – volumen I: Conceptos Básicos*. Madrid, España: Editorial Síntesis.
- Aldave, P. A. (1989). *Algas*. Editorial Libertad.
- Alvarado, J. de D. (1996). *Principios de ingeniería aplicados a los alimentos*. Quito, Ecuador: Ed. Radio comunicaciones.
- Angioloni, A. (2013). Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. *Tecnifood. La revista de la tecnología alimentaria*. <https://studylib.es/doc/6045076/los-hidrocoloides--funcionalidad>
- Avendaño, G. C., Lopez, A. y Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 7(1), 87-96.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta edición). México: Editorial Pearson Educación.
- Baruah, G.L., Venkiteshwaran, A., & Belfort, G. (2005). Global model for optimizing crossflow microfiltration and ultrafiltration processes: a new predictive and design tool. *Biotechnology Progress*, 21, 1013-1025.
<https://doi.org/10.1021/bp050184r>
- Becher, P. G., Beuchat, J., Gademann, K., & Jüttner, F. (2005). Nostocarboline: isolation and synthesis of a new cholinesterase inhibitor from Nostoc 78-12A. *Journal of natural products*, 68(12), 1793–1795.
<https://doi.org/10.1021/np050312l>
- Belalia, F., & Djelali, N. E. (2014). Rheological properties of sodium alginate solutions. *Revue Roumaine de Chimie*, 59(2), 135-145.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Meat. *Food chemistry*, 563-616.
- Beltrán, O. (2013). Nuevos enfoques en el estudio de las gomas de Acacia tortuosa y Sterculia apetala (Doctoral dissertation, Tesis para optar al grado de Doctora en Química. Univesidad de Zulia. Venezuela).



- BeMiller, J. N. (2001). Classification, structure, and chemistry of polysaccharides of foods. *In Handbook of dietary fiber* (pp. 603-611). CRC Press.
- Bingham, S., Cummings, J.H. & McNeil, N.I. (1979). Intakes and sources of dietary fiber in the british population, *The American journal of clinical nutrition*, 32(6), 1313–1319. <https://doi.org/10.1093/ajcn/32.6.1313>
- Bixler, H. J., & Porse, H. (2011). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23, 321-335. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9529-3>
- Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity: concept and measurement. Elsevier.
- Campos, D. (2010). *Caracterización fisicoquímica del espejo de agua de la laguna Cushuro de la Provincia de Sánchez Carrión donde se desarrolla el Nostoc commune*. Tesis de título profesional. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Cárcamo A., L. A. (2005). *Comportamiento reológico de pasta de murta (Ugni molinae Turcz) en estado fresco y congelado*, Valdivia: Universidad Austral de Chile. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/41061>
- Cengiz, E., Dogan, M., & Karaman, S. (2013). Characterization of rheological interactions of Gleditsia triacanthos gum with some hydrocolloids: Effect of hydration temperature. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 453-462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.018>
- Charcosset, C. (2006). Membrane processes in biotechnology: an overview. *Biotechnology Advances*. 24(5), 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.002>
- Costa, L.T. (2006). Características físicas e físico-químicas do oleo de duas cultivares de mamona. Dissertacao de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3877>
- Cubero, N., Monferrer, A. y Villalta, J. (2002). *Aditivos alimentarios*. Mundi-Prensa.
- De Phillipis, R., Ena, A., Paperi, R., Sili, C., & Vincenzini, M. (2000). Assessment of the potential of Nostoc strains from the Pasteur Culture Collection for the



- production of polysaccharides of applied interest. *Journal of Applied Phycology*, 12(1), 401-407.
- DEA, I. C. (1993). Conformational origins of polysaccharide solution and gel properties. In *Industrial gums* (pp. 21-52). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092654-4.50006-1>
- Delattre, C., Laroche, C., & Michaud, P. (2009). Bacterial and fungal polysaccharides produced by fermentation—an overview. *Advances in fermentation technology*, 484-521.
- Diaz Ocampo, R. (2018). *Reología aplicada a sistemas alimentarios* (primera edición). Editorial Grupo Compas. <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/270>
- Draget, K.I. (2000). Alginates. In *Handbook of hydrocolloids*. (pp. 379-395). Woodhead Publishing Limited/CRC Press LLC.
- Durubal, P. M., Tavanaei, A., Buist, K. A., Kuipers, J. A. M., & Baltussen, M. W. (2023). The effect of a temperature-dependent viscosity on cooling droplet-droplet collisions. *Chemical Engineering Science*, 282, 119277.<https://doi.org/10.1016/j.ces.2023.119277>
- Dziezak, J.D. A (1991). A focus on gums. *Food Technology*, 45(3), 116-132.
- Fennema, O. (2010). *Química de los Alimentos* (3^{ra} Edición). Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Fischer, P., & Windhab, E. J. (2011). Rheology of food materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16(1), 36-40.
<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.07.003>
- Fu, S., Thacker, A., Sperger, D. M., Boni, R. L., Velankar, S., Munson, E. J., & Block, L H. (2010). Rheological Evaluation of Inter-grade and Inter-batch Variability of Sodium Alginate. *AAPS PharmSciTech*, 11(4), 1662-1674.
<https://doi.org/10.1208/s12249-010-9547-0>
- Funami, T., Fang, Y., Noda, S., Ishihara, S., Nakauma, M., Draget, K. I., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2009). Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and



- Ca²⁺ binding. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1746–1755.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.014>
- Garibay, M. G., Ramírez, R. Q., & Canales, A. L. M. (1993). Biopolímeros. In *Biotecnología alimentaria* (pp. 423–432). Limusa.
- Geankoplis, C. J. (2009). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación*. Mexico: PATRIA.
- Geremia, R., & Rinaudo, M. (2005). Biosynthesis, structure, and physical properties of some bacterial polysaccharides. *Polysaccharides: structural diversity and functional versatility*, 15, 411-430.
- González, M. P. (2006). Cushuro Alga–Alto andino peruano. *Artículo Científico*. Lima, Perú.
- Goldberg, I., & Williams, R. (1991). Chapter 9: Biogums Used in Food and Made by Fermentation. In *Biotechnology and Food Ingredients* (pp. 235–237). Springer.
- Gunasekaran, S., & Ak, M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected application. *Food Science and technology*, 11, 115-127.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00058-3)
- Hermida, J.R. (2000). *Fundamentos de ingeniería de procesos Agroalimentarios*. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Escalona, M. H., Rubio, G. Y. L. y Padilla, A. G. (2005). Evaluación de derivados carboximetilados del alginato de sodio como superabsorbente. *Revista Cubana de Química*, 17(3), 239-240.
- Hoefler, A.C. (2004). *Hydrocolloids*. Eagan Press.
- Hori, K., Ueno-Mohri, T., & Okita, T. (1992). Absorption of color additives and settling volume in water of blue-green alga, ishikurage (*Nostoc commune*). *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 42(1), 31–36.
<https://doi.org/10.1007/BF02196070>
- Huang, P. M., Li, Y., & Sumner, M. E. (Eds.). (2011). *Handbook of Soil Sciences: properties and processes*. CRC press.



- Ibarz, A. y Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Jo, W., Bak, J. H., & Yoo, B. (2018). Rheological characterizations of concentrated binary gum mixtures with xanthan gum and galactomannans. *International journal of biological macromolecules*, 114, 263-269.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.105>
- Jurado, B. T., Fuertes, C. R., Tomas Ch, G., Ramos, E. L., Arroyo, J. A., Cáceres, J. P. y Cárdenas, L. M. (2014). Estudio fisicoquímico, microbiológico y toxicológico de los polisacáridos del *nostoc commune* y *nostoc sphaericum*. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 17(1), 15-22.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/11310>
- Kim, W. W., & Yoo, B. (2011). Rheological and thermal effects of galactomannan addition to acorn starch paste. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 759-764. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.009>
- Kreith, F. (Ed.). (1999). *Manual CRC de ingeniería térmica* (1ª ed.). Prensa CRC.
<https://doi.org/10.1201/9781420050424>
- Lasheras Ruiz, A. J. (2009). *Determinación de las propiedades reológicas de soluciones acuosas de carboximetilcelulosa (CMC), por mediciones experimentales en viscosímetro rotacional AR-G2*. (Trabajo de fin de carrera). Universidad Politecnica de Cartagena.
- Linden, G. y Lorient, D. (1996). *Bioquímica Agroindustrial*. Zaragoza-España: Editorial ACRIBIA.
- Lagarto Parra, A., Tillán Capó, J. y Cabrera González, Y. (1997). Toxicidad aguda oral del extracto fluido de *Mentha spicata* L. (hierbabuena). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 2(2), 6-8.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102847961997000200002&lng=es&tlng=es
- Mamdouh, T., Ghannam, M., & Nabil, E. (1996). Rheological properties of Carboxymethyl Cellulose. *Journal of Applied Polymer Science*, 64, 289 – 301.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970411\)64:2%3C289::AID-APP9%3E3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970411)64:2%3C289::AID-APP9%3E3.0.CO;2-N)



- Mandala, I. (2012). Viscoelastic Properties of Starch and Non-Starch Thickeners in Simple Mixtures or Model Food. *In Viscoelasticity: From Theory to Biological Applications* (pp, 217-236). InTech.
- Malone, M. E., Appelqvist, I. A. M., & Norton, I. T. (2003a). Oral behaviour of food hydrocolloids and emulsions. Part 1. Lubrication and deposition considerations. *Food hydrocolloids*, 17(6), 763-773. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00097-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00097-3)
- Malone, M. E., Appelqvist, I. A. M., & Norton, I. T. (2003b). Oral behaviour of food hydrocolloids and emulsions. Part 2. Taste and aroma release. *Food hydrocolloids*, 17(6), 775-784. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00098-5).
- Medina Torres, L. (2005). *Estudio Reológico del mucilago de Nopal y su efecto sinérgico con otros hidrocoloides de uso alimenticio*. Tesis para optar el grado de doctor en ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000343764>
- Mezger, T.G. (2014). *The Rheology Handbook: For Users of Rotational and Oscillatory Rheometers* (4th edition). Hannover, Germany. European Coatings Library.
- Milani, J., & Maleki, G. (2012). Hidrocoloides en la industria de alimentos. *Categoría: Tecnología de alimentos Subcategoría: Aditivos para alimentos. Editor: InTech. Iran*. doi: 10.5772/32358
- 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(1), 387–398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.017>
- Muller, H. G. (1973). *Introducción a la Reología de los Alimentos*. Zaragoza, España: Acribia.
- National Center for Biotechnology Information -NCBI. (20 de mayo del 2024). *Taxonomy browser*. Consultado y disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/tree/?taxon=1177>



- Norton, I. T., Spyropoulos, F., & Cox, P. (2010). *Dairy Systems. In Practical Food Rheology: An Interpretive Approach*. Wiley-Blackwell.
doi:10.1002/9781444391060
- Ospina Casas, K. G. (2016). *Estudio de la interacción de hidrocoloides empleados en alimentos y su efecto en las propiedades reológicas y de textura sensorial e instrumental*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Pawar, S.N. & Edgar, K.J. (2012). Alginate derivation: A review of chemistry, properties and applications. *Biomaterials*, 33, 3279-3305.
<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.01.007>
- Perry, R. & Chilton, C. (1982). *Manual del ingeniero químico* (2ª ed.). McGraw-Hill. México.
- Philips, G. & Williams, P. (2009). *Handbook of Hydrocolloids* (3a ed.). Woodhead Publishing.
- Pierre, G., Delattre, C., Laroche, C., & Michaud, P. (2014). Galactans and its applications. *Polysaccharides; Springer International Publishing: Cham, Switzerland*, 1-37. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-669-1>
- Ponce, Ernesto. (2014). Nostoc: un alimento diferente y su presencia en la precordillera de Arica. *Idesia (Arica)*, 32(2), 119-121. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292014000200015>
- Qixin, Z. & Daubert, C. (2013). Handbook of Farm. *Dairy and Food Machinery Engineering* (Second Edition) (403-426). Academic Press.
- Ramírez-Navas, Juan. (2006). *Introducción a la Reología de Alimentos*. Revista ReCiTeIA. 6. 1-46.
- Rankin, S., & Bodyfelt, F.W. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices, *Food Hydrocolloids*, 15(1):1-7.
- Řeháková, K., Johansen, J. R., Casamatta, D. A., Xuesong, L., & Vincent, J. (2007). Morphological and molecular characterization of selected desert soil



- cyanobacteria: three species new to science including *Mojavia pulchra* gen. et sp. Nov. *Phycologia*, 46(5), 481–502. <https://doi.org/10.2216/06-92.1>
- Rao, M.A., & Steffe, J.F. (1992). *Viscoelastic Properties of Foods* (Edición en inglés). Elsevier Applied Science.
- Rasmussen, H. E., Blobaum, K. R., Jesch, E. D., Ku, C. S., Park, Y. K., Lu, F., ... & Lee, J. Y. (2009). Hypocholesterolemic effect of *Nostoc commune* var. *sphaeroides* Kützing, an edible blue-green alga. *European journal of nutrition*, 48, 387-394. <https://doi.org/10.1007/s00394-009-0025-y>
- Rha, C. (1978). Rheology of fluid foods. *Food Technology*, 32(7), 77-82.
- Rickman, M., Pellegrino, J., & Davis, R. (2012). Fouling phenomena during membrane filtration of microalgae. *Journal of Membrane Science*, 423, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.07.013>
- Richert, L., Golubic, S., Guédès, R. L., Ratiskol, J., Payri, C., & Guezenec, J. (2005). Characterization of exopolysaccharides produced by cyanobacteria isolated from Polynesian microbial mats. *Current microbiology*, 51(6), 379–384. <https://doi.org/10.1007/s00284-005-0069-z>
- Roldan, W. (2015). *Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del Nostoc (Nostoc sphaericum V.)*. Tesis para optar el grado magister scientiae en tecnología de alimentos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Escuela de posgrado. Lima Perú.
- SC Chen, YC Wu, FL Mi y HW Sung, J. (2004). *Contr. Lanzamiento*, 96, 285-300.
- Sharma, S.K., Mulvaney, S.J. & Rizvi, S.S.H. (2000). *Food processing engineering: theory and laboratory experiments*. United States of America: Wiley-Interscience.
- Sherman, P. (1970). *Industrial Rheology*. New York. Academic Press.
- Silva Blanco, C. A. (2010). *Caracterización reológica de hidrocoloides alimentarios: Goma Guar, Goma Tragacanto, Metilcelulosa y sus mezclas*. Tesis para optar al grado de doctor en ciencia e ingeniería de los alimentos. Universidad de Santiago de Compostela. España.



- Steffe, J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2nd Ed). East Lansing, Michigan State, USA. Freeman Press.
- Streblow, P. J. R., & Müller, D. (2012). Simulation of Non-Newtonian Fluids using Modelica. In 9th International Modelica Conference (pp. 57–62). Munich, Germany.
- Vanegas, L. (2009). *Efecto del uso de hidrocoloideos en la reología de un complemento nutricional líquido*. Tesis para optar el grado al grado de magister en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3433>
- Uruakpa F. O., & Arntfield S. D. (2004). Rheological characteristics of commercial canola protein isolated-k-carrageenan systems. *Food Hydrocolloids*, 18,419-427. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.07.001>
- Welti-Chanes, J., & Aguilera, J. M. (2002). *Engineering and Food for the 21st Century*. CRC Press.
- Whistler, R. L., & BeMiller, J. N. (1997). Guar and locust bean gums. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 171-177.
- Yabur., Bashan Y. y Hernández-Carmona G. (2007). Alginate from the macroalgae *Sargassum Sinicola* as a Novel Source for Microbial Immobilization Material in Wastewater Treatment and Plant Growth Promotion. *Journal of Applied Phycology*, 19(1), 43-53. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-006-9109-8>
- Yasar, Y., Togrul, H., & Arslan, N. (2007). Flow properties of cellulose and carboxymethyl cellulose from orange peel. *Journal of Food Engineering*, 81, 187-199. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.022>
- Yupanqui, B., & Torres, A. (2018). *Comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del Cushuro (N. commune y N. sphaericum) obtenido por liofilización y aire caliente*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.



ANEXOS

ANEXO 1: Manejo documentario

Figura A.1: Certificado de la composición química del hidrocoloide del Nostoc (*Nostoc sphaericum*)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



FIQ Nro

Nº 002830

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis Físico Químico de: NOSTOC

PROCEDENCIA : FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAS, UNA-PUNO

INTERESADO : ABRAHAN CALSIN YANARICO

MOTIVO : INVESTIGACIÓN

MUESTREO : 03/01/2024, por el interesado

ANÁLISIS : 03/01/2024

COD. MUESTRA : B009-000599

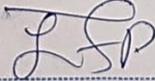
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ENSAYOS	RESULTADOS
COLOR	Verde petroleo
SABOR Y OLOR	Caracteristico,
ASPECTO	Solido en polvo

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS ANALIZADOS	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS
CENIZA	5.14	%	AOAC 923.03
FIBRA BRUTA	1.75	%	AOAC 978.10
GRASA	0.00	%	AOAC 920.85
HUMEDAD	4.11	%	AOAC 925.10
PROTEINA	0.03	%	AOAC 920.87
CARBOIDRATOS	83.83	%	-----
ENERGIA	335.44		Kcal/g de muestra

Puno 10 de enero del 2024



ING. LUZ MARINA TEVES PONCE
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA - CIP - 182393

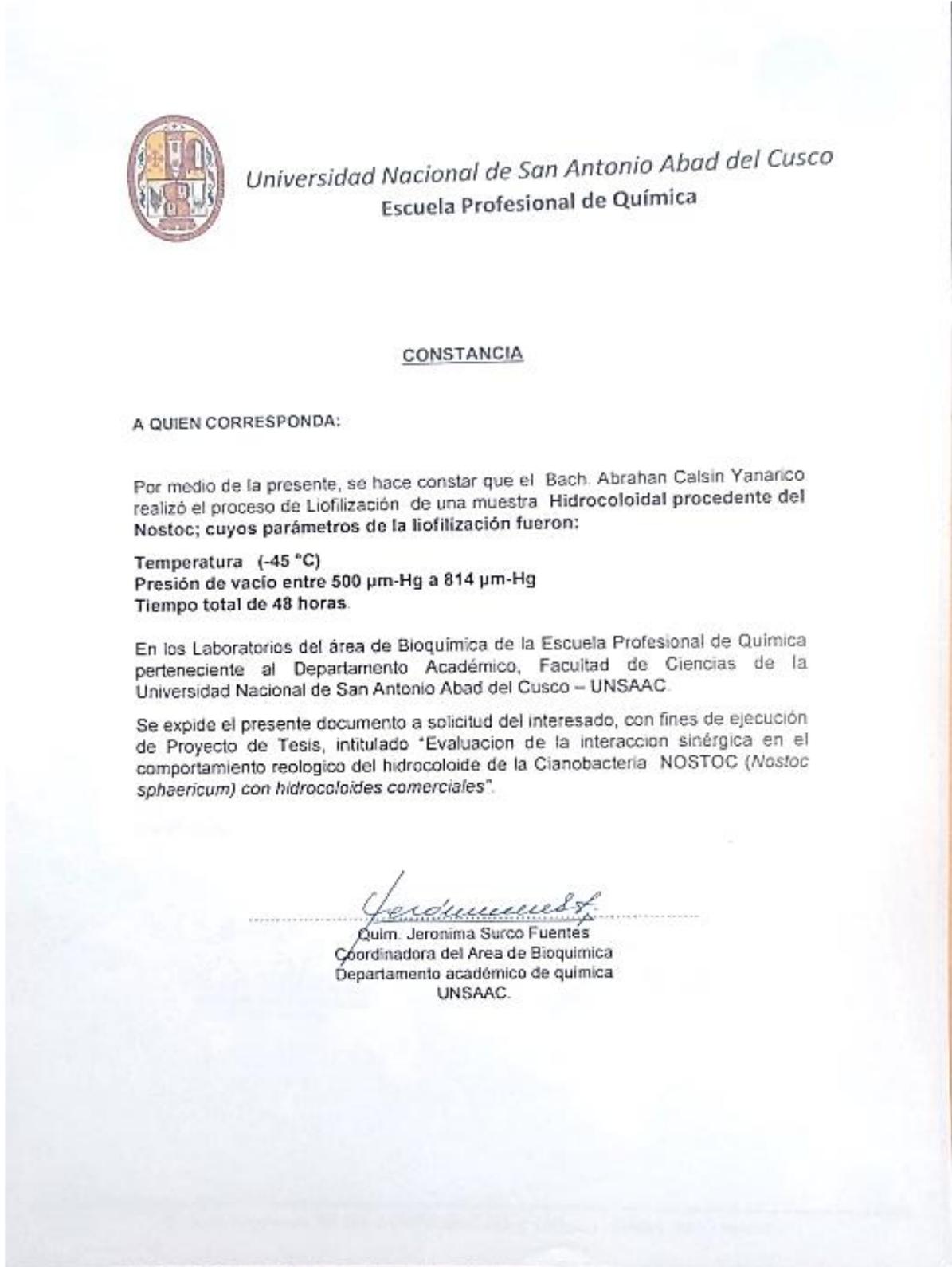


DECANO DE LA F.I.Q.
UNA - PUNO

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química - Cel.: 951755420



Figura A.2: Constancia de realización de liofilización del hidrocoloide del Nostoc



ANEXO 2: Panel fotográfico de la investigación realizada

Figura B.1: Algas cianofitas Nostoc (*Nostoc sphaericum*) y su habitat.



Figura B.2: Recolección de Nostoc (*Nostoc sphaericum*)



Figura B.3: Licuado y calentado para el extracto de hidrocoloide del Nostoc



Figura B.4: Filtrado y precipitado en etanol del hidrocoloide del Nostoc



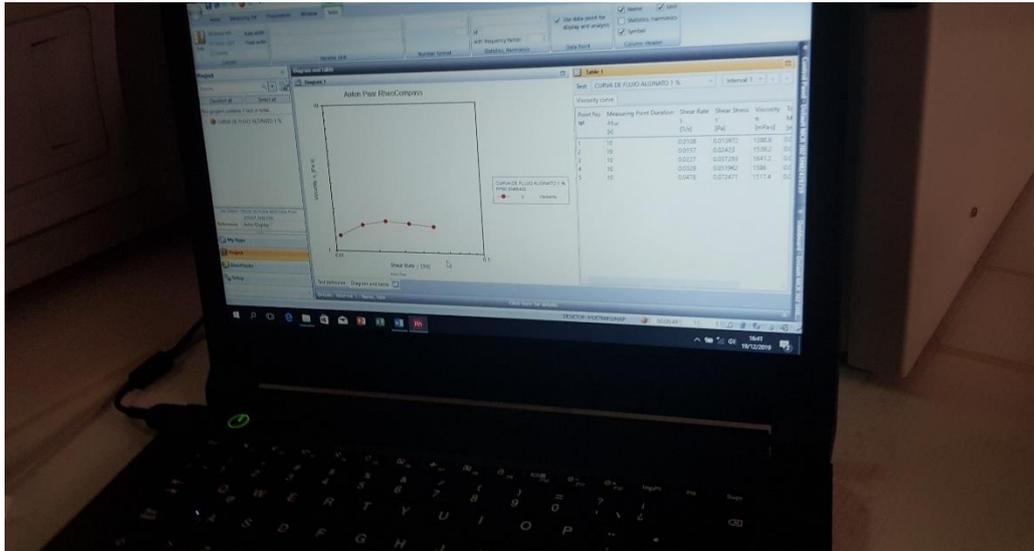
Figura B.5: Liofilizado del hidocoloide del Nostoc - UNSAAC



Figura B.6: Disolución y análisis reológico



Figura B.7: Recopilación de datos del análisis reológico





ANEXO 3: Diseño experimental para el procesamiento de datos de las propiedades viscoelásticas, respecto a las concentraciones del hidrocoloide de Nostoc y CMC.

Tratamiento	Concentración de (%)		Repetición	G'	G''
	Nostoc	CMC			
T1	1	0	R1 R2 R3	-	-
T2	0.75	0.25	R1 R2 R3	-	-
T3	0.5	0.5	R1 R2 R3	-	-
T4	0.25	0.75	R1 R2 R3	-	-
T5	0	1	R1 R2 R3	-	-

ANEXO 4: Diseño experimental para el procesamiento de datos de las propiedades viscoelásticas, respecto a las concentraciones del hidrocoloide de Nostoc y alginato de sodio.

Tratamiento	Concentración de (%)		Repetición	G'	G''
	Nostoc	Alginato			
T1	1	0	R1 R2 R3	-	-
T2	0.75	0.25	R1 R2 R3	-	-
T3	0.5	0.5	R1 R2 R3	-	-
T4	0.25	0.75	R1 R2 R3	-	-
T5	0	1	R1 R2 R3	-	-

ANEXO 5: Análisis de varianza para el módulo de almacenamiento G' de la fracción Nostoc:CMC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	4	2767.6	691.9	38.69	4.69E-06	***
Residuals	10	178.8	17.9			

ANEXO 6: Prueba de comparación de Tukey para el módulo de almacenamiento G' de la fracción Nostoc:CMC

Tratamiento (Nostoc-CMC)	G'	Grupo
T5	34.538±5.727	a
T4	31.044±2.607	a b
T3	19.959±7.044	b
T1	0.626±0.167	c
T2	4.833±0.417	c

ANEXO 7: Análisis de varianza para el módulo de pérdida G'' de la fracción Nostoc:CMC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value
Tratamiento	4	1428.4	357.1	42.84	2.92E-06 ***
Residuals	10	83.4	8.3		

ANEXO 8: Prueba de comparación de Tukey para el módulo de pérdida G'' de la fracción Nostoc:CMC

Tratamiento (Nostoc-CMC)	G''	Grupo
T4	23.444±1.811a	a
T5	25.187±3.959a	a
T3	15.072±4.735b	b
T1	0.99±0.318c	c
T2	4.433±0.45c	c

ANEXO 9: Análisis de varianza para el módulo de pérdida G' de la fracción Nostoc:alginato

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value
Tratamiento	4	3990	997.5	64.51	4.20E-07 ***
Residuals	10	155	15.5		

ANEXO 10: Prueba de comparación de Tukey para el módulo de almacenamiento G'
de la fracción Nostoc:alginato

Tratamiento (Nostoc-alginato)	G'	Grupo
T3	41.335±8.786	a
T1	0.626±0.167	b
T2	0.434±0.244	b
T4	0.747±0.129	b
T5	0.444±0.142	b

ANEXO 11: Análisis de varianza para el módulo de pérdida G'' de la fracción
Nostoc:alginato

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	4	83.2	20.801	25.17	3.34E-05	***
Residuals	10	8.27	0.827			

ANEXO 12: Prueba de comparación de Tukey para el módulo de pérdida G'' de la
fracción Nostoc:alginato

Tratamiento (Nostoc-alginato)	G''	Grupo
T3	7.877±1.81	a
T4	5.1±0.45	b
T5	3.396±0.56	b c
T1	0.99±0.318	c
T2	2.562±0.49	c



ANEXO 13: Diseño experimental para el procesamiento de datos respecto a las concentraciones del hidrocoloide de Nostoc y CMC.

Tratamiento	Concentración de (%)		Temperatura	k	n	η_{50}
	Nostoc	CMC				
T1	1	0	25	-	-	-
T2	1	0	50	-	-	-
T3	1	0	70	-	-	-
T4	0.75	0.25	25	-	-	-
T5	0.75	0.25	50	-	-	-
T6	0.75	0.25	70	-	-	-
T7	0.5	0.5	25	-	-	-
T8	0.5	0.5	50	-	-	-
T9	0.5	0.5	70	-	-	-
T10	0.25	0.75	25	-	-	-
T11	0.25	0.75	50	-	-	-
T12	0.25	0.75	70	-	-	-
T13	0	1	25	-	-	-
T14	0	1	50	-	-	-
T15	0	1	70	-	-	-

ANEXO 14: Diseño experimental para la recopilación de datos respecto a las concentraciones de hidrocoloide de Nostoc y alginato de sodio.

Tratamiento	Concentración de (%)		Temperatura	k	n	η_{50}
	Nostoc	Alginato				
T1	1	0	25	-	-	-
T2	1	0	50	-	-	-
T3	1	0	70	-	-	-
T4	0.75	0.25	25	-	-	-
T5	0.75	0.25	50	-	-	-
T6	0.75	0.25	70	-	-	-
T7	0.5	0.5	25	-	-	-
T8	0.5	0.5	50	-	-	-
T9	0.5	0.5	70	-	-	-
T10	0.25	0.75	25	-	-	-
T11	0.25	0.75	50	-	-	-
T12	0.25	0.75	70	-	-	-
T13	0	1	25	-	-	-
T14	0	1	50	-	-	-
T15	0	1	70	-	-	-



ANEXO 15: Análisis de varianza para el índice de consistencia K de la fracción

Nostoc:CMC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	14	1143.4	81.67	58.71	<2e-16
Residuals	30	41.7	1.39		***

ANEXO 16: Prueba de comparación de Tukey para el índice de consistencia K de la fracción Nostoc:CMC

Tratamiento (Nostoc-CMC)	K	Grupo
T13	17.697±0.816	a
T14	12.041±4.132	b
T15	5.285±0.586	c
T10	3.158±1.595	c d
T11	0.185±0.048	d
T12	1.315±0.455	d
T1	1.038±0.097	d
T2	0.078±0.004	d
T3	0.049±0.009	d
T4	0.106±0.015	d
T5	0.075±0.043	d
T6	0.088±0.025	d
T7	0.47±0.125	d
T8	0.284±0.022	d
T9	0.227±0.014	d



ANEXO 17: Análisis de varianza para el índice de flujo n de la fracción Nostoc:CMC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	14	0.4189	0.029925	11.86	1.27E-08	***
Residuals	30	0.0757	0.002523			

ANEXO 18: Prueba de comparación de Tukey para el índice de flujo n de la fracción Nostoc:CMC

Tratamiento (Nostoc-CMC)	n	Grupo
T3	0.621±0.036	a
T4	0.649±0.017	a
T8	0.605±0.004	a b
T5	0.596±0.031	a b c
T7	0.581±0.01	a b c
T9	0.602±0.017	a b c
T11	0.519±0.026	a b c d
T12	0.549±0.048	a b c d
T10	0.469±0.011	b c d e
T2	0.47±0.019	b c d e
T6	0.454±0.146	c d e
T1	0.41±0.014	d e
T15	0.424±0.042	d e
T13	0.342±0.018	e
T14	0.354±0.088	e



ANEXO 19: Análisis de varianza para la viscosidad aparente de la fracción

Nostoc:CMC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	14	6.742	0.4816	51.19	<2e-16	***
Residuals	30	0.282	0.0094			

ANEXO 20: Prueba de comparación de Tukey para la viscosidad η_{50} de la fracción

Nostoc:CMC

Tratamiento (Nostoc-CMC)	n	Grupo
T13	1.353±0.132	a
T14	0.943±0.289	b
T15	0.553±0.034	c
T10	0.391±0.185	c d
T11	0.196±0.048	d e
T12	0.18±0.043	d e
T1	0.018±0.004	e
T2	0.01±0	e
T3	0.011±0.001	e
T4	0.027±0.002	e
T5	0.016±0.011	e
T6	0.011±0.005	e
T7	0.091±0.022	e
T8	0.061±0.005	e
T9	0.048±0.001	e



ANEXO 21: Análisis de varianza para el índice de consistencia K de la fracción

Nostoc:alginato de sodio

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	14	631.9	45.13	33.59	1.79E-14	***
Residuals	30	40.3	1.34			

ANEXO 22: Prueba de comparación de Tukey para el índice de consistencia K de la fracción Nostoc:alginato

Tratamiento (Nostoc-alginato)	k	Grupo
T7	13.695±2.754	a
T8	7.918±2.54	b
T9	4.384±1.045	c
T4	3.36±2.215	c d
T5	2.347±0.287	c d
T6	1.362±0.176	c d
T1	0.185±0.048	d
T2	0.078±0.004	d
T10	0.116±0.029	d
T11	0.08±0.019	d
T12	0.107±0.011	d
T13	0.216±0.003	d
T14	0.139±0.028	d
T15	0.09±0.021	d
T3	0.049±0.009	d



ANEXO 23: Análisis de varianza para el índice de flujo n de la fracción

Nostoc:alginato de sodio.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	14	3.261	0.2329	203.7	<2e-16	***
Residuals	30	0.034	0.00114			

ANEXO 24: Prueba de comparación de Tukey para el índice de flujo n de la fracción

Nostoc:alginato

Tratamiento (Nostoc-alginato)	n	Grupo
T15	0.921±0.007	a
T11	0.827±0.006	a b
T12	0.835±0.032	a b
T13	0.823±0.001	a b
T14	0.842±0.022	a b
T10	0.808±0.011	b
T3	0.621±0.036	c
T1	0.41±0.014	d
T6	0.378±0.045	d
T2	0.47±0.019	d
T4	0.239±0.082	e
T5	0.274±0.019	e
T7	0.2±0.015	e
T8	0.207±0.031	e
T9	0.244±0.057	e



ANEXO 25: Análisis de varianza para la viscosidad aparente de la fracción

Nostoc:alginato

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	P value	
Tratamiento	14	5.246	0.3747	367.6	<2e-16	***
Residuals	30	0.031	0.001			

ANEXO 26: Prueba de comparación de Tukey para la viscosidad η_{50} de la fracción

Nostoc:alginato

Tratamiento (Nostoc-alginato)	η_{50}	Grupo
T7	0.595±0.086	a
T8	0.361±0.135	b
T9	0.225±0.025	c
T4	0.155±0.05	c d
T5	0.137±0.014	c d e
T6	0.119±0.005	c d e
T13	0.108±0.001	c d e
T10	0.054±0.012	d e
T11	0.041±0.01	d e
T12	0.056±0.008	d e
T14	0.074±0.008	d e
T15	0.066±0.013	d e
T1	0.018±0.004	e
T2	0.01±0	e
T3	0.011±0.001	e



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Abraham Calsin Yanarico
identificado con DNI 46189528 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SINÉRGICA EN EL COMPORTAMIENTO
REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE DE LA CIANOBACTERIA NOSTOC
(NOSTOC SPHAERICUM) CON HIDROCOLOIDES COMERCIALES ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 15 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ABRAHAN CALSIN YONARICO
identificado con DNI 46189528 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN SINÉRGICA EN EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL HIDROCOLOIDE DE LA CIANOBACTERIA NOSTOC (NOSTOC SPHAERICUM) CON HIDROCOLOIDES COMERCIALES"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 15 de Julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella