UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL HIDROCOLOIDE OBTENIDO A PARTIR DEL ALGA *Nostoc sp* (Proveniente de la laguna Huascaccocha)

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

JHUNIOR VALDERRAMA ROSAS

Abancay, Agosto del 2012

PERU

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC
CÓDIGO MFN
T
IAG
V
2012
BIBLIOTECA CENTRAL
FECHA DE INGRESO: 14 ENE 2013
Nº DE INGRESO: 00307

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

TESIS

TITULO:

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL HIDROCOLOIDE OBTENIDO A PARTIR DEL ALGA Nostoc sp (Proveniente de la laguna Huascaccocha)

RESPONSABLE: **JHUNIOR VALDERRAMA ROSAS**

.....

Asesor

Mag. Fulgencio Vilcanqui Pérez

.....

Presidente de jurado

Blgo. Trifón Orós Huayhua

.....

Primer miembro de jurado

Ing. A. Enrique Mujica Paredes

.....

Segundo miembro de jurado

Ing. Alfredo Fernandez Ayma

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL HIDROCOLOIDE OBTENIDO A PARTIR DEL ALGA *Nostoc sp* (Proveniente de la laguna Huascaccocha)

DEDICATORIA

A mis padres Justo y Cirila, mis hermanos Samuel, Marleny, María Flor, Margoth, Ana Luisa y Emely Yenifer, y a mis queridos abuelos a los que quiero tanto, porque son mi apoyo y mi fuerza de voluntad.

A mis amigos que siempre estan dispuestos a ayudar en lo momentos de dificultad, y también a mis amigos que ya no estan mas con nosotros que desde donde estan alimentan mi fuerza espiritual.

AGRADECIMIENTO

La presencia de muchas personas ha hecho posible la ejecución de la tesis, me gustaría darles las gracias:

A Dios por concederme la vida y acompañar mi sendero.

A mi asesor de tesis el Ing. M.C. Fulgencio Vilcanqui Pérez por todo su apoyo e inestimable ayuda en la realización de la tesis.

A mis jurados de tesis Blgo. Trifón Orós Huayhua, Ing. A. Enrique Mujica Paredes y al Ing. Alfredo Fernández Ayma, quienes siempre han mostrado interés en que la tesis sea lo más fructífero posible con sus observaciones y sugerencias en toda la etapa de revisión y sustentación.

A mi padre, mi madre, mis hermanos y toda mi familia porque son los mejores, y aunque a veces la convivencia se torne difícil, siempre encontramos la manera de sobrellevarlo.

A todos mis amigos/as, los que siempre están ahí, los de cerca y los de lejos, sin ustedes hubiese sido muy difícil seguir, por todo ello mil gracias. En especial a mis compañeros de la Universidad de la EAPIA y a mis amigos del código 052.

Un especial agradecimiento a la PhD Lucy Marisol Guanuchi Orellana por todo su apoyo moral en toda mi etapa de estudiante.

INDICE DE CONTENIDO

Pág.

RESÚMEN 1
ABSTRACT 2
I. INTRODUCCIÓN 3
Objetivos 4

II. MARCO TEÓRICO 5
2.1 Antecedente del alga *Nostoc sp* 5
2.2 Descripción botánica del *Nostoc sp* 6
2.2.1 Forma 6
2.2.2 Tamaño 6
2.2.3 Color 6
2.2.4 Estructura 7
2.2.5 Reproducción 7
2.2.6 Evolución 7
2.2.7 Taxonomía 7
2.3 Hidrocoloides en la industria alimentaria 8
2.4 Composición de los hidrocoloide 9
2.5 Estructura molecular de los hidrocoloides 10
2.6 Características de los hidrocoloides de origen algal 11
2.7 Extracción de hidrocoloides 12
2.8 Métodos analíticos para la determinación de fibra alimentaria 13
2.8.1 Métodos químicos 13
2.8.1.1 Método de fibra bruta 13
2.8.1.2 Métodos detergentes 14
2.8.2 Métodos enzimáticos 14
2.8.3 Métodos enzimático-gravimétricos 15
2.9 Tecnología de precipitado con alcohol 15
2.10 Método oficial de la AOAC 16
2.11 Métodos de fraccionamiento 17
2.12 Hidrocoloides utilizados en la industria alimentaria 17
2.12.1 Pectina 17
2.12.2 Carrageninas 17

2.12.2.1 Tipos básicos de Carrageninas 18
2.12.3 Alginatos 18
2.12.4 Agar 18
2.13 Propiedades funcionales de los hidrocoloides 19
2.14 Propiedades de los hidrocoloides 21
2.14.1 Propiedades de hidratación 21
2.14.2 Propiedades emulsificantes 21
2.14.3 Propiedades espumantes 23
2.14.4 Propiedades de fermentación de los hidrocoloides 24
2.15 Efectos fisiológicos y beneficiosos de los hidrocoloides sobre la salud 26
2.15.1 Atenuación de la glucosa en sangre 26
2.15.2 Disminución del colesterol sanguíneo 27
2.15.3 Regulación de la función colónica 28
2.15.4 Saciedad y reducción de peso 29
2.16 Propiedades funcionales y tecnológicas de los hidrocoloides 30
2.16.1 Capacidad de retención de agua (CRA) del hidrocoloide 32
2.16.2 Capacidad de retención de aceite (CRAc) 32
2.16.3 Capaciadad de adsorción de compuestos orgánicos 33
2.16.4 Capacidad de intercambio de cationes (Cic) 33
2.16.5 Capacidad de absorción de agua (CAA) del hidrocoloide 34
2.16.6 Capacidad de Hinchamiento (CH) del hidrocoloide 34
2.17 Influencia del tamaño de partícula en las propiedades funcionales de los hidrocoloides 35
2.17.1 Características de la superficie de partícula 36

III. MATERIALES Y MÉTODOS 37
3.1 Materiales 37
3.1.1 Lugar experimental 37
3.1.2 Descripción del alga 37
3.1.3 Materiales, equipos y reactivo 37
3.2 Métodos 39
3.2.1 Tipo y nivel de investigación 39
3.2.2 Diseño experimental 39
3.2.3 Población 41

3.2.3.1 Características y delimitación 41
3.2.3.2 Ubicación y espacio temporal 41
3.2.4 Muestra 42
3.2.5 Métodos y procedimiento experimental 42
3.2.5.1 Metodología para la extracción del hidrocoloide 42
3.2.5.2 Metodología para evaluación de las propiedades funcionales por métodos físicos 42
3.2.5.2.1 Capacidad de retención de agua – CRA (Método centrífugo) 42
3.2.5.2.2 Capacidad de absorción de agua – CAA (Método centrífugo) 43
3.2.5.2.3 Capacidad de Hinchamiento – CH 43
3.2.5.3 Descripción del procedimiento experimental 43
3.2.6 Técnicas de recolección de datos 46
3.2.7 Análisis estadístico 47

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES 48
4.1 Extracción del hidrocoloide por el método de precipitación con alcohol 48
4.2 Propiedades funcionales 51
4.2.1 Capacidad de retención de agua (CRA) 51
4.2.2 Capacidad de absorción de agua (CAA) 53
4.2.3 Capacidad de Hinchamiento (CH) 56

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61
5.1 Conclusiones 61
5.2 Recomendaciones 62

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

ANEXOS 71

Lista de símbolos

O_2	Oxígeno molecular
CO_2	Dióxido de carbono
CMC	Carboxi metil celulosa
m^3	Metros cúbicos
a_w	Actividad de agua
CE	Capacidad de emulsión
EE	Estabilidad de las emulsiones
pH	Potencial de hidrogeniones
AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
Kcal/g	Kilocalorías/ gramo
CH_4	Metano
H_2O	Agua
H_2	Hidrógeno molecular
CH	Capacidad de hinchamiento
ml H_2O/g m.s.	Mililitros de agua/ gramo de materia seca
CRA	Capacidad de retención de agua
g H_2O/g m.s.	Gramos de agua/gramo de materia seca
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
p/v	Peso/volumen
v/v	Volumen/volumen
NaOH	Hidróxido de sodio
N	Normalidad
°C	Grados centígrados
FAD	Fibra Ácido Detergente
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
AACC	American Association of Cereal Chemist
FDA	Food and Drug Administration

USDA	United States Department of Agriculture
PNA	Polisacáridos no-almidón
AR	Almidón resistente
min	Minutos
%	Porcentaje
cm	Centímetros
mm	Milímetros
CRAc	Capacidad de retención de aceite
Cic	Capacidad de intercambio de cationes
meq/g	Miliequivalentes/ gramo
µm	Micrómetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
HP	Horse power
g	Gramo
ml	Mililitros
h	Horas
°	Grados alcohólicos
rpm	Revoluciones por minuto
P1	Peso húmedo de la fibra
P2	Peso seco de la fibra
Pm	Peso de la muestra
V0	Volumen inicial ocupado por la muestra
Vf	Volumen final ocupado por la muestra
ANOVA	Análisis de varianza
OH	Alcohol
CV	Coeficiente de variación

Lista de cuadros

Cuadro		Página
1	Hidrocoloides más utilizados como aditivos en la industria alimentaria	9
2	Diseño experimental utilizado para la extracción del hidrocoloide	40
3	Diseño experimental para la evaluación funcional del hidrocoloide	41
4	Valores del rendimiento obtenidos en la etapa de extracción del hidrocoloide	49
5	Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente rendimiento y los factores de extracción	50
6	Valores de capacidad de retención de agua (CRA) obtenidos para cada tratamiento	52
7	Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente Capacidad de Retención de Agua (CRA) y los factores de extracción	53
8	Valores de capacidad de absorción de agua (CAA) obtenidos para cada tratamiento	54
9	Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente Capacidad de Absorción de Agua (CAA) y los factores de extracción	56
10	Valores de capacidad de hinchamiento (CH) obtenidos para cada tratamiento	58
11	Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente Capacidad de Hinchamiento (CH) y los factores de extracción	60

Lista de figuras

Figura		Página
1	Laguna Huascaccocha	6
2	Mecanismos físicos de inestabilidad de una emulsión	23
3	Etapas de formación de espuma	24
4	Proceso de fermentación de la fibra alimentaria en el colon. Producción de los ácidos grasos de cadena corta (AGCC)	26
5	Diagrama de flujo general del proceso de experimentación	44
6	Capacidad de retención de agua (CRA) de diferentes fuentes de hidrocoloide	52
7	Capacidad de absorción de agua (CAA) de diferentes tipos de hidrocoloides	55
8	Capacidad de hinchamiento (CH) de diferentes tipos de hidrocoloide	59

RESUMEN

En el trabajo de investigación se tuvo como objetivos evaluar los parámetros de extracción (temperatura de extracción, relación de volumen de alcohol solución de alga y tiempo de precipitado) en función al rendimiento y las propiedades funcionales (capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de hinchamiento (CH)) del hidrocoloide. Para ello, en la etapa de extracción se utilizó el método de precipitación con alcohol comercial de 96°. Con parámetros de temperatura de extracción con tres niveles (75, 80 y 85°C), relación alcohol : solución de alga con dos niveles (1:1 y 1,5:1 v/v) y el tiempo de precipitado con dos niveles (10, 15min); teniendo como variable de respuesta el rendimiento del hidrocoloide (%). Los mismos parámetros fueron utilizados para la segunda variable de respuesta siendo éstas las propiedades funcionales explicados en CRA, CAA y CH, siguiendo la metodología propuesta por Mc Conell y Col (1974). Los resultados reportaron diferencias significativas entre los tratamientos (α = 0,05), cuyos valores más altos para el rendimiento fueron seis; por lo que considerando el factor de costos en función al requerimiento de energía para cada tratamiento, se seleccionó como el más óptimo el tratamiento 3 (87,42%), con parámetros de extracción 75°C, 1,5:1v/v y 10min. En la etapa de la evaluación funcional del hidrocoloide, los resultados para la CRA expresados en g de agua retenida por g de m.s. arrojaron dos tratamientos con valores más altos, y considerando el factor de costos en función a la demanda de energía y reactivo, se optó por el tratamiento 1 (1,32) como el mejor, a condiciones de extracción 75°C, 1:1 v/v y 10min; con respecto a la CAA expresados en g de agua absorbida por g m.s., los resultados mostraron tres tratamientos con valores superiores, considerando el factor económico en función al requerimiento de energía y reactivo, se seleccionó el tratamiento 1 (0,89) como el más óptimo con parámetros de extracción 75°C, 1:1v/v y 10min; para la CH expresados en mL de agua por g m.s. los resultados reflejaron dos tratamientos con valores superiores, y a razón de otras investigaciones en función de los valores más altos, se optó por el tratamiento 10 (9,00) como el más óptimo a condiciones de extracción 85°C, 1:1v/v y 15min.

ABSTRACT

In this research work to has how objectives evaluate the extraction parameters (extraction temperature, alcohol volume relation alga solution and precipitate time) in function to yield and the functional properties (water holding capacity (WHC), water absorption capacity (WAC) and swelling capacity (SH)) of the hydrocolloid. For it, in the extraction stage was utilized the precipitation method with 96° commercial alcohol. With extraction temperature parameters with three levels (75, 80 and 85°C), alcohol relation : alga solution with two levels (1:1 and 1,5:1 v/v) and the precipitate time with two levels (10 and 15 min); had how reply variable the yield of the hydrocolloid (%). The same parameters were utilized for the second reply variable was that the functional properties explained in WHC, WAC and SH, followed the methodology offer for Mc Conell et al, (1974). The results reported significative difference between the treatments (α=0.05), in which the highest values of yield were six; therefore considering that the costs in function of the energy requirements for each treatment, were selected the treatment three (87,42%), with extraction parameters 75°C, 1,5:1v/v and 10min. In the stage functional evaluation of the hydrocolloid, the results for WHC expressed in g holding water by g of m.s. reporting two treatment with highest values, and considering the costs factor in function to the demand of energy and alcohol, were selected for the treatment one (1,32) how the best, to extraction conditions 75°C, 1:1v/v and 10min, with respect to the WAC expressed in g of absorbed water by g m.s., the results reporting three treatment with upper values, considering the costs factor in function to requirement of energy and alcohol, were selected the treatment one (0,89) with the best with extractions conditions 75°C, 1:1v/v and 10min; for the SH expressed in mL of water by g m.s., the results reflected two treatment with superior values, and reason of others investigations in function of the values highest, were selected for the treatment ten (9,00) how the best to extractions conditions 85°C, 1:1v/v and 15min.

I. INTRODUCCIÓN

Los hidrocoloides son componentes que, además de ser beneficioso para la salud, puede resultar adecuado para aumentar la viscosidad y otras propiedades relacionadas de determinados productos, son muy utilizados en el procesamiento de muchos alimentos. Los hidrocoloide realizan al menos tres funciones en el procesamiento de los alimentos: emulsificantes, estabilizantes y espesantes. Además, algunas también son agentes gelificantes, formadoras de cuerpo, agentes de suspensión y aumentan la capacidad para la dispersión de gases en sólidos o líquidos. La industria de procesamiento de alimentos, así como otras aplicaciones industriales de los hidrocoloides, aprovechan sus propiedades físicas, especialmente su viscosidad y su estructura coloidal. No obstante, la procedencia de la misma, así como su concentración y el modo en que se adicione puede afectar a su funcionalidad.

La inclusión de los hidrocoloides en alimentos ayudan a mejorar las propiedades organolépticas y sensoriales, y también previenen las enfermedades cardiovasculares, cáncer, y diabetes siendo estas las principales causas de muerte en muchos países. Los consumidores están, cada día más, interesados en consumir una dieta saludable. El efecto de los factores dietéticos en la promoción de la salud y en la prevención de enfermedades es un tema de gran interés en la investigación actual. Hoy día, hay un gran interés en los componentes funcionales de los ingredientes alimenticios, debido principalmente a que diversos estudios han demostrado que las especies reactivas de oxígeno, en especial los radicales libres, son parte de la etiología de las enfermedades degenerativas.

Los alimentos funcionales son alimentos que se asemejan a los tradicionales, pero que se diferencian de ellos en que ofrecen beneficios más allá de su valor nutricional y energético, en la promoción y prevención de algunas enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares, cáncer, y diabetes son las principales causas de muerte en muchos países. Los consumidores están, cada día más, interesados en consumir una dieta saludable, que pueda reducir el riesgo de estas enfermedades crónicas.

Las fuentes de hidrocoloide son diversas, en la presente investigación se utilizó como fuente de hidrocoloide el alga *Nostoc sp* provenientes de la laguna Huascaccocha, el cual está ubicada en la zona altoandina de Apurímac. La laguna Huascaccocha es el

único hábitat hasta ahora conocida en la región de Apurímac, por lo que se viene realizando actividades de dispersión mediante siembra directa en las lagunas aledañas con el propósito de ampliar su hábitat para el aprovechamiento y salvaguardar la especie.

Objetivos

- **Objetivo general**

  Evaluar la extracción y caracterización funcional del hidrocoloide obtenido a partir de la alga *Nostoc sp.*

- **Objetivos específicos**

- Evaluar la extracción del hidrocoloide por el método de precipitación con alcohol comercial.
- Evaluar las propiedades funcionales de capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de hinchamiento (CH) en función a los factores de extracción.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Alga *Nostoc sp*

Las algas *Nostoc sp* comúnmente llamado Morukuto, pertenece al grupo de algas cianofíceas que se caracterizan por presentar coloración verde-azul con tonalidades que varían desde verde olivo, verde oscuro, verde amarillento y oscuro cuando llegan a envejecer. Existe en el mundo más de 90 especies de este género. Las algas *Nostoc sp* objeto de estudio son organismos de células esféricas que forman un cuerpo o talo igualmente esférico, habita en forma dispersa en las profundidades de la laguna de Huascaccocha (Figura 1) a 4267 msnm ubicada en la localidad de Atancama, distrito de Lambrama, provincia de Abancay departamento de Apurímac (Orós, 2009). El ambiente lagunar donde se proliferan al estado natural las algas. La población del *Nostoc sp* se distribuye en el fondo lagunar, sobre un substrato limoso donde crecen diversas asociaciones de flora subacuática. Las principales fuentes de alimentación de la laguna son los manantiales de la cabecera. El nivel de la alguna en tiempo de lluvia sube notablemente y en la época de estiaje baja. El piso lagunar es sedimento de limo con abundante carga vegetacional subacuática. La flora sumergente está constituida por *Chara foetida*, *Nitella sp*, *Scipus sp*, también contiene una variada fauna avícola de patos cordilleranos como son *Chloephaga melanoptera*, *Plegadis vidwyii* y *Larrus serranus* y otras aves e insectos acuáticos.

Las humosas tierras que circundan la laguna son productoras de abundante vegetación cespitosa alimento cotidiano de más de 600 ejemplares de vicuñas que habitan en los alrededores. La laguna tiene una profundidad de 4 metros, ancho 376 metros y largo 752 metros, el volumen aproximado del cuerpo lagunar supera los 500,000 m^3 de agua. La temperatura del agua varía de 3,5 °C a las 7:00 am y alrededor del medio día 11 °C.

Hasta el momento no se ha reportado la existencia de Murukuto en otras lagunas vecinas, constituyéndose la única reserva del alga en el entendido que la especie tiene carácter endémico para la laguna de Huascaccocha (Orós, 2009).

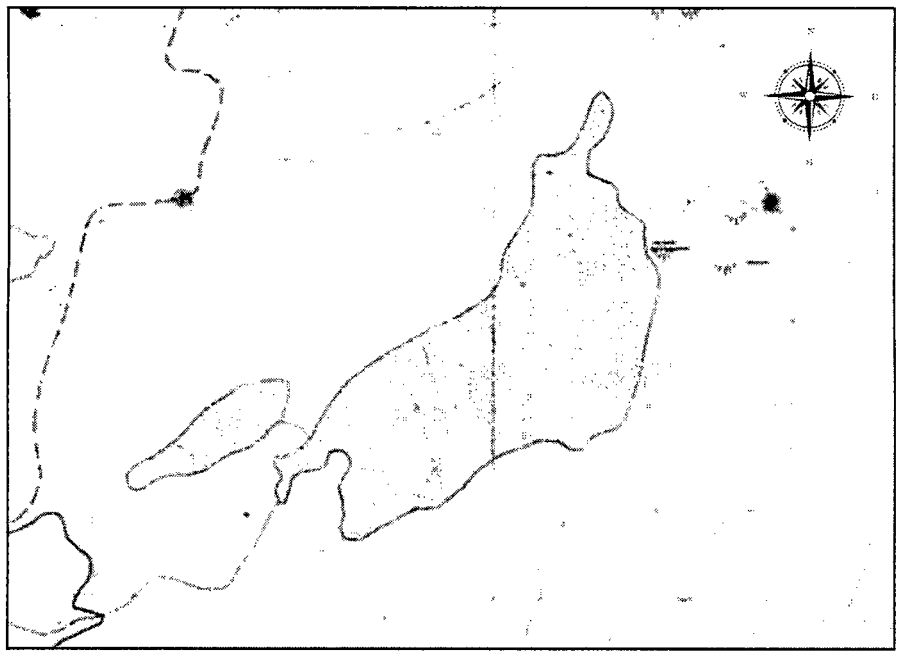


Figura 1: Laguna Huascaccocha

2.2 Descripción botánica del *Nostoc sp*

2.2.1 Forma

La forma típica del alga Murukuto es cocoide o globular con ligeras variaciones de la forma.

2.2.2 Tamaño

El tamaño que alcanza en su desarrollo es variable desde muy diminutas de 1 mm de diámetro hasta un máximo de 11 cm de diámetro con peso de 300 gramos.

2.2.3 Color

El color característico del alga es verde amarillento en estado de óptimo madurez; sin embargo, se ha observado coloraciones de verde amarillento, verde oscuro, verde tiznado, verde con manchas negras, marrón oscuro, verde con puntuaciones oscuras, las algas en descomposición manifiestan color oscuro. El pigmento que otorga el color característico son las clorofilas, carotenos, ficocianinas, ficoeritrinas y xantófilas que participan en la actividad trófica del alga.

2.2.4 Estructura

La estructura del alga Murukuto consta de las siguientes partes:

- Túnica. Denominados también como cutícula o envoltura o estuche. Es la capa protectora externa que es firme, lisa y lustrosa que varía de 0.1 a 0.15 cm de espesor, contiene polisacáridos, exhibe numerosas puntuaciones granulares finas de ficocianina que es una propiedad de la especie.
- Capa de cloroplasto. Que contiene abundante pigmento fotosintético, son células que promueven la formación de yemas o brotes en la reproducción asexual de la especie, que mide un espesor de 0.2 hasta a 0.8 cm.
- Matrix. Es la porción central de consistencia gelatinosa con abundante mucílago blanquecino e hialino, en la medida que llega a su madurez, esta porción se vuelve dura siempre ocupa la parte central.

2.2.5 Reproducción

La proliferación de la especie se realiza mediante reproducción asexual o mecanismo de fisión simple, que tiene su origen en la capa de cloroplasto. El número de yemas o brotes por cada alga varía de un brote hasta más de 50 brotes por unidad de Murukuto.

2.2.6 Evolución

Se consideran como organismos autótrofos más primitivos. Las cianofíceas o algas verde azules se caracterizan por ser procariotas que presentan un nucleoide sin membrana nuclear.

2.2.7 Taxonomía

Reino	: Monera
División	: Cyanobacteria
Clase	: Cyanophyceae
Orden	: Nostocales
Familia	: Nostocaceae
Género	: Nostoc
Especie	: *Nostoc sp*

Fuente: (Orós, 2009).

2.3 Hidrocoloides en la industria alimentaria

Los hidrocoloides son polisacáridos de alto peso molecular que poseen propiedades coloidales. Son sustancias que son dispersables en agua fría o caliente para producir soluciones o mezclas con alta viscosidad, y se disuelven sin alterar las propiedades sensoriales del alimento sobre el cual están aplicados (Fennema y col., 1994). La industria alimentaria utiliza hidrocoloides o gomas, los cuales son polímeros hidrofílicos de origen vegetal, animal, microbiano o sintético. Entre las propiedades que aportan a los productos alimenticios están la viscosidad (incluyendo la gelificación y espesamiento) y la retención de agua, además de la emulsión, estabilización, prevención de recristalización del hielo y propiedades organolépticas (Pottí, 2007).

Los hidrocoloides son una excelente barrera para el O_2 y CO_2, pero no impiden la transmisión del vapor de agua por su carácter hidrofílico (Pérez *et al.,* 2008), por lo tanto también son utilizados películas comestibles en productos hortofrutícolas. Pueden clasificarse de acuerdo con su composición, carga molecular o solubilidad en agua. El amplio uso de los polisacáridos en alimentos se corresponde principalmente con su amplia disponibilidad, no toxicidad, diversidad de propiedades físicas y químicas, propiedades organolépticas aceptables y normalmente a su bajo costo (Silva, 2010).

Generalmente son utilizadas en productos alimenticios en concentraciones de 1 – 2%, indicando su gran habilidad para producir viscosidad y formar geles (BeMiller, 2007). El cambio de la viscosidad ocurre como consecuencia del alto peso molecular, su naturaleza polimérica y las interacciones entre cadenas de polímero cuando son disueltos o dispersados (Yaseen, *et al.*, 2005). En el Cuadro 1 se detalla el origen y usos de los hidrocoloides más utilizados como aditivos en la industria alimentaria.

Cuadro 1

Hidrocoloides más utilizados como aditivos en la industria alimentaria

Hidrocoloide	Origen				Uso		
	Vegetal	Algas	Microbiano	Animal	Gelifica	Espesa	Estabiliza
Pectinas	X				X	X	X
Carragenanos		X			X	X	X
Agar		X			X		
Alginatos		X			X	X	X
CMC	X					X	
Goma Guar	X					X	
Goma Garrofín	X					X	
Goma Xantana			X		X	X	X
Goma Gelana			X		X		
Goma Arábiga	X					X	X
Gelatina				X	X		
Caseinato				X	X		
Proteína Suero				X	X		
Proteína Soja	X				X		
Lecitinas	X			X			X
Mono y Diglecéridos	X						X

Fuente: Durán L. 2001

2.4 Composición de los hidrocoloides

Las propiedades funcionales de estos compuestos dependen de la conformación que adoptan los polisacáridos en la disolución en función de la composición y la presencia de sustituyentes. Las interacciones se presentan en su mayoría a través de enlaces de hidrógeno y las dos conformaciones principales en disolución son de ordenación irregular y helicoidal (Silva, 2010). Entre los factores que influyen en la composición y tamaño de las moléculas de polisacárido está el genotipo, las condiciones ambientales durante el cultivo y la edad de las plantas, entre otros. Debido a esta variación, la

composición se expresa como porcentaje o razón de los principales monosacáridos (Ramsden, 2004).

2.5 Estructura molecular de los hidrocoloides

Uno de los aspectos más relevantes en el comportamiento de los hidrocoloides es la dependencia de las propiedades físicas, químicas y reológicas, como resultado de una estructura molecular especifica. La estructura, lineal o ramificada, y el grado de ramificación, determinan la capacidad de retención de agua y, por tanto, las características reológicas y la textura que confieren estos polisacáridos (Cubero *et al.,* 2002). Es de considerar, que debido a su origen natural, la estructura molecular de estos materiales puede variar entre especies y dentro de una misma especie.

En general, estos polisacáridos de interés se clasifican según tres tipos de estructura con propiedades claramente diferenciadas: estructura lineal, estructura muy ramificada o globular y estructura lineal sustituida (Cubero *et al.,* 2002).

La ***estructura lineal*** presenta la conformación más simple y está compuesta por moléculas de glúcidos unidos en cadena. Presentan un volumen hidrodinámico considerable y modifican la viscosidad de forma importante. En reposo, las moléculas adquieren un estado de equilibrio estabilizado por interacciones débiles intermoleculares, que se destruyen por la aplicación de una fuerza de cizalla, exhibiendo un comportamiento típicamente seudoplástico. Pueden observarse fenómenos de precipitación en función de la concentración de polímero a través de la formación de unidades de gran peso molecular.

La ***estructura muy ramificada o globular*** presenta cadenas laterales que siguen un patrón de sustitución y que pueden alcanzar pesos moleculares elevados. Estas estructuras presentan tendencia a enrollarse dentro de sí en una conformación compacta, ocupando un volumen pequeño en disolución y presentan un radio de rotación relativamente pequeño en relación a su peso molecular. Esto determina que la modificación de la viscosidad y las propiedades reológicas sea limitada. A concentraciones altas de hidrocoloide pueden formar geles. La existencia de cadenas

laterales dificulta las interacciones para formar aglomerados, razón por la que no presentan tendencia a la precipitación. Presentan comportamiento reológico de tipo Newtoniano en un rango de concentración de polímero y aunque la viscosidad obtenida respecto a la concentración es generalmente más baja respecto a los polímeros con otro tipo de estructuras, esta propiedad se mantiene prácticamente inalterada con la velocidad de cizalla, aún a valores altos de esta variable.

La ***estructura lineal sustituida*** corresponde a una cadena lineal principal con ramificaciones cortas que se distribuyen de forma alterna, dando lugar a segmentos lisos y segmentos ramificados que le confieren un comportamiento mixto entre la estructura lineal y la estructura ramificada. Este tipo de moléculas forma disoluciones muy viscosas, comparables a las obtenidas con polímeros lineales, son estables y no forman precipitados. Forman geles fuertes y flexibles (Cubero *et al.*, 2002).

En relación con el tipo de estructura molecular, se mencionan algunos hidrocoloides representativos de cada categoría.

- Polímeros de estructura lineal: celulosas, pectina, almidón, alginatos, carragenina.
- Polímeros de estructura ligeramente ramificada: dextrano.
- Polímeros de estructura altamente ramificada: goma arábiga, tragacanto.
- Polímeros de estructura lineal substituida: goma guar, garrofín.

2.6 Características de los hidrocoloides de origen algal

En las algas marinas, la estructura primaria de los polisacáridos varia en composición y secuencia monomérica, peso molecular, configuración anomérica, posición del enlace glucosídico y densidad de cargas. Estas variaciones estructurales dependen del tipo de alga que los produce y de la manera en que ellas responde al medio ambiente (Yalpani, 1988).

La diversidad estructural de los polisacáridos explica su amplio rango de propiedades físicas, químicas y biológicas, algunas de las cuales han encontrado uso en múltiples aplicaciones.

Las algas rojas contienen principalmente galactanos; agar y carragenanos. De entre ellas, las algas pertenecientes a los géneros *Gracilaria, Gelidium, Gelidiela* y *Gracilariopsis,* entre otras sintetizan agar. El agar está constituido por dos fracciones polisacáridas; la agarosa y la agaropectina. La agarosa es el componente principal, y presenta alrededor del 70% del total; tanto la agarosa como la agaropectina tienen la misma estructura basica constituida por unidades alternas de galactosa y 3,6-anhidrogalactosa, ambas en forma piranosa. A diferencia de la agarosa, la agaropectina posee alto contenido de sulfato y piruvato (Lahaye *et al.,* 1985; Armisen y Galatas, 1987). Las algas pertenecientes a los generos, *Gigartina, Kappaphycus* y *Euchema* contienen carragenanos, los cuales están formados por unidades de galactosa y/o 3,6-anhidrogalactosa con o sin grupos sulfatos, unidades por enlaces alternos $\alpha D(1\rightarrow 3)$ y $\beta D(1\rightarrow 4)$. Dependiendo del grado y patrón de sulfatación y de la presencia de 3,6-anhidrogalactosa se distinguen varios tipos de carragenanos. Cada tipo de carragenano tiene propiedades hidrocoloides únicas. Existen alrededor de una docena de carragenanos.

Chaplin (2008), menciona que algunos de los hidrocoloides más frecuentemente utilizados en la industria son el agar, alginatos, arabinoxilanos, carragenanos, carboximetilcelulosa, celulosa, goma guar, goma arábica, almidón, goma xantan y pectina.

2.7 Extracción de hidrocoloides

La extracción de hidrocoloides se realizan de distintas maneras, existen diferentes métodos para determinar fibra alimentaria, se debe de tener en cuenta el tipo de materia prima del cual se desea obtener el hidrocoloide, la fuente (vegetal, algal, microbiano), tipo de hidrocoloide, composición de la materia prima. Así Inmaculada M. (2008), extrajo fibra alimentaria de subproductos de leguminosas de okara, vaina de haba y

vaina de guisante, obteniendo como contenido de fibra alimentaria total 55,48 %, 40,11% y 58,58% para la okara, vaina de haba y vaina de guisante. Asimismo Flórez *et al.* (2006) reporta como contenido de fibra alimentaria total de maracuyá 66,9%, piña 55,9%, limón 54,9%, naranja 62,2%, y mandarina 60,9%. De la misma manera Sánchez Guzmán, (2005) encontró que para la fibra dietetica de los residuos fibrosos de la cascara de mango Obo fue de 40% de fibra total. Villarroel *et al.*(2003) tambien reportó que la fibra alimentaria del musgo *Sphagnum magellanicum* llega a 77%.

2.8 Métodos analíticos para la determinación de fibra alimentaria

Ningún método analítico es capaz de medir todos los componentes de la fibra en los alimentos. Existe la necesidad de encontrar un método capaz de analizar todos los componentes descritos en la definición de la fibra alimentaria, al mismo tiempo que excluya aquellos que no interesen. Pero la ausencia de un acuerdo internacional para definir y elegir un método adecuado para el análisis de la fibra alimentaria hace que existan diversos métodos para aislar y fraccionar el grupo de sustancias que la conforman (Inmaculada, 2008).

2.8.1 Métodos químicos

2.8.1.1 Método de fibra bruta

Consiste en un ataque secuencial con ácido (H_2SO_4 1,25% v/v) y con álcali (NaOH 1,25% p/v) obteniéndose un residuo denominado fibra bruta.

Este método presenta grandes inconvenientes ya que existen pérdidas considerables de distintos componentes de la fibra. Según Van Soest y McQueen (1973), no se cuantifican un 80% de las hemicelulosas, un 60% de la lignina y un 50% de la celulosa.

Otros autores han señalado la gran diferencia cuantitativa que se produce al emplear un método de fibra bruta para evaluar la fibra alimentaria (Burdaspal *et al.,* 1980). Así pues

los valores reales de lo que hoy día se entiende por fibra pueden ser unas cinco veces superiores a los valores de fibra bruta (Dreher, 1987).

2.8.1.2 Métodos detergentes

Van Soest (1963a y 1963b) inicia la publicación de una serie de trabajos en los que propone el uso de soluciones detergentes a pH ácido y neutro para el análisis de fibra alimentaria. El método ácido detergente utiliza bromuro de cetil trimetil amonio en H_2S0_4 1 N y determina, en principio, celulosa y lignina. En el residuo de fibra ácido detergente (FAD) se estudia, de forma más detallada, el contenido de lignina y proteína en alimentos que han sido sometidos a varios procedimientos de calentamiento y desecación revelándose que el método es sensible frente al daño debido a las reacciones de pardeamiento no enzimático.

A continuación tiene lugar el desarrollo del método neutro detergente en el que se utiliza como detergente a lauril sulfato sódico y se evalúa igualmente fibra insoluble, pero en este caso incluye, además de celulosa y lignina, también hemicelulosas (Van Soest y Wine, 1967). El reactivo lleva en su composición edetato sódico, agente complejante que permite la solubilización de sustancias pécticas (Belo y Lumen, 1981). Con el tiempo, el método neutro detergente ha resultado ser el mejor que existe para el análisis de fibra alimentaria en heces, dada su gran eficacia en la eliminación del nitrógeno proteico (Slavin y Marlett, 1983).

2.8.2 Métodos enzimáticos

Son los más utilizados en la actualidad. Se basan en la eliminación del almidón y la proteína mediante hidrólisis enzimática. Estos métodos tratan de reproducir las condiciones del tracto gastrointestinal, es decir aplican el concepto fisiológico de fibra alimentaria.

2.8.3 Métodos enzimático-gravimétricos

Los primeros métodos enzimáticos desarrollados surgen como modificaciones de los métodos detergentes, se introduce así el tratamiento con α-amilasa para la eliminación del almidón retenido en el residuo (McQueen y Nicholson, 1979). Carré y Brillouet (1989), además de α-amilasa utilizaron una proteasa, incluyen también, un análisis paralelo de la fracción de fibra soluble por cuantificación gravimétrica tras precipitación con etanol.

Hellendoorn *et al.* (1975) fueron los pioneros en el empleo de pepsina y pancreatina. Schweizer y Wörsh, en 1979, proponen un método basado en el anterior incluyendo además el enzima amiloglucosidasa. El método de Furda (1981), basado también en el de Hellerdoorn, consiste en el aislamiento de fibra insoluble mediante filtración de la suspensión resultante del tratamiento de la muestra con HCl, amilasa y proteasa. La fibra soluble se aisla del filtrado por acidificación y adición de etanol.

El procedimiento de Asp *et al.* (1983) supone el uso de las enzimas amilasa, pepsina y pancreatina, y permite obtener la fibra total, si la precipitación con alcohol se realiza inmediatamente después de la incubación con los enzimas, o el de fibra soluble y fibra insoluble por separado. Con este método casi todo el almidón se solubiliza, pero algunas proteínas resisten las condiciones de esta digestión.

2.9 Tecnología de precipitado con alcohol

Esta es una de las tecnologías de extracción más antiguas y tradicionales. El solvente utilizado comúnmente es el alcohol isopropílico, el cual produce una deshidratación de la molécula del hidrocoloide provocando la coagulación de la misma, por lo que es posible utilizar esta tecnología para cualquier tipo de hidrocoloide. Este hecho, también puede ser desventaja si se desea extraer un determinado tipo de hidrocoloide, para alguna aplicación específica. Otro inconveniente de este proceso, es que implica un mayor costo, aunque el alcohol se recupere por destilación (WHISTLER y BeMILLER, 1993; IMR International, 1999).

2.10 Método oficial de la AOAC

En 1984, fruto de un amplio estudio interlaboratorio de alcance internacional, surge el método de Prosky *et al.,* (1984), basado en los métodos de otros autores como Furda y col. (1979), Schweizer y Wörsh (1979) y Asp y Johansson (1984). Este método es el oficial de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), de la AACC (American Association of Cereal Chemist) y es el recomendado por la FDA (Food and Drug Administration) y por la USDA (United States Department of Agriculture) para el etiquetado de alimentos (Lee y Prosky, 1994).

Este método determina fibra total en la muestra (desengrasada o no) por eliminación del almidón con α-amilasa termoestable (denominada Termamyl) y amiloglucosidasa, y de la proteína con proteasa. Una vez finalizada la digestión enzimática, la suspensión se filtra y el filtrado se aparta para la determinación de fibra soluble, mientras que el residuo determinará la fibra insoluble. Los residuos obtenidos tienen la misma composición que los del método de Asp *et al.*, (1983): polisacáridos no-almidón (PNA), lignina y almidón resistente (AR) (Asp, 1996).

Se encontraron diferentes problemas al aplicar la metodología:

- Dificultad en la filtración.
- Falta de homogeneidad entre los resultados
- Eficacia poco satisfactoria de la hidrólisis enzimática del almidón
- Dificultad en el análisis de alimentos procesados
- Carencia de un patrón de referencia

Después de sucesivos estudios interlaboratorio para conseguir mejorar la eficacia del método, cabe señalar que desde los primeros métodos enzimático-gravimétricos hasta los que actualmente son los métodos oficiales de la AOAC se ha conseguido rebajar sensiblemente el tiempo empleado en el análisis, siendo muy útiles como métodos rutinarios, y en cualquier caso es el método más ampliamente utilizado para el etiquetado de los alimentos (Devries *et al.*, 1999; Prosky, 1999).

2.11 Métodos de fraccionamiento

Vilcanqui, 2009, sostiene que este método permite un fraccionamiento de diferentes compuestos admitidos como fibra alimentaria. Este fraccionamiento específico no se había logrado hasta ese momento y va a ser la base conceptual de los métodos cromatográficos. El método permite el fraccionamiento en: polisacáridos solubles en agua, hemicelulosas, celulosa y lignina. Cada una de estas fracciones se cuantifica mediante colorimetría. Es un método largo ya que requiere varios días para completarlo. Permite un grado limitado de fraccionamiento que deberá ser seguido por un análisis cuantitativo con métodos razonablemente específicos. Los resultados sugieren que las diferentes colorimetrías dan un análisis virtualmente completo para los carbohidratos no disponibles que tienen algún significado nutricional y en el campo de la química de los polisacáridos. Estos resultados están de acuerdo con estudios más detallados de paredes celulares de las plantas (Southgate, 1969).

2.12 Hidrocoloides utilizados en la industria alimentaria

2.12.1 Pectina

La pectina es un grupo heterogéneo de polisacáridos, encontrado en frutas y vegetales, y obtenido principalmente de pulpa de manzana y frutos cítricos. Constituye entre el 2 y 35% de las paredes de las células vegetales. Se trata de un polisacárido constituido por 150-500 unidades de ácido galacturónico (peso molécular del polímero, 30000 – 100000) parcialmente esterificado con un grupo metoxilo (Chaplin, 2008).

2.12.2 Carrageninas

Son una familia de carbohidratos naturales extraídos de las algas rojas. Es un polisacárido de alto peso molecular formada por unidades repetidas de galactosa y 3,6 anhidrogalactosa, tanto sulfatadas como no sulfatadas. Estas unidades están unidas por medio de enlaces glicosídicos alternos, alfa 1-3 y beta 1-4.

2.12.2.1 Tipos básicos de Carrageninas

CARRAGENINA Kappa: Es un gel fuerte y rígido que genera algo de sinéresis, formando hélices con los iones K^+. El Ca^{++} hace que las hélices formen un agregado, haciendo que el gel se contraiga y se vuelva quebradizo.

CARRAGENINA Iota: Es un gel elástico que forma hélices con Ca^{++}. Refleja un agregado limitado, lo que contribuye a su elasticidad, no genera sinéresis.

CARRAGENINA Lambda: No es un gel y refleja una distribución aleatoria de las cadenas de polímeros.

2.12.3 Alginatos

Los alginatos son descritos como compuestos que incluyen una variedad de productos constituidos por los ácidos D-manurónico y L-gulurónico; y que son extraídos de algas marrones conocidas como Phaeophyceae, siendo las algas más importantes para la producción comercial *Macrocystis pyrifera, Laminaria hyperborea, Laminaria digitata* y *Ascophyllum nodosum*, que son encontradas en el mundo entero (Dziezak, 1991); empleados como espesantes, gelificantes y estabilizantes en la industria textil, farmacéutica y alimentaria. Los alginatos también pueden ser obtenidos de fuentes bacterianas como *Azotobacter vinelandii y Pseudomonas aeruginosa*. La importancia de los alginatos radica en su capacidad para modificar las propiedades reológicas de los sistemas acuosos (López-Munguía, *et al.* 1993). Las especies *Pseudomonas y Azotobacter* son las únicas fuentes procarióticas que producen este polímero (Rehm y Valla, 1997). No todos los alginatos gelifican, pero son bien conocidos por su capacidad para producir geles irreversibles en agua fría, en la presencia de iones calcio. Esta propiedad de gelificar en el agua fría diferencia a los alginatos de las gomas derivadas de las algas rojas (Dziezak, 1991).

2.12.4 Agar

Es obtenida a partir de algas rojas de la clase Rhodophyceaem, siendo las más importantes la *Gelidium cartilagineum, Gracilaria confervoides y Pteroclaia*

capillacea. Considerada como uno de los agentes gelificantes más importantes, esta goma constituida de galactosa y anhidrogalactosa parcialmente esterificada con ácido sulfúrico, produce una gelificación perceptible en concentraciones tan bajas como 0.04%. No es soluble en agua fría pero se disuelve completamente en agua caliente, y la gelificación se inicia a temperatura de 35 a 40°C, resultando un gel fuerte, claro y termorreversible que sólo se liquidifica si la temperatura llega a 85°C. Su uso en la industria alimentaria americana no es muy importante en términos cuantitativos llega al orden de 0.12% (Dziezak, 1991).

2.13 Propiedades funcionales de los hidrocoloides

Los criterios empleados para estudiar las propiedades funcionales son su habilidad para encapsular aromas, sabores, pesticidas, fármacos (propiedades encapsulantes); su capacidad para enlazar moléculas de agua y grasa (propiedades emulsificantes); su efecto sobre la reología y su textura; capacidad para formar geles y efectos sobre la cristalización.

Las propiedades funcionales más representativas son propiedades globales que asocian simultáneamente propiedades fisicoquímicas diferentes pero interdependientes. Estas dependen estrechamente de la estructura espacial de las moléculas y de su estado de asociación (entre ellas o con otras moléculas). Los factores que intervienen son principalmente: La composición del medio: agua, presencia de otras moléculas, pH, fuerza iónica. Tratamientos físicos y químicos que modifican el medio (concentración, secado, tratamientos mecánicos), (Linden y Lorient, 1996).

El uso funcional de estos hidrocoloides está relacionado con su capacidad de incrementar la viscosidad de sistemas acuosos, a sus propiedades para formar geles, así como a su capacidad para estabilizar partículas coloidales diversas (1-100mm) a las que dispersan o emulsifican.

La importancia del conocimiento de estas propiedades radica en que podemos predecir sus efectos en el organismo. Las propiedades de hidratación de la fibra se refieren a la capacidad de retener agua dentro de su matriz, las fibras con fuertes propiedades de

hidratación pueden incrementar la absorción de nutrientes en el intestino, como también pueden aumentar la viscosidad de los alimentos ingeridos, trayendo con esto un sinnúmero de beneficios a la salud (Figuerola, Hurtado *et al.*, 2008; Guzmán C. 2008; Redondo Márquez, Albert Torné *et al.* 2008). Es conocido que las características estructurales y la composición química de la fibra juega un papel muy importante en la cinética de la captación de agua (Frazzoli 2007; Figuerola, Hurtado *et al.*, 2008), el agua puede ser atrapada por las estructuras capilares de las fibras como resultado de la tensión superficial, también podría interactuar con los componentes moleculares a través de la unión del hidrogeno (Figuerola, Hurtado *et al.,* 2008).

Las propiedades de hidratación de la fibra dietaria son factores determinantes del contenido de agua en las heces y del aumento del peso de las mismas (Raghavendra, Ramachandra Swamy *et al.*, 2006; Redondo Márquez, Torné *et al.*, 2008). La máxima cantidad de agua que la fibra puede retener es dependiente de la fuente de fibra, del método de medición y preparación, así como de las características estructurales y físico *químicas*. Las propiedades de hidratación de la fibra dietaria determinan su nivel óptimo de incorporación en alimentos en función de mantener una textura deseable en los mismos. Usualmente, las propiedades de hidratación son descritas en medida de dos parámetros diferentes: Capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento (Dreher, 2001; Raghavendra, Ramachandra Swamy *et al.* 2006). La formación de geles, se produce debido a la presencia de diversos polisacáridos hidrofílicos que a su vez poseen numerosos grupos hidroxilos libres, que tienen la capacidad de retener agua (Dreher, 2001).

La capacidad de adsorción de grasa está relacionada directamente con el tamaño, área superficial de partícula, composición química de la fibra, propiedades superficiales, la densidad y las características hidrofobias de las partículas de la fibra. Esta mide de forma directa la capacidad de retención de aceite de una fibra (Femenia, Lefebvre *et al.,* 1997).

2.14 Propiedades de los hidrocoloides

2.14.1 Propiedades de hidratación

Las propiedades de un constituyente macromolecular dependen de sus interacciones con el agua, exactamente lo mismo que estas dependen de su estructura conformacional. La actividad de agua (a_w) permite describir las interacciones entre soluto y agua si el sistema está en equilibrio, como este no es el caso de los alimentos, constituidos frecuentemente por varias fases, para comprender mejor la dinámica del sistema deben ser utilizados parámetros cinéticos como la difusividad (Linden y Lorient, 1996).

2.14.2 Propiedades emulsificantes

Una emulsión es un sistema de dos fases formados por dos líquidos inmiscibles, uno disperso en el otro. Para una emulsión, el trabajo es aplicado en dos líquidos. Esto podría aumentar la energía interfacial entre los dos líquidos. También podría aumentar la energía interfacial desde el estado de energía libre del sistema con el aumento en el área de contacto con los líquidos (Mangino, 1984).

La aplicación industrial de polímeros naturales se fundamenta en la capacidad para modificar las propiedades reológicas de los sistemas acuosos. Estos hidrocoloides tienen la propiedad de inmovilizar las moléculas de agua a través de sitios específicos hidrófobos e ionizables presentes en su estructura. La goma arábiga ha satisfecho por muchos años las necesidades de gomas del sector industrial.

Los hidrocoloides que contienen proteína (gelatina, goma arábiga, goma de mezquite) son buenos estabilizadores, ya que tienen suficientes grupos hidrofóbicos para actuar como puntos de anclaje o unión. Así mismo, contienen muchos grupos hidrofílicos para reducir la tensión de superficie en una interfase líquido-líquido o líquido-gas.

La capacidad de emulsión (CE) se refiere a la cantidad máxima de aceite emulsionada, bajo las condiciones específicas, por una cantidad estándar de hidrocoloide, hasta que se produzca la inversión de fases. El procedimiento termina cuando existe un colapso de emulsión. Este punto se conoce como el punto de inversión (Waniska *et al.,* 1981).

La estabilidad de las emulsiones (EE) depende de la existencia de varios tipos de interacciones atractivas y repulsivas entre las partículas, como son: Van Der Waals, electrostáticas, esféricas e hidrofóbicas. Todas estas interacciones afectan en aspectos, principalmente de tamaño de partícula, lo cual conduce a la deducción de que existe agregación entre dichas partículas debido a interacciones de tipo atractivas.

La creación de emulsiones debe cumplir con un periodo largo de almacenamiento, con fines de uso de muchos productos comerciales principalmente en el rubro alimenticio.

Las emulsiones pueden ser inestables debido a tres factores fundamentales: la formación de crema o sedimentación, la floculación y la coalescencia o fusión de las gotas, que presupone un aumento progresivo de su tamaño y provocan la separación de las dos fases (Cheftel *et al.,* 1989).

Partes que constituyen una emulsión: Una emulsión está constituida por tres regiones, las cuales presentan propiedades fisicoquímicas diferentes: la fase dispersa, la fase continua y la interfase. Todas las moléculas o ingredientes de la emulsión se distribuyen según su concentración y polaridad a lo largo de las regiones mencionadas anteriormente. Las moléculas polares tienden a localizarse en la fase acuosa, las moléculas no polares tienen afinidad por la fase oleosa, y las moléculas amfifílicas se localizan en la interfase.

Las moléculas en una emulsión tienden a moverse de una región a otra, alterando de esta forma las condiciones físicas y químicas de la misma. Este movimiento, así como la concentración e interacciones de sus constituyentes tienen una influencia significativa en las propiedades fisicoquímicas, textura y aplicación de estos sistemas dispersos (McClements, 1999).

Mecanismos de inestabilidad en emulsiones: Ruiz, 2004, los mecanismos fisicoquímicos responsables de las alteraciones en las propiedades de una emulsión se esquematizan en la Figura 1.

- La sedimentación y el cremado son dos formas de separación gravitacional. El cremado describe la migración de las gotas hacia la parte superior del sistema debido a la diferencia de densidades en las fases. En la sedimentación ocurre un proceso inverso.

- La floculación y coalescencia son dos tipos de agregación de las gotas. La inestabilidad por floculación ocurre cuando dos o más gotas se agregan, debido a las colisiones provocadas por el movimiento Browniano, conservando su individualidad. Mientras que en la coalescencia, la colisión de dos o más gotas forma una sola.

- Inversión de fases es el proceso mediante el cual una emulsión agua en aceite se convierte en una emulsión aceite en agua, o viceversa.

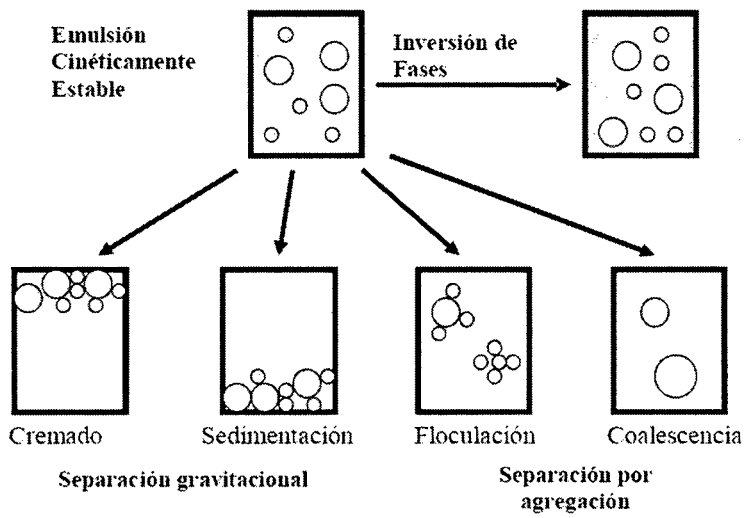
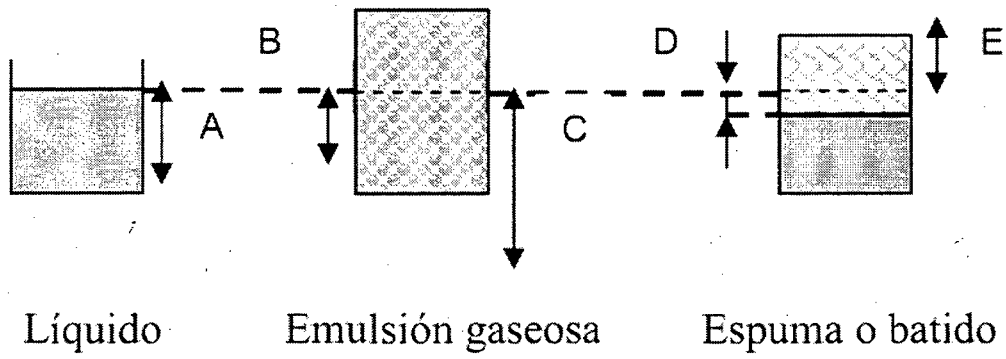


Figura 2: Mecanismos físicos de inestabilidad de una emulsión (McClements, 1999)

2.14.3 Propiedades espumantes

Las espumas o batidos alimenticios son dispersiones de gas en una fase contínua liquida o semi – sólida que contienen un surfactante soluble.

Para la formación de espuma, el hidrocoloide debe ser soluble en agua y flexible, para formar una película de aire – interface agua. Para que las películas puedan ser estables, deben poseer suficiente fuerza mecánica y viscosidad para prevenir una subsecuente ruptura y coalescencia. En la Figura 2, se indican las diferentes etapas para la formación de espumas (Cheftel *et al.,* 1989).



A= Volumen del líquido o solución de hidrocoloides, B= Volumen de gas incorporado, C=Volumen total de la dispersión, D=Volumen de líquido en la espuma, volumen de la espuma.

Figura 3: Etapas de formación de espuma

2.14.4 Propiedades de fermentación de los hidrocoloides

Los hidrocoloides que son resistentes a la digestión en el intestino delgado, así como la fibra alimentaria (incluyendo el almidón resistente que constituye hasta una quinta parte del almidón ingerido), muchos oligosacáridos (excepto aquellos que proceden de los jarabes de glucosa), y una parte de los hidratos de carbono hidrogenados (polioles), pasan al intestino grueso donde la microflora intestinal los fermenta parcial o totalmente. La lactosa también puede escapar a la digestión y absorción del intestino delgado, debido a la baja actividad de la enzima lactasa, y pasar al colon. Se cree que los carbohidratos no digeribles, originalmente considerados sólo como agentes laxantes, tienen efectos fisiológicos importantes como resultado de su fermentación (Inmaculada M. 2008).

La velocidad y el grado de la fermentación de los hidratos de carbono dependen de la solubilidad y la estructura de los polisacáridos y de la accesibilidad de las bacterias a estos polisacáridos. Por ejemplo, la mayoría de los polisacáridos solubles, hidratos de carbono hidrogenados y los oligosacáridos fermentan rápida y completamente, mientras que el almidón resistente fermenta completamente, aunque sólo de forma lenta, y la celulosa y las hemicelulosas son parcialmente resistentes a la fermentación.

El proceso de fermentación (Figura 3) de hidrocoloides se produce en el colon donde existe la microflora capaz de realizar este proceso. Este proceso es fundamental para el funcionamiento del intestino grueso.

La degradación microbiana requiere un grupo de bacterias colónicas que pueden variar de un individuo a otro. Las bacterias utilizan los productos de la fermentación para generar energía y extraer el carbono que es necesario para su crecimiento.

La degradación bacteriana de los carbohidratos no digeribles origina, como productos finales, ácidos grasos de cadena corta y gases. Los ácidos grasos de cadena corta pueden ser absorbidos a través de la mucosa intestinal y presentan funciones importantes en el ámbito del colon como la disminución del pH, efecto trófico, producción de energía, etc., y en el ámbito sistémico influyen sobre el metabolismo de lípidos, la glucemia, etc (Guillon y Champ, 2000; Guillon, Champ y Thibault, 2000).

Uno de los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), el ácido butírico, se considera un nutriente principal para el crecimiento normal de las células epiteliales del revestimiento de la mucosa colónica y puede jugar un papel decisivo en la prevención de las enfermedades del colon.

El proceso de fermentación también tiene efectos en el metabolismo sistémico, ya que algunos AGCC se absorben y metabolizan para proporcionar energía. Se estima que la cantidad de energía producida por la fermentación de los hidratos de carbono es de 2 kcal/g aproximadamente, lo que supone la mitad del valor calórico de los hidratos de carbono digeridos en el intestino delgado (Gray, 2003).

Los gases metano, hidrógeno y anhídrido carbónico producidos en la fermentación pueden ser eliminados causando flatulencias (Guillon y Champ, 2000; Guillon, Champ y Thibault, 2000; García *et al.*, 2002); o aparece en la respiración, y otra parte la consumen las bacterias colónicas (Gray, 2003).

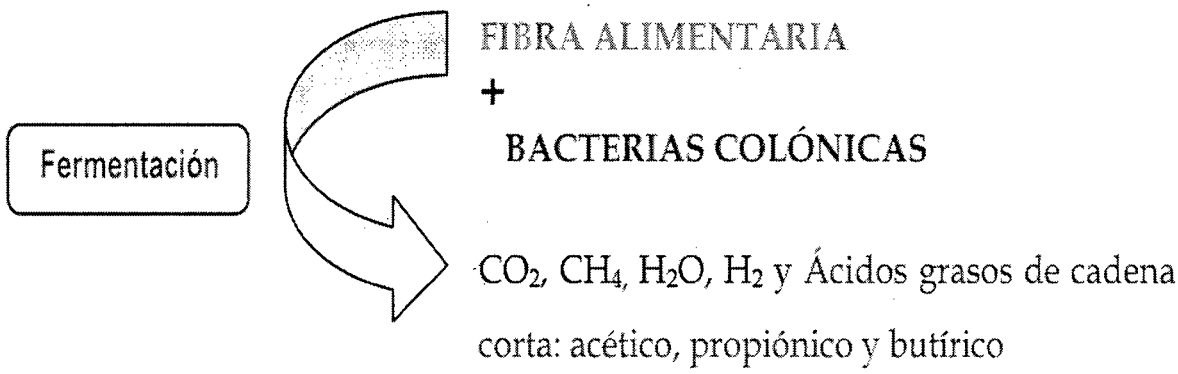


Figura 4: Proceso de fermentación de la fibra alimentaria en el colon.
Producción de los ácidos grasos de cadena corta (AGCC)

La naturaleza de los productos de la fermentación también depende de los carbohidratos específicos, pero los factores que gobiernan la producción preferencial de AGCC individuales no se ha confirmado de manera definitiva.

2.15 Efectos fisiológicos y beneficiosos de los hidrocoloides sobre la salud

Hay una extensa literatura acerca de los beneficios que puede ejercer los hidrocoloides en el organismo, tales como la atenuación de la glucosa e insulina en sangre, la reducción del colesterol, la regularización de la función colónica, la saciedad y la prevención de algunos tipos de cánceres.

2.15.1 Atenuación de la glucosa en sangre

Generalmente se acepta que una dieta rica en fibra alimentaria, particularmente en fibra soluble, es útil en el control de la concentración de glucosa en plasma en individuos diabéticos (Guillon y Champ, 2000; Gray, 2006).

Varios estudios han demostrado que una dieta rica en carbohidratos no digeribles reduce la concentración de glucosa en sangre y disminuye el grado de hiperinsulinemia en los pacientes con diabetes tipo II (Chandalia *et al.*, 2000). La fibra alimentaria puede ser interesante en los individuos con diabetes tipo I debido a que presenta carbohidratos

de digestión lenta que regulan las necesidades de insulina porque la absorción intestinal de los nutrientes se produce de manera más lenta, mejorando la tolerancia a la glucosa (Holt *et al.*, 1996).

2.15.2 Disminución del colesterol sanguíneo

El efecto reductor del colesterol sanguíneo de distintas fuentes de fibra alimentaria ha sido ampliamente documentado. Algunas investigaciones epidemiológicas tempranas acerca de la fibra alimentaria de cereales y legumbres ya indicaron una relación inversa entre la ingesta de fibra alimentaria y el riesgo de padecer enfermedad cardiovascular.

Las legumbres constituyen una fuente de fibra alimentaria, relativamente rica en fibra soluble, que juega un importante papel en la prevención de las enfermedades cardiovasculares (Kushi *et al.*, 1999). Los principales efectos de la fibra soluble, sobre las lipoproteínas séricas aparecen relacionados con la fijación de los ácidos biliares y colesterol en el intestino delgado, y con la disminución de la reabsorción de estos ácidos biliares en el íleon terminal (Anderson y Major, 2002). Por tanto, la cantidad de ácidos biliares que llega al colon para su excreción junto a las heces es mayor, descendiendo la cantidad de estos ácidos que regresa al hígado por circulación enterohepática. Los ácidos biliares reabsorbidos vuelven al hígado por la vena porta y modulan la síntesis de colesterol o su catabolismo a ácidos biliares. El descenso de la reabsorción de estos ácidos hace que aumente su síntesis hepática, aumentando el uso del colesterol del hepatocito y sanguíneo para sintetizar nuevos ácidos biliares.

Además, se produce la disminución en la síntesis de colesterol en el hígado, parcialmente debida a la reducción de las concentraciones de insulina en sangre porque la insulina es responsable de la activación de un enzima clave de la síntesis de colesterol, y por otro lado, este efecto podría ser debido al perfil alterado de los ácidos biliares en el hígado, especialmente la alta concentración de ácido deoxicólico, el cual es capaz de inhibir la síntesis del colesterol (Mälkki, 2001).

La producción de ácidos grasos de cadena corta por la fermentación de la fibra soluble en el colon contribuye a reducir la síntesis de colesterol hepático (Anderson y Hanna, 1999) ya que están implicados en el metabolismo intermediario hepático y puede

regular el metabolismo de la glucosa y los lípidos. El ácido propiónico, uno de estos ácidos de cadena corta, disminuye la síntesis del colesterol hepático por inhibición de la actividad de la hidroximetilglutaril coenzima-A (Guillon, Champ y Thibault, 2000; García Peris *et al.*, 2002).

2.15.3 Regulación de la función colónica

El consumo de hidrocoloides y/o fibra alimentaria disminuye el tiempo de tránsito intestinal, previene el endurecimiento de las heces y retiene agua (Mongeau *et al.*, 1999; Gray, 2006).

Los efectos fisiológicos de la fibra alimentaria en el colon dependen de los componentes que la constituyen. La fibra insoluble presenta efectos mecánicos que implican el acortamiento del tiempo de tránsito intestinal, mientras que la fibra soluble tiene efectos sistémicos (Bennett y Cerda, 1996).

Los efectos de la fibra alimentaria sobre el peso de las heces dependen aparentemente del tipo de polisacáridos y constituyentes asociados que contribuyen a la estructura de la pared celular vegetal (Mongeau *et al.*, 1999).

La fibra alimentaria puede incrementar el volumen fecal debido a la capacidad de retención de agua de la fracción no fermentada, fundamentalmente polisacáridos insolubles (Johnson, 2000; Mälkki, 2001) y también debido al incremento del número de bacterias resultantes de la extensa fermentación de los oligosacáridos no-digeribles (Mussatto y Mancilha, 2007). La fibra soluble viscosa es metabolizada por las bacterias colónicas en mayor medida que la fibra insoluble, así la viscosidad disminuye y los productos de degradación de la fermentación son usados como nutrientes por la microflora del colon (Mongeau *et al.* 1999). El aumento de la masa celular microbiana tiene una alta capacidad de retención de agua, causando el ablandamiento de las heces y evitando el estreñimiento (Mälkki, 2001; Gray, 2006; Mussatto y Mancilla, 2007).

La suplementación de la dieta de ratas hembra Wistar Hannover con okara aumenta la excreción fecal y el peso de sus heces por su alto contenido en humedad, atribuíble, sobre todo, al contenido en fibra insoluble. Además la fermentación cecal es mayor en

el grupo de ratas alimentado con la dieta enriquecida en okara, pudiendo indicar un potencial efecto prebiótico (Préstamo *et al.*, 2007).

La fibra alimentaria actúa positivamente en casos de diarrea y estreñimiento, pero también en el tratamiento de la enfermedad de colon irritable (Bosaeus, 2004). Y parece tener un papel positivo en la diverticulosis y la enfermedad inflamatoria intestinal (Gray, 2006).

2.15.4 Saciedad y reducción de peso

Los alimentos ricos en fibra alimentaria son digeridos más despacio, por tanto la absorción de nutrientes ocurre de una forma lenta (Jenkins *et al.*, 1993). Además, los alimentos ricos en fibra son, normalmente, de densidad calórica menor y de volumen mayor, lo que puede limitar espontáneamente la ingesta (Saris, 2003). Así, este volumen mayor de alimento hace que la ingesta sea lenta y puede producir un efecto de saciedad *temprana*, aunque esta sensación desaparece pronto (Slavin, 2005).

Los efectos para explicar la saciedad que produce la fibra alimentaria son variados. El primero ocurre a nivel de estómago, donde la fibra se une al agua y se hincha causando distensión (Mälkki, 2001). Además, la viscosidad de la fracción soluble ralentiza el paso al intestino prolongando el tiempo de tránsito en el estómago (Bergmann *et al.*, 1992; Mälkki, 2001). La distensión del estómago unida al mayor tiempo de tránsito estomacal contribuye a la sensación de saciedad. Pero el principal efecto probablemente ocurre a nivel del intestino delgado, cuando la grasa y proteínas o aminoácidos entran en contacto con los receptores intestinales. La unión de estos nutrientes a los receptores intestinales provocan la liberación de la colecistoquinina, la cuál retrasa el vaciamiento gástrico, disminuye la hiperglicemia postprandial y aumenta la saciedad. La fibra alimentaria aumenta la secreción de colecistoquinina. Se cree que esto es causado por la viscosidad de la fibra ya que aumentaría el tiempo de contacto entre la grasa, los aminoácidos y los receptores intestinales (Holt *et al.*, 2001; Mälkki, 2001).

Algunos estudios indican la posibilidad de que la saciedad provocada por la fibra alimentaria podría explicar la reducción de peso en algunas personas (Mälkki, 2001). De todos modos, que la suplementación con fibra ayude en la prevención y control de la

obesidad es más controvertido, aunque existen estudios epidemiológicos que han demostrado que la fibra alimentaria es una importante herramienta en la prevención de la obesidad (Slavin, 2005). En el estudio de Préstamo *et al.*, (2007) obtuvieron una disminución en el peso de las ratas hembra Wistar Hannover que alimentaron con una dieta enriquecida en okara.

2.16 Propiedades funcionales y tecnológicas de los hidrocoloides

Denominadas así por su asociación a los efectos deseables en los productos alimentarios y con efectos fisiológicos benéficos en el organismo (Zúñiga, 2005).

Las propiedades funcionales se definen como toda propiedad no nutricional que influye en la utilidad de un ingrediente en un alimento, reflejan atributos intrínsecos de los hidrocoloides, así como, las posibles interacciones con otros componentes de los alimentos determinan las características sensoriales del alimento como puede ser la textura y estan relacionadas con sus características físico – química y estructurales, entre las cuales pueden ser el tamaño de partículas, la composición y su secuencia, el carácter hidrofóbico o hidrofílico (Liu, 1999).

Actualmente, existe un gran interés en nuevas fuentes de fibra dietética en concentraciones comparables a las que se hallan en concentrados de subproductos de cereales y leguminosas; entre ellos el salvado de trigo, arroz, avena, lupino, etc.

(Villarroel *et al.*, 2003). Por su parte, en numerosas investigaciones sobre propiedades funcionales de la fibra, está fundamentado básicamente en medir los siguientes parámetros: Capacidad de retención de agua, capacidad de absorción de moléculas orgánicas, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de hinchamiento, entre otros.

Flórez *et al.,* (2006), caracterizó la propiedad de capacidad de hinchamiento (CH) [ml/g] de fibras alimentarias obtenidas a partir de maracuyá, piña, limón, naranja y mandarina; concluyendo que la fibra obtenida a partir de la maracuyá tiene mayor capacidad de hinchamiento con un valor de 8.5.

Valencia y Román, (2006), caracterizaron la capacidad de hinchamiento (CH) [mlH_2O/g m.s.] y la capacidad de retención de agua (CRA) [g H_2O/g m.s.] de tres concentrados comerciales de fibra dietaria, fibra de trigo, fibra de avena y fibra de manzana; resultando que la fibra de trigo tiene mayor CH que los otros dos con un valor de 7,1; en cambio para CRA la fibra de manzana es mayor que los otros con un valor de 4,1.

Ramírez y Pacheco (2009), al realizar un estudio de las propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana encontraron con respecto a la capacidad de absorción de agua (CAA) [g H_2O/g m.s.] que la fibra dietética obtenida a partir de la guayaba presenta mayor valor 5,25 que los otros dos con 4,58 y 4,57 para la fibra a partir de piña y guanábana respectivamente.

Martínez P. (2007), estudió las propiedades funcionales del hidrocoloide obtenido a partir de la semilla de acacia tres espinas (*Gleditsia triacanthos L.*) en función a los métodos de extracción, ácida con H_2SO_4 (72% p/v) y alcalina con NaOH (0.75% p/v) ambos métodos a temperatura de 90ºC y, 15 y 25 min como tiempo de extracción para cada método; obteniendo como resultado para capacidad de retención de agua (g H_2O/g m.s.) 0,108 para 15 min de extracción y 0,109 para 25 min de extracción en el método ácido, y 0,11 para 25 min de extracción en el método alcalino; en cambio para la capacidad de hinchamiento (ml/g) 13,3 para 15 min de extracción y 11,78 para 25 min de extracción utilizando para ambos casos buffer fosfato en el método ácido, y 15,74 para 25 min de extracción en el método alcalino.

Por su parte Villarroel *et al.* (2003), estudió las propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería, encontró que la capacidad de absorción de agua (CAA) alcanzó valor máximo de 36 g H_2O/g m.s., de la misma manera para la capacidad de retención de agua (CRA) el valor máximo que alcanzó fue de 34 g H_2O/g m.s., en cambio para la capacidad de hinchamiento (CH) el valor máximo fue de 8,0 mlH_2O/g m.s., todos estos valores máximos fueron a 0,425mm de tamaño de partícula, en tanto que a tamaños de partícula menores al citado las propiedades evaluadas son menores que a los considerados.

2.16.1 Capacidad de retención de agua (CRA) del hidrocoloide

Es la cantidad de agua retenida por la fibra alimentaria sin aplicación de una fuerza externa.

Cuando el agua es agregada en cantidades excesivas a un alimento, parte del agua interactúa con los sólidos, es decir una parte del agua añadida no aparece como agua libre (Wijeratne, 2005).

Esta propiedad expresa la máxima cantidad de agua en mL, que puede ser retenida por una muestra de materia seca de peso conocido en presencia de un exceso de agua y bajo la acción de una fuerza patrón (Tamayo y Bermúdez, 1998). Entre los factores que influyen en la capacidad de retención de agua en una fibra se encuentran el tamaño de partícula, el pH y la fuerza iónica (Sánchez Guzmán, 2005). Esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad en productos horneados (Cruz, 2002). Los resultados se expresan en mililitros de agua por gramo de muestra seca. De esta propiedad depende el efecto fisiológico del hidrocoloide y el nivel máximo de incorporación a un alimento (Zambrano y otros, 1998). La retención de agua afecta la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. Los polisacáridos solubles tienen una gran capacidad hidrofílica por la presencia de restos de azúcares con grupos polares libres. La celulosa, con enlaces intermoleculares, tiene poca capacidad de retención de agua (Rodríguez, 1993). Esta característica influirá en su propiedad para formar soluciones viscosas, son fermentadas por las bacterias intestinales y su efectividad en aumentar la masa fecal (Mateu, 2004).

2.16.2 Capacidad de retención de aceite (CRAc)

La capacidad de retención de aceite (CRAc), es la máxima cantidad de aceite, en gramos, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite bajo la acción de una fuerza (Zúñiga, 2005).

Teóricamente las partículas con gran superficie presentan mayor capacidad para absorber y atrapar componentes de naturaleza aceitosa; la grasa es atrapada en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras insolubles presentan mayores valores de absorción de grasa que las fibras

solubles, sirviendo como emulsificante. A esta propiedad se le relaciona con la composición química, el tamaño y el área de las partículas de fibra (Cruz, 2002). La retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura de los productos cárnicos, en cambio una baja retención proporciona una sensación no grasosa en productos fritos (Peraza, 2000).

2.16.3 Capacidad de adsorción de compuestos orgánicos

La capacidad de distintas fibras para secuestrar e incluso unirse químicamente a sustancias orgánicas como ácidos biliares, colesterol y sustancias cancerígenas puede tener un papel importante en determinados efectos fisiológicos que se le atribuyen a la fibra alimentaria.

La capacidad de la fibra para unirse o intercambiar iones puede ser el mecanismo para explicar el mecanismo para secuestrar ácidos biliares por interacciones hidrofóbicas y/o iónicas en las que están implicados los iones calcio y aluminio (Guillon y Champ, 2000). La fibra que contiene ácidos urónicos o ácidos fenólicos pueden incrementar la excreción fecal de ácidos biliares lo cual puede tener un efecto hipocolesterolémico (Guillon, Champ y Thibault, 2000).

2.16.4 Capacidad de intercambio de cationes (Cic)

La capacidad de intercambio catiónico es debida a la presencia de grupos ionizables en la estructura química y la capacidad de unión de sustancias asociadas como el ácido fítico. Este último tiene una elevada capacidad de fijar cationes divalentes y trivalentes, sobre todo al calcio. Los grupos ionizables son los grupos carboxilo o grupos hidroxilo presentes en las pectinas (Inmaculada M. 2008).

Esta propiedad puede estar ligada a la absorción de minerales y depende fundamentalmente del medio en que estén las fibras (Fuerza iónica, pH). Las fibras de hortalizas se comportan como algunas resinas de bajo intercambio de cationes mono funcionales debido a la presencia de ácidos galacturónicos en las paredes primarias y

glucurónicos en las paredes secundarias. La capacidad de intercambio de cationes de las hortalizas es superior a la de los cereales (0.5 a 3.2 meq/g).

La fibra procedente de legumbres tiene una capacidad de intercambio catiónico elevada debido a la gran cantidad de ácidos urónicos que presenta. Esta capacidad puede estar relacionada con ciertos desequilibrios minerales que presenta el organismo debido al consumo de fibra, pero aunque esta capacidad es alta in vitro, in vivo se produce la fermentación de la fibra soluble, que es la responsable principal de esta capacidad de intercambio catiónico (Guillon y Champ, 2000; Guillon, Champ y Thibault, 2000).

2.16.5 Capacidad de absorción de agua (CAA) del hidrocoloide

Esta propiedad mide la capacidad que tiene un residuo fibroso de atrapar agua en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos. Se ha observado que las fibras solubles presentan mayores valores de absorción de agua que las insolubles (Mendoza, 2007; Sánchez Guzmán, 2005).

2.16.6 Capacidad de hinchamiento (CH) del hidrocoloide

Es la primera parte del proceso de solubilización. Consiste en la entrada de agua que expande las macromoléculas hasta que son completamente extendidas y dispersadas, después de lo cuál se solubilizan (Inmaculada M. 2008).

Esta propiedad hace referencia a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua (Tamayo and Bermúdez, 1998). En esta característica influye la cantidad de los componentes polisacáridos, porosidad y tamaño de partícula de la fibra (Femenia *et al.*, 1997).

2.17 Influencia del tamaño de partícula en las propiedades funcionales de los hidrocoloides

Dependiendo de la granulometría del hidrocoloide, será el tipo de alimento o proceso en el cual se incorporará. La granulometría fina del hidrocoloide (de tres a cinco micrómetros) puede emplearse como sustituto de grasas, las de mayor tamaño se aplican en hojuelas de maíz y en productos donde su textura lo permita (Cruz, 2002).

Fuertes (1998) señala que el tamaño ideal de partículas de los hidrocoloides para consumo humano se ubica en un rango de 50 a 500 μm; tamaños mayores pueden afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa dificultando la masticación y deglución, tamaños menores pueden presentar problemas en la hidratación al favorecerse la formación de grumos, ocasionar apelmazamiento y por lo tanto compresión del producto.

En un estudio realizado por Sanchez (2005) específicamente con bagazo de caña, se encontró que una disminución en el tamaño de partícula puede tener influencia en el incremento de la densidad y podría reducir la capacidad de retención de agua y de ligar aceite (debido posiblemente a la ausencia de una estructura matricial proporcionada por la celulosa, entre otros factores); en consecuencia, se afecta fisiológicamente el transito intestinal al decrecer el volumen de la masa fecal. Este comportamiento también fue observado por Dreher (2001) al disminuir el tamaño de partícula del salvado de trigo.

Inmaculada M. (2008), sostiene que el tamaño de partícula depende del tipo de pared celular y del grado de procesado que presente el alimento vegetal, pero también puede variar durante el tránsito en el tracto digestivo como resultado de la masticación, paso por el estómago y degradación bacteriana en el intestino grueso.

El tamaño de partícula tiene un papel importante en el tiempo de tránsito intestinal, la fermentación y la excreción fecal (Guillon, Champ y Thibault, 2000)

2.17.1 Características de la superficie de partícula

La porosidad y la superficie disponible pueden influir el proceso de fermentación de la fibra alimentaria y las características de la capa superficial juegan un papel en la adsorción o unión de algunas moléculas.

La porosidad y la superficie disponible son propiedades que influyen en otras propiedades físico-químicas, de manera que un mayor número de poros permiten una mayor hidratación de la partícula y una mayor superficie disponible posibilita una unión a cationes y a moléculas orgánicas mayor.

Dependen del origen y tratamiento al que se ha sometido al alimento. No se conoce como los constituyentes de la fibra alimentaria controlan la porosidad de la superficie de la partícula, aunque existen algunos autores que afirman que las pectinas tienen un papel dominante (Guillon y Champ, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Lugar experimental

El desarrolló del proceso experimental se efectuó en las instalaciones del laboratorio de química y operaciones unitarias de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA), ubicada en el distrito de Tamburco provincia Abancay departamento Apurímac. Asimismo el material de análisis utilizado para la experimentación fueron las algas *Nostoc sp* recolectados de la laguna Huascaccocha.

3.1.2 Descripción del alga

El alga *Nostoc sp* pertenece al grupo de algas Cianofíceas que se caracteriza por presentar coloración verde-azul con tonalidades que varían desde verde olivo, verde oscuro, verde amarillento y oscuro cuando llegan a envejecer. Existe en el mundo más de 90 especies de este género. Las algas *Nostoc sp* son organismos de células esféricas que forman un cuerpo o talo igualmente esférico, habita en forma dispersa en las profundidades de la laguna de Huascaccocha. El género *Nostoc sp* es una especie que se desarrolla en ambiente lagunar altoandina a 4267 msnm (Orós, 2009).

3.1.3 Materiales, equipos y reactivo

Los materiales, equipos y reactivos utilizados en el proceso experimental son los siguientes:

Para la recolección de la muestra se utilizó una herramienta acondicionada denominada red de mano, que consistió en un aro de metal con una manga de malla de red atada a toda la circunferencia del aro, y el aro unida a una vara de madera.

Recipientes de plástico (baldes) de 20Lt de capacidad con tapa para el transporte de la muestra.

Cuchillo de acero inoxidable con mango de madera utilizado para la reducción de tamaño de la muestra.

02 *recipientes* de aluminio con tapa de 2Lt de capacidad.

03 *vasos precipitado* de 500mL de capacidad fabricada con vidrio pírex marca Germany.

06 *placas Petri* de vidrio de 30mL de capacidad aproximado.

12 *botes* de plástico N°24 con tapa de 250mL de capacidad aproximado.

Campana desecadora de vidrio en el cual se enfrió las placas Petri provenientes de la estufa.

Baño maria con termostato regulable P-selecta Precisdic.

Estufa eléctrica utilizada para el secado del hidrocoloide marca MEMMERT modelo 200-800

Balanza analítica de 0,0001g de sensibilidad utilizada para el pesado de la muestra y el hidrocoloide, marca OHAUS Adventurer ™

Molino de disco de 2 HP de potencia, lo cual se utilizó para el pulverizado de la muestra seca

Molino manual utilizada para el pulverizado del hidrocoloide seco

Licuadora domestica mara MIRAY, equipo utilizado para licuar la muestra rehidratada.

Tamices N° 40 de 425 y N° 45 de 355 micrómetros marca RETSCH made in Germany, lo cual se utilizó para seleccionar el tamaño de partícula.

Alcohol comercial de 96° de pureza, reactivo utilizado para la precipitación del hidrocoloide.

Bolsas plásticas de polietileno de baja densidad para el almacenamiento de las muestras secas y de las muestras pulverizadas.

Pipetas de vidrio de 10mL de capacidad milimetradas para la evaluación de la capacidad de hinchamiento del hidrocoloide.

3.2 Métodos

3.2.1 Tipo y nivel de investigación

Teniendo en cuenta la naturaleza del trabajo, es del tipo aplicativo y de nivel experimental, en el cual en la primera etapa de investigación se evaluó el rendimiento del hidrocoloide extraído por el método de precipitación con alcohol de 96° de pureza, en la segunda etapa de la investigación se avalúa las propiedades funcionales del hidrocoloide obtenido.

3.2.2 Diseño experimental

En el Cuadro 2 se aprecia el diseño experimental para la extracción del hidrocoloide, en el cual se evaluó como variables independientes la relación de alcohol solución de la muestra, tiempo de precipitado y la temperatura de extracción; y como variable dependiente el rendimiento de hidrocoloide obtenido. Se evaluaron para las variables de relación de alcohol solución de muestra (v/v) y el tiempo de precipitado (min) dos niveles, y para la variable de temperatura de precipitado (°C) tres niveles, tal como se detalla en el Cuadro 2, haciendo un total de 12 tratamientos con tres repeticiones para cada uno, haciendo un total de 36 unidades experimentales.

Cuadro 2

Diseño experimental utilizado para la extracción del hidrocoloide

	R_1 (1:1 v/v)		R_2 (1.5:1 v/v)	
	t_1 (10 min)	t_2 (15 min)	t_1 (10 min)	t_2 (15 min)
T_1 (75 °C)	**W1**	**W2**	**W3**	**W4**
T_2 (80 °C)	**W5**	**W6**	**W7**	**W8**
T_3 (85 °C)	**W9**	**W10**	**W11**	**W12**

Donde W representa los tratamientos del diseño

El diseño experimental para la evaluación funcional del hidrocoloide obtenido, se presenta en el Cuadro 3, para lo cual se tienen como variables dependientes a la capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de absorción de agua (CAA) y la capacidad de hinchamiento (CH); propiedades que se evalúan a cada tratamiento realizado en la etapa de extracción, realizando tres repeticiones para cada propiedad por tratamiento, haciendo un total de 36 unidades experimentales por cada propiedad física evaluada; además se toman tamaño de partícula uniforme entre 355 y 425 micrómetros para todos los tratamientos.

Cuadro 3

Diseño experimental para la evaluación funcional del hidrocoloide

Tratamiento	CRA	CAA	CH
W1	P1	K1	Z1
W2	P2	K2	Z2
W3	P3	K3	Z3
W4	P4	K4	Z4
W5	P5	K5	Z5
W6	P6	K6	Z6
W7	P7	K7	Z7
W8	P8	K8	Z8
W9	P9	K9	Z9
W10	P10	K10	Z10
W11	P11	K11	Z11
W12	P12	K12	Z12

Donde P, K y Z representan las unidades experimentales para cada tratamiento (W).

3.2.3 Población

La población de la muestra lo conformaron la totalidad de las algas presentes en la laguna Huascaccocha.

3.2.3.1 Características y delimitación

Las características que se tomó en cuenta al momento de la recolección de las muestras es principalmente el tamaño que debe presentar el *Nostoc sp* que en promedio es de 5 a 7.5cm de diámetro, asimismo el color (verde oscuro a verde amarillento).

3.2.3.2 Ubicación y espacio temporal

El alga *Nostoc sp* que se utilizó como materia prima en la investigación, tiene como habitad natural la laguna de Huascaccocha, que se encuentra dentro de la jurisdicción

del centro poblado de Atancama distrito de Lambrama, provincia de Abancay en la región de Apurímac en Perú.

La laguna Huascaccocha, de acuerdo a los pisos ecológicos, pertenece a la zona de vida Páramo Húmedo Andino sub Tropical a una altura de 4267 msnm., cuyas coordenadas geográficas son: 73° 66' L. E. y 84° 56' L. O.

3.2.4 Muestra

La muestra se recolectó de la laguna de Huascaccocha, de la parte más cercana a la orilla de la laguna, debido fundamentalmente a que el acceso a la parte central de la laguna es difícil y el nivel del agua es más profundo que en la parte cercana a la orilla.

3.2.5 Métodos y procedimiento experimental

3.2.5.1 Metodología para la extracción del hidrocoloide

La metodología utilizada para la etapa de extracción del hidrocoloide es la planteada por WHISTLER y BeMILLER, (1993), utilizando como reactivo alcohol comercial de 96° de pureza.

3.2.5.2 Metodología para evaluación de las propiedades funcionales por métodos físicos

Para la evaluación de las propiedades funcionales del hidrocoloide obtenido a partir del *Nostoc sp*, se utilizó la metodología planteada por Mc Conell y Col. (1974), lo cual sigue de la siguiente manera:

3.2.5.2.1 Capacidad de retención de agua – CRA (*Método centrífugo)*

$$CRA = P1 - P2 \qquad (1)$$

Se coloca 0.1g de fibra de tamaño uniforme en un tubo. Se adiciona un exceso de agua (5mL), durante 24 horas, para posteriormente centrifugarlo por 15 min 2000 rpm y

luego desechar el sobrenadante. Se determina el peso húmedo de la fibra (P1), se seca en estufa a 40°C y determina el peso seco de la fibra (P2). El resultado se expresa en g agua/g m.s.

3.2.5.2.2 Capacidad de absorción de agua – CAA *(Método centrífugo)*

$$CAA = P1 - P2 \qquad (2)$$

Se coloca 0.1g de fibra en un tubo (P2). Se adiciona un exceso de agua (5mL) y se agita durante 30min. Se centrifuga durante 10min a 3000 rpm. Se retira el sobrenadante y se pesa el sedimento (P1). Los resultados se expresan en g de agua/g de muestra.

3.2.5.2.3 Capacidad de Hinchamiento – CH

$$CH = \frac{Vf - V0}{Pm} \qquad (3)$$

Se coloca 0.2g de fibra (Pm) en un tubo graduado y se procede a medir el volumen ocupado por el producto (V_0). Se adiciona un exceso de agua (5mL) y se agita. Se deja reposar durante 24 horas y se mide el volumen final ocupado por la muestra (V_f). Los resultados se expresan en mLH_2O/g muestra seca.

Durante el proceso experimental se tomaron fotografías que se encuentran en el anexo 1 Fotos del 1 al 12. El procedimiento a seguir de acuerdo al diagrama del proceso de experimentación es el siguiente:

3.2.5.3 Descripción del procedimiento experimental

La descripción del procedimiento experimental para la extracción y la caracterización funcional del hidrocoloide obtenido a partir del alga *Nostoc sp* fue de acuerdo al diagrama propuesto (Figura 4).

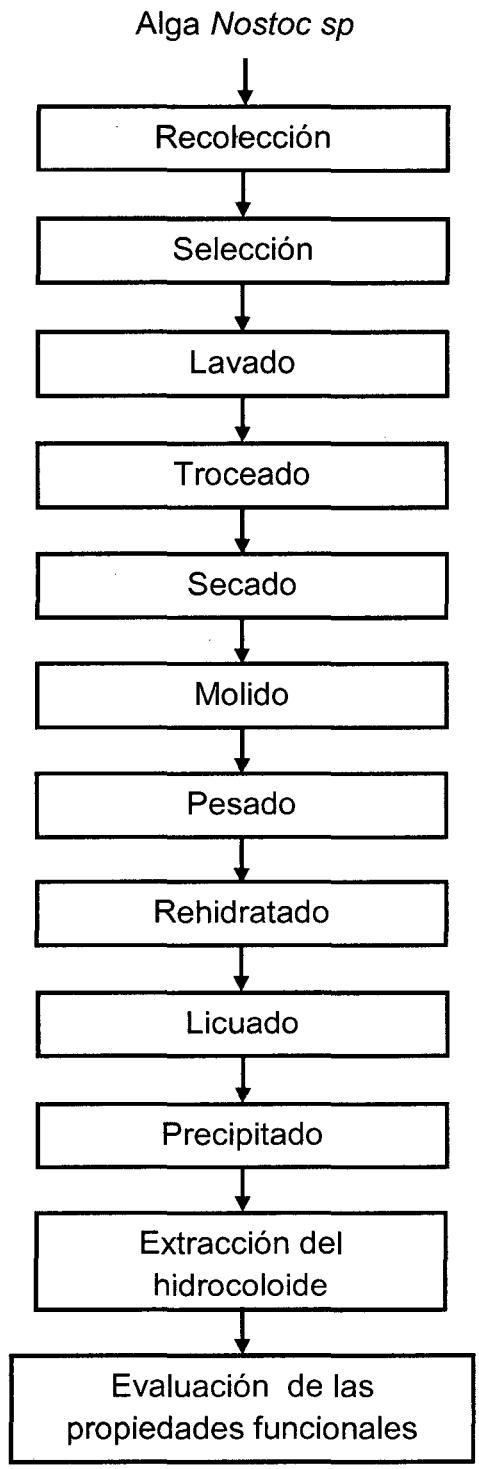


Figura 5: Diagrama de flujo general del proceso de experimentación

Recolección del *Nostoc:* Para la recolección del alga se realiza la estratificación (Foto 1) de la laguna Huascaccocha (habitad del alga) con el propósito de facilitar la extracción de la muestra, se eligió aproximadamente 1/10 parte de la superficie lagunar, desde la parte terrestre hacia el centro de la laguna. Se extrajo la muestra con la ayuda de una herramienta (Foto 2) acondicionada que consistió en un aro de metal con una manga de malla de red unida a toda la circunferencia del aro, y el aro atada a una vara de madera.

Selección: Una vez recolectada la muestra, se seleccionó tomando como criterio la madurez fisiológica (Orós, 2009), desechando las muestras con madurez excesiva y las muestras en etapa de reproducción (Orós, 2009) (Foto 3).

Lavado: Luego de realizar el proceso de selección, se transportó en recipientes de plástico (baldes de 20 Lt de capacidad) (Foto 4) con agua, cerrados herméticamente hacia la ciudad de Abancay, y se procedió a realizar el lavado de la muestra, para ello se utilizó agua potable a chorro continuo, seguido de un lavado manual con el propósito de retirar impurezas de la superficie de la muestra.

Troceado: El troceado se realizó a toda la cantidad de la muestra de forma manual con la ayuda de cuchillos inoxidables, para reducir el tamaño de las muestras esféricas en forma de láminas con espesor aproximado de 2 a 3 mm con el objetivo de facilitar el proceso de secado.

Secado: El proceso de secado se efectuó al aire libre (secado por convección natural). En mantas de polipropileno se secaron las muestras troceadas por dos a tres días hasta alcanzar un contenido de agua del 14% en promedio.

Molido: Las muestras secas se pulverizó en un molino de disco de 2 HP (Foto 5) de potencia hasta tamaños de partícula menores a 500 micras, la muestra molida se almacenó en bolsas de polietileno cerrados herméticamente.

Pesado: El pesado de la muestra molida se realizó en una balanza analítica (Foto 6) de 0,0001g de sensibilidad, se pesó 2,5g para cada tratamiento.

Rehidratado: A la muestra pesada se rehidrató con agua destilada en relación de 1:150 p/v, luego se llevó a ebullición (Foto 7) por 45 minutos, utilizando como fuente de calor una cocinilla eléctrica de dos hornillas. La muestra rehidratada se enfrió hasta 40 a 45°C de temperatura.

Licuado: La muestra rehidratada fue licuado (Foto 8) por 3min, luego la solución licuada se trasvasó a un vaso precipitado de 500ml, se aforó a 450ml con agua destilada, de manera que se renueva el agua perdido por evaporación.

Precipitado: La muestra licuada se trasvasó a dos vasos precipitados de 450mL de capacidad (Foto 9) para realizar la precipitación con alcohol comercial de 96° de acuerdo al diseño experimental. Seguido de la separación del hidrocoloide precipitado (Foto 10).

Secado: Una vez extraído el hidrocoloide se secó en una estufa eléctrica (Foto 11) sobre placas Petri de vidrio por 24h a 50°C de temperatura.

Pesado: Luego del secado de las placas Petri, éstas se enfriaron en las campanas desecadoras, luego se pesó en la balanza analítica con el objetivo de determinar el rendimiento del hidrocoloide obtenido.

Molido y Tamizado: Las muestras de hidrocoloide pesadas se pulverizaron hasta alcanzar tamaños de partícula comprendido entre 355 y 425 micrómetros (Foto 12).

Almacenado: Se almacenó las muestras tamizadas en recipientes de plástico herméticamente cerrada hasta el momento de ejecución de los tratamientos.

3.2.6 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos durante el proceso experimental fue como sigue:

Observación directa. Durante la recolección de muestras, proceso de secado, pulverizado, rehidratado, licuado, precipitado, tamizado y evaluación funcional.

Medición. La medición se realizó en el pesado de muestra, cálculo de la cantidad de alcohol a utilizar, pesado de hidrocoloide extraído, pesado en las etapas de la evaluación funcional.

Instrumentos. Los instrumentos utilizados fueron: cuaderno de trabajo, bolígrafos de distintos colores, cámara fotográfica digital, laptop.

3.2.7 Análisis estadístico

Para los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA de un factor) con el objetivo de interpretar el efecto de las variables independientes (temperatura de extracción, relación alcohol : solución de hidrocoloide y tiempo de precipitación) sobre las variables de estudio (rendimiento de hidrocoloide y las propiedades funcionales) . Se realizaron tres repeticiones para cada uno de los tratamientos. Las pruebas de comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey, con nivel de significancia ($P<0,05$), con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 19.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Extracción del hidrocoloide por el método de precipitación con alcohol

Los resultados de la extracción del hidrocoloide, se presentan en el Cuadro 4, de los cuales el mayor rendimiento se obtuvo con el tratamiento 12 (85°C, 1,5:1v/v, 15min) con 87.42% ± 0,63 en base seca. Realizando el análisis de varianza, se encontró que los tratamientos se distribuyen en tres grupos, el valor encontrado para el tratamiento doce estadísticamente no presenta diferencia significativa con otros seis, por lo que se toman otros criterios para la elección del tratamiento óptimo, para este este caso se plantea optar por el más económico, siendo esta el tratamiento tres con parámetros de 75°C, 1,5:1v/v, 15min. De la misma manera el coeficiente de variación (CV) determinado para los valores de rendimiento del hidrocoloide son homogéneos con respecto a la media debido a que los valores son cercanos a cero.

Inmaculada M. (2008), en su trabajo de investigación reporta que la fibra alimentaria total para la okara, vaina de haba y vaina de guisante son 55,48%, 40,11% y 58,58% respectivamente extraídos por el método enzimático-gravimétrico adoptado por la AOAC, método que determina la fracción de fibra soluble y fibra insoluble; en el cual sometió las muestras a la acción de la enzima α-amilasa a condiciones de pH 6, 100°C de temperatura por 30min, para luego agregar proteasa a pH 7,5, 60°C por 30min, seguido de un tratamiento con amiloglucosidasa a pH 4,5, 60°C por 30min, finalmente lo precipitó con etanol de 96° determinando así la fracción de fibra soluble y fibra insoluble.

Asimismo Flórez *et al.* (2006) estudió las fibras alimentarias comerciales de maracuyá, piña, limón, naranja y mandarina, reportando que contienen fibra alimentaria total 66,4 %, 55,9%, 54,9%, 62,2% y 60,9% para cada uno de ellos.

Del mismo modo Sánchez (2005) extrajo fibra alimentaria de la cascara de Mango Obo por el método enzimático-gravimétrico, realizando primeramente una solución de la muestra 0,1g con 50mL de buffer fosfato 0,05N, seguido de un tratamiento térmico a temperatura de ebullición con agitación constante a 60 rpm por 10min, para luego adicionarle 0,1mL de α-amilasa agitando por 15min a la misma velocidad; se enfrió y

se ajustó el pH a 7,5 con NaOH a 0,275N, calentó la muestra con baño de agua hasta 60°C, para después adicionarle 0,1mL de proteasa incubando luego por 30min a agitación constante de 60 rpm, enfrió y ajusto el pH a 4-4,3 con HCl 0,325N, calentado luego hasta 60°C para después adicionarle 0,3mL de amiloglucosidasa, incubando por 30min a 60 rpm de velocidad de agitación, finalmente se agregó etanol de 95% de pureza precalentado a 60°C en relación de 1:4 dejando reposar por 1h; reportó como fibra alimentaria total de los residuos fibrosos hasta 40%. Comparando estos datos reportados por distintos investigadores, la fibra alimentaria total del *Nostoc sp* es superior a todos ellos, esto principalmente debido a que el *Nostoc sp* pertenece a la familia de las algas similar a la reportada por Villarroel *et al.* (2003) fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* 77%.

Cuadro 4

Valores del rendimiento obtenidos en la etapa de extracción del hidrocoloide

Tratamientos	Rendimiento (%)*	CV (%)
1	$74,53^{b} \pm 0,96$	1,29
2	$74,76^{b} \pm 1,84$	2,46
3	$86,03^{c} \pm 0,52$	0,60
4	$86,94^{c} \pm 0,45$	0,51
5	$70,15^{a} \pm 0,43$	0,61
6	$75,07^{b} \pm 0,05$	0,06
7	$86,25^{c} \pm 0,58$	0,67
8	$86,72^{c} \pm 0,52$	0,60
9	$76,19^{b} \pm 1,49$	1,95
10	$74,35^{b} \pm 0,30$	0,40
11	$86,43^{c} \pm 1,13$	1,30
12	$87,42^{c} \pm 0,63$	0,71

* Media ± Desviación estándar, n=3.
CV: Coeficiente de Variación

El Cuadro 5, muestra los resultados del ANOVA teniendo como resultado el rendimiento y como factores fijos temperatura, relación alcohol y tiempo de precipitado, y la combinación de estos, de acuerdo al análisis reportados en el cuadro se deduce que los factores simples y el factor triple (Tiempo * Rel. alcohol * Temperatura) son altamente significativos ($p<0,01$), en cambio el factor doble tiempo-relación alcohol no interviene de manera significativa ($p=0,601>0,05$) en el rendimiento del hidrocoloide lo que no sucede con los otros dos factores dobles que son altamente significativos.

Cuadro 5

Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente rendimiento y los factores de extracción

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Tiempo	8,052	1	8,052	10,157	0,004
Rel. alcohol	1396,904	1	1396,904	1762,208	0,000
Temperatura	14,868	2	7,434	9,378	0,001
Tiempo * Rel. alcohol	0,223	1	0,223	0,281	0,601
Tiempo * Temperatura	15,187	2	7,593	9,579	0,001
Rel. alcohol * Temperatura	9,132	2	4,566	5,760	0,009
Tiempo * Rel. alcohol * Temperatura	21,004	2	10,502	13,249	0,000
Error	19,025	24	0,793		

4.2 Propiedades funcionales

4.2.1 Capacidad de retención de agua (CRA)

Los resultados obtenidos para la capacidad de retención de agua (CRA) se muestran en el Cuadro 6, estos resultados provienen de la combinación de tres factores (Temperatura, relación alcohol solución de muestra y tiempo de precipitado), los valores encontrados para el CRA fluctúan entre 0,98±0,01 y 1,37±0,01 g H_2O/g m.s., siendo el valor más alto para el tratamiento 3 con parámetros de 75°C, 1,5:1 y 10min. El análisis de varianza muestra que los tratamientos se distribuyen en seis grupos, el tratamiento 3 (optimo) es estadísticamente igual al tratamiento 1 (75°C, 1:1v/v y 10min) con valor de 1,32±0,06 g H_2O/g m.s., por lo que se tomó en cuenta criterios económicos para la elección del optimo, siendo ésta el tratamiento 1 como el que menos energía y reactivo requiere para su extracción.

En cambio para el coeficiente de variación (CV) de los valores de CRA muestran que todos los tratamientos son homogéneos.

Valencia y Román (2006), al realizar el estudio de extractos comerciales de fibra dietaria micropulverizada de trigo, avena y manzana, siguiendo la metodología de Lajolo (1998), encontró que la capacidad de retención de agua en la avena fue de 3,9 g H_2O/g m.s. siendo este mayor que las demás.

Martínez P. (2007), al analizar la fibra alimentaria de la Acacia tres espinas (*Gleditisa triacanthos L.)* extraída por método alcalino (NaOH 0,75% p/v) obtuvo mayor CRA siendo este valor 11 g H_2O/g m.s.

De la misma manera Villarroel *et al.* (2003), al analizar la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum*, encontró que la capacidad de retención de agua alcanzó valores de hasta 34 g H_2O/g m.s. para tamaños de partícula de 0.455mm, comparando con lo obtenido del *Nostoc sp* (Figura 17), éste es menor que los otros, debido principalmente al tipo de extracción al que fue sometido, así la fibra del musgo (Villarroel *et al.,* 2003) no sufrió tratamiento químico alguno y los otros tipos de fibra sufrieron tratamientos químicos los que en algunos casos incrementan significativamente estas propiedades, otro factor a lo que se debe es de acuerdo al origen y composición de la fuente de hidrocoloide y probablemente a su estructura lineal (Cubero *et al.*, 2002).

Cuadro 6

Valores de capacidad de retención de agua (CRA) obtenidos para cada tratamiento

Tratamiento	Capacidad de retención de agua – CRA (g H_2O/g m.s.) *	CV (%)
1	$1,32^{e,f} \pm 0,06$	4,28
2	$1,13^{b,c,d} \pm 0,03$	2,44
3	$1,37^{f} \pm 0,01$	0,82
4	$1,16^{c,d} \pm 0,03$	2,87
5	$1,12^{b,c,d} \pm 0,01$	0,71
6	$1,07^{a,b,c} \pm 0,04$	3,30
7	$0,98^{a} \pm 0,01$	0,86
8	$1,01^{a} \pm 0,05$	4,46
9	$1,04^{a,b} \pm 0,04$	3,97
10	$1,22^{d,e} \pm 0,04$	3,36
11	$1,17^{d} \pm 0,04$	3,76
12	$1,03^{a,b} \pm 0,03$	3,15

* Media ± Desviación estándar, n=3.

CV: Coeficiente de Variación

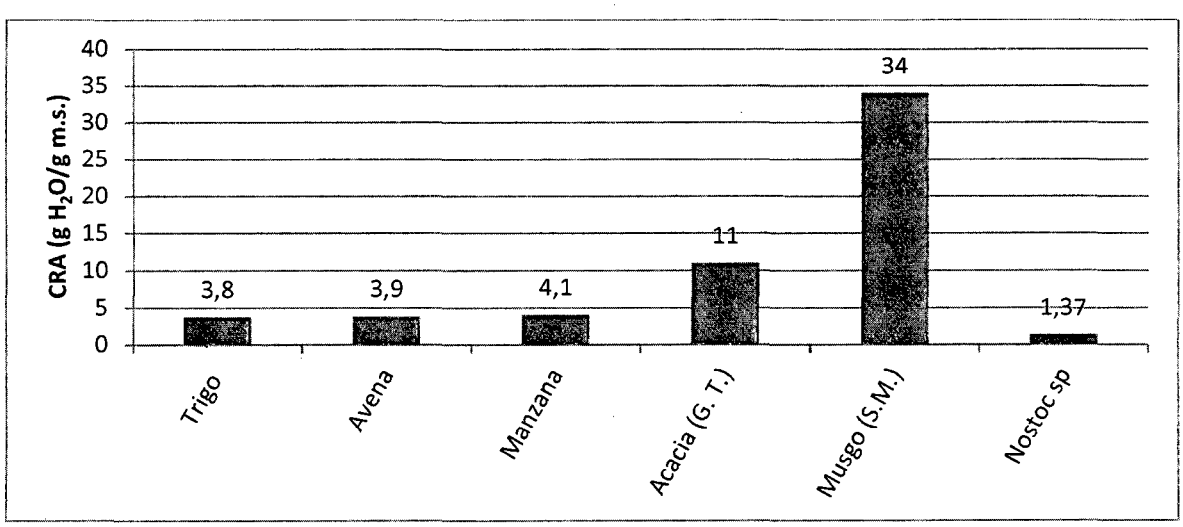


Figura 6: Capacidad de retención de agua (CRA) de diferentes fuentes de hidrocoloide

En el Cuadro 7, se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad de retención de agua (CRA) como variable de respuesta y temperatura, tiempo de precipitado y relación alcohol como factores fijos, se aprecia que el factor simple relación alcohol (Sig. 0,019) es significativo ($0,01<p<0,05$), en cambio los otros dos factores simples (Temperatura y Tiempo) son altamente significativos ($p<0,01$) sobres la medias de CRA, asimismo el efecto de los demás factores dobles y triples son altamente significativos ($p<0,05$) para la determinación del CRA.

Cuadro 7

Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente Capacidad de Retención de Agua (CRA) y los factores de extracción

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Rel. alcohol	0,008	1	0,008	6,375	0,019
Temperatura	0,250	2	0,125	100,111	0,000
Tiempo	0,037	1	0,037	29,993	0,000
Rel. alcohol * temperatura	0,030	2	0,015	12,076	0,000
Rel. alcohol * tiempo	0,017	1	0,017	13,350	0,001
Temperatura * tiempo	0,089	2	0,044	35,545	0,000
Rel. alcohol * temperatura * tiempo	0,072	2	0,036	28,825	0,000
Error	0,030	24	0,001		

4.2.2 Capacidad de absorción de agua (CAA)

Con respecto a la capacidad de absorción de agua (CAA) los resultados se muestran en el Cuadro 8, en el cual se observa que los valores varían desde 0,68±0,02 hasta 0,89±0,10 g H_2O/g m.s. correspondiendo el mayor valor al tratamiento uno a condiciones de extracción de 75°C, 1:1v/v y 10min y el menor al tratamiento siete (80°C, 1,5:1 y 10min). De acuerdo al análisis estadístico realizado (comparación de medias - Anova de un factor), los valores del CAA se dividen en tres grupos, de los cuales el tratamiento más óptimo (tratamiento uno) es estadísticamente igual a los

tratamientos tres (75°C, 1,5:1v/v y 10min) y diez (85°C, 1:1v/v y 15min), por lo tanto se adopta el criterio económico (el que menos energía y reactivo requiere para su extracción) para la elección del mejor tratamiento, resultando el tratamiento uno como el más óptimo en relación con los otros del mismo grupo.

Con respecto al coeficiente de variación (CV), los valores de los tratamientos 1, 5 y 10 no son homogéneos con respecto a la media, en cambio los valores de los tratamientos restantes son homogéneos.

Cuadro 8

Valores de capacidad de absorción de agua (CAA) obtenidos para cada tratamiento

Tratamientos	Capacidad de Absorción de Agua – CAA (g H_2O/g m.s.)*	CV (%)
1	$0,89^{c} \pm 0,10$	10,91
2	$0,75^{a} \pm 0,03$	3,53
3	$0,79^{a, b, c} \pm 0,02$	2,20
4	$0,75^{a, b} \pm 0,02$	2,48
5	$0,71^{a} \pm 0,04$	5,76
6	$0,70^{a} \pm 0,02$	3,20
7	$0,68^{a} \pm 0,02$	2,70
8	$0,73^{a} \pm 0,02$	2,49
9	$0,75^{a} \pm 0,01$	1,00
10	$0,88^{b, c} \pm 0,09$	10,00
11	$0,74^{a} \pm 0,02$	2,04
12	$0,69^{a} \pm 0,01$	1,05

* Media ± Desviación estándar, n=3.
CV: Coeficiente de Variación

Ramírez y Pacheco (2009), realizaron estudios a tres diferentes tipos de harina ricos en fibra alimentaria (Figura 18), harina de piña, guayaba y guanábana, en los cuales determinaron la capacidad de absorción de agua (CAA) siguiendo la metodología de Wang y Kinsella (1976), reportando como resultado que la harina de guayaba contiene

mayor capacidad de absorción de agua con 5,25 g H_2O/g m.s. que las otras con 4,58 g H_2O/g m.s. y 4,57 g H_2O/g m.s. para harinas de piña y guanábana.

De la misma manera Villarroel *et al.* (2009), determinó la capacidad de absorción de agua (CAA) en fibra de musgo *Sphagnum magellanicum,* de donde concluyó que el musgo alcanzó valor máximo en CAA de 36,0 g H_2O/g m.s. a 0,455mm de tamaño de partícula.

Por lo tanto la capacidad de absorción de agua (CAA) del *Nostoc sp* (0,89±0,10 g H_2O/g m.s.) es menor que las demás fibras alimentarias, esto debido a la estructura química del polisacárido que conforma el hidrocoloide, posiblemente debido a la estructura lineal (Cubero *et al.*, 2002), pero es posible aumentar los valores de CAA cambiando los métodos de extracción del hidrocoloide tal como se extrajo la fibra alimentaria de la acacia tres espinas.

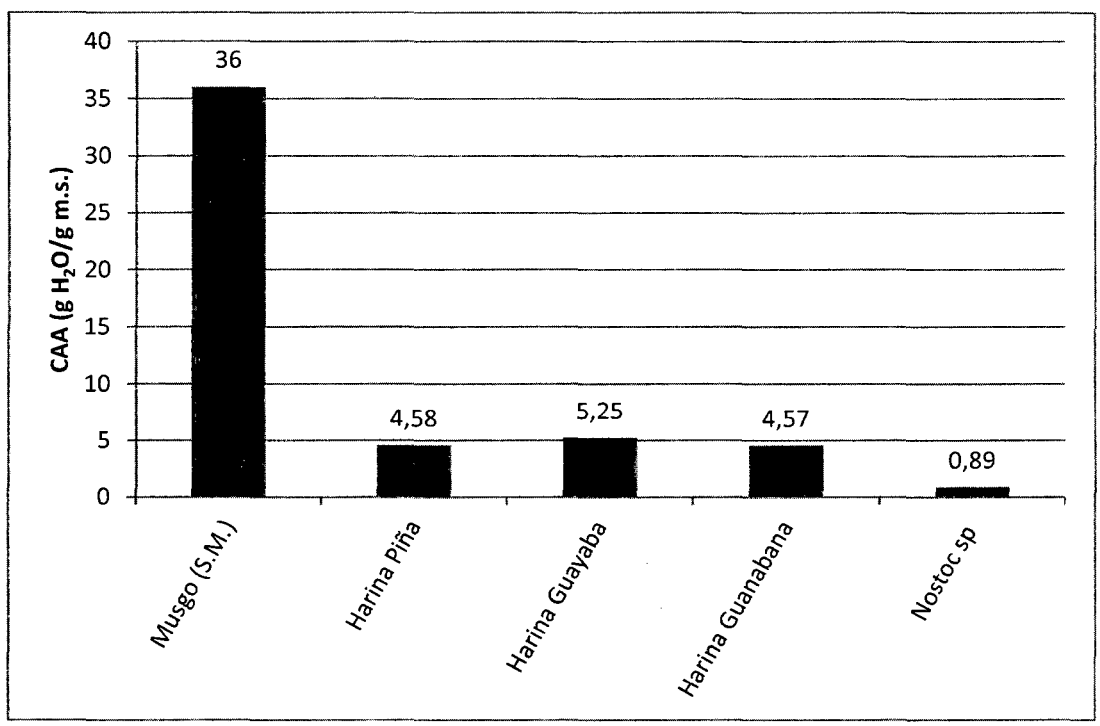


Figura 7: Capacidad de absorción de agua (CAA) de diferentes tipos de hidrocoloides

En el Cuadro 9 se muestra el resultado del análisis de varianza univariante para establecer el efecto de cada uno de los factores tiempo, temperatura y relación de alcohol solución de hidrocoloide y la combinación de estas, sobre la capacidad de

absorción de agua (CAA), en el cuadro se observa que el factor simple tiempo (p=0,539>0,05) y el factor doble Rel. alcohol*tiempo (p=0,698>0,05) no intervienen de manera significativa en la determinación del CAA, en cambio los otros dos factores simples (Rel. alcohol y Temperatura) son altamente significativos (p<0,01), asimismo el factor doble Rel. alcohol*Temperatura (Sig. 0,037) interviene de manera significativa (0,01<p<0,05) en la variable de respuesta, del mismo modo el factor doble (Temperatura*Tiempo) y el factor triple son altamente significativos (p<0,01) en la determinación de la capacidad de absorción de agua.

Cuadro 9

Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente Capacidad de Absorción de Agua (CAA) y los factores de extracción

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Rel. alcohol	0,019	1	0,019	10,733	0,003
Temperatura	0,052	2	0,026	14,283	0,000
Tiempo	0,001	1	0,001	0,388	0,539
Rel. alcohol * Temperatura	0,014	2	0,007	3,783	0,037
Rel. alcohol * Tiempo	0,000	1	0,000	0,154	0,698
Temperatura * Tiempo	0,030	2	0,015	8,412	0,002
Rel. alcohol * Temperatura * Tiempo	0,035	2	0,017	9,584	0,001
Error	0,043	24	0,002		

4.2.3 Capacidad de Hinchamiento (CH)

Para la capacidad de hinchamiento (CH) los resultados se muestran en el Cuadro 10, los cuales provienen de la combinación de los tres factores en estudio, en el cuadro se observa que los resultados fluctúan entre 6,00±0,00 y 9,00±0,50 mL H_2O/g m.s. siendo

el tratamiento diez (85°C, 1:1v/v y 15min) el que mayor valor posee, en cambio el valor más bajo reportó el tratamiento seis (80°C, 1:1v/v y 15min). De acuerdo al análisis estadístico realizado (comparación de medias - Anova de un factor), los resultados para la CH se dividen en 6 grupos, y el tratamiento diez se encuentra en el sexto grupo junto con el tratamiento tres (75°C, 1,5:1v/v y 10min) con un valor de 8,33±0,29 mL H_2O/g m.s., por lo tanto estadísticamente estos dos tratamientos son iguales, para este caso se tomó en cuenta los resultados bibliográficos reportados por sus respectivos investigadores con respecto a la capacidad de hinchamiento, siendo el tratamiento diez mayor a la mayoría de las fibras alimentarias con excepción a las fibras que han sufrido tratamiento químico para mejorar esta propiedad, por lo que se seleccionó este tratamiento como el mejor.

De la misma manera el coeficiente de variación (CV) de los valores de CH para cada uno de los tratamientos muestran que son homogéneos con respecto a la media, a excepción de los tratamientos 10 y 11.

Flórez *et al.* (2006), determinó la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra alimentaria comercial de maracuyá, piña, limón, naranja y mandarina, de los cuales la fibra alimentaria de maracuyá presenta mayor capacidad de hinchamiento con 8,5 mL H_2O/g m.s. que las otras fibras alimentarias.

Asimismo, Martínez P. (2007), al evaluar la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra de acacia tres espinas (*Gleditsia triacanthos L.)* alcanzó un valor máximo de 15,74 mL H_2O/g m.s. para la extracción alcalina con NaOH (0,75% p/v) a condiciones de 90°C y 25min.

Cuadro 10

Valores de capacidad de hinchamiento (CH) obtenidos para cada tratamiento

Tratamientos	Capacidad de Hinchamiento – CH (ml H_2O/g m.s.)*	CV (%)
1	$7{,}66^{d,e} \pm 0{,}28$	3,71
2	$6{,}00^{a} \pm 0{,}00$	0,03
3	$8{,}33^{e,f} \pm 0{,}29$	3,45
4	$7{,}33^{c,d} \pm 0{,}29$	3,94
5	$7{,}00^{b,c,d} \pm 0{,}00$	0,00
6	$7{,}17^{c,d} \pm 0{,}29$	4,03
7	$7{,}17^{c,d} \pm 0{,}29$	4,03
8	$6{,}17^{a,b} \pm 0{,}29$	4,68
9	$6{,}67^{a,b,c} \pm 0{,}29$	4,33
10	$9{,}00^{f} \pm 0{,}50$	5,56
11	$7{,}67^{d,e} \pm 0{,}29$	3,76
12	$6{,}50^{a,b,c} \pm 0{,}50$	7,69

* Media ± Desviación estándar, n=3.
CV: Coeficiente de Variación

De la misma manera, Villarroel *et al.* (2003) evaluó la capacidad de hinchamiento (CH) de la fibra del musgo (*Sphagnum magellanicum*) el cual alcanzó a 8 mL H_2O/g m.s. como valor máximo a 0,455mm de tamaño de partícula.

Por lo tanto, la capacidad de hinchamiento (CH) obtenida del *Nostoc sp* alcanzó 10 mL H_2O/g m.s. como valor máximo, de donde se observa (Gráfico 19) que es mayor que las demás fuentes de hidrocoloide a excepción de la fibra de la acacia tres espinas (*Gleditsia triacanthos L.)* que es la única fuente de fibra que es mayor en capacidad de hinchamiento que el *Nostoc sp,* pero esto debido a que la fibra de la acacia ha sido extraída por métodos alcalinos y si el *Nostoc sp* se le somete a tratamiento alcalino, entonces se tendría también valores más elevados en capacidad de hinchamiento que los

reportados ahora; por otro lado, el hidrocoloide del *Nostoc sp* es posible aplicarlo en la formulación de productos dietéticos debido fundamentalmente a que produce mayor sensación de saciedad consumiendo menor cantidad de alimento y lógicamente menor kilocalorías lo cual ayuda a corregir problemas de obesidad (Saris, 2003; Slavin, 2005).

En el Cuadro 11 se muestra el resultado del análisis de varianza univariante para establecer el efecto de cada uno de los factores tiempo, temperatura y relación de alcohol solución de hidrocoloide y la combinación de estos sobre la capacidad de hinchamiento (CH) del hidrocoloide, en el cuadro se aprecia que el factor simple Rel. alcohol (p=0,600>0,05) no interviene de manera significativa en la determinación de la CH, en cambio los otros dos factores simples (Tiempo y Temperatura) como los factores dobles y el factor triple son altamente significativos para la determinación de la capacidad de hinchamiento (CH).

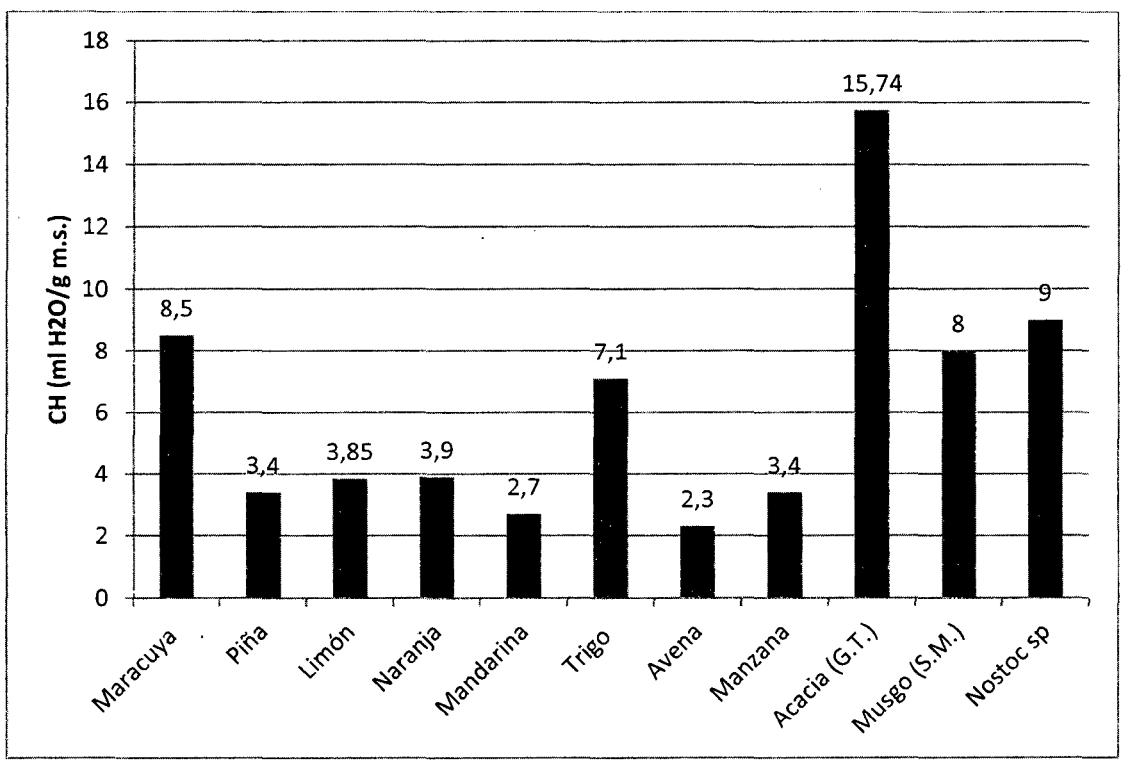


Figura 8: Capacidad de hinchamiento (CH) de diferentes tipos de hidrocoloide

Cuadro 11

Prueba de los efectos inter-sujetos para la variable dependiente Capacidad de Hinchamiento (CH) y los factores de extracción

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Rel alcohol	0,027	1	0,027	0,283	0,600
Temperatura	2,261	2	1,130	11,659	0,000
Tiempo	1,358	1	1,358	14,003	0,001
Rel alcohol * temperatura	5,188	2	2,594	26,756	0,000
Rel alcohol * tiempo	4,001	1	4,001	41,266	0,000
Temperatura * tiempo	5,505	2	2,753	28,394	0,000
Rel alcohol * temperatura * tiempo	6,541	2	3,270	33,735	0,000
Error	2,327	24	0,097		

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De la investigación realizada y con los resultados obtenidos en el mismo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La extracción del hidrocoloide del alga *Nostoc sp* por el método de precipitación con alcohol comercial de 96° de pureza, se logró rendimientos altos de hidrocoloide, siendo los factores más adecuados de extracción: temperatura 85°C, relación alcohol solución de muestra 1,5:1 v/v y tiempo 15 min con un rendimiento de 87,42±0,63%, por consiguiente la modificación de los factores físicos y químicos de extracción (temperatura, tiempo de precipitado y concentraciones de alcohol de 96° de pureza) proporciona como resultado diferentes valores de rendimiento.

La evaluación de las propiedades funcionales del hidrocoloide obtenido traducidos en capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de agua (CAA) y la capacidad de hinchamiento (CH), son diferentes unos de otros de acuerdo al nivel de los factores al cual fue sometido cada tratamiento, los cuales se verifican de acuerdo a la metodología de extracción y la metodología de evaluación de cada propiedad.

En la capacidad de retención de agua (CRA), los factores de extracción más adecuados para la determinación del CRA son: temperatura 75°C, relación de alcohol solución de muestra 1,5:1 y tiempo 10 min correspondiente para el tratamiento tres con valor de 1,37±0,01 g H_2O/ g m.s., la modificación de las condiciones de extracción del hidrocoloide condicionan el resultado los cuales se traducen en los diferentes valores encontrados para el CRA.

Con respecto a la capacidad de absorción de agua (CAA), el resultado más conveniente se obtiene con el tratamiento uno (0,89±0,10 g H_2O/g m.s.) con parámetros de extracción: temperatura 75°C, relación alcohol solución de muestra 1:1 v/v y tiempo 10 min, los niveles de los factores de extracción determinan los resultados, los cuales se traducen en los diferentes valores de CAA encontrados.

Asimismo para la capacidad de hinchamiento (CH), los parámetros más adecuados de extracción son: temperatura 85°C, relación alcohol solución de muestra 1:1 v/v y tiempo 15 min los cuales corresponden al tratamiento diez (9,00±0,50 mL H_2O/g m.s.), de la misma manera la variación de los niveles de cada factor de extracción condicionan el resultado, los cuales se traducen en los diferentes valores de CH determinados.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere extraer el hidrocoloide del *Nostoc sp* por métodos químicos previo a la precipitación con alcohol comercial, de igual forma se sugiere realizar tratamientos con amortiguadores de pH (buffers) para obtener mejores resultados en cuanto a sus propiedades funcionales.

Se recomienda identificar el tipo de hidrocoloide al cual pertenece la goma extraída del *Nostoc sp* realizando un previo análisis de la estructura química.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDERSON J.W., Y MAJOR A.W., 2002. Pulses and lipaemia, short- and long-term effect: potential in the prevention of cardiovascular disease. Br J Nutr, 88: 263-271.
2. ANDERSON J.W., Y HANNA T.J., 1999. Impact of nondigestible carbohydrates on serum lipoproteins and risk for cardiovascular disease. J Nutr, 129: 1457-1466.
3. ASP N.G., 1996. Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. Food Chem, 57, 1, 9-14
4. ASP N.G., JOHANSSON C.G., HALLMER H. AND SILJESTRÖM M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble fiber. J Agric Food Chem, 31, 3, 476-482
5. BELO PS, LUMEN BO. 1981. Pectic substance content of detergent extracted fibers. J. Agric. Food Chem. 29:370-373.
6. BeMILLER, JN. 2007. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. St. Paul, MN. AACC International Press. 2nd. Edition. 389 p.
7. BENNETT W.G., Y CERDA J.J., 1996. Benefits of dietary fiber. Dietary Fiber, 99:153-172.
8. BERGMANN J.F., CHASSANY O., PEPIT A., TRIKI R., CAULIN C. Y SEGRESTAA J.M., 1992. Correlation between echographic gastric emptying and appetite: influence of psyllium. Gut, 33: 1042-1043.
9. BOSAEUS I., 2004. Fibre effects on intestinal functions (diarrhoea, constipation and irritable bowel syndrome). Clin Nutr Suppl, 1(2), 33-38
10. BURDASPAL PA, VELEZ F, LEGARDA MI, PINILLA I. 1980. Expresión del contenido en fibra de los alimentos: fibra bruta y fibra Alimentaria. Alimentaria 118:45-51.
11. CARRÉ B., Y BRILLOUET, J.M. 1989. Determination of water-insoluble cell walls in feeds: interlaboratory study. J Assoc off chem, 72, 3, 463-467
12. CHANDALIA M., GARG A., LUTJOHANN D., VON BERGMANN K., GRUNDY S.M. Y BRINKLEY L.J., 2000. Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 Diabetes Mellitus. New Engl J Med, 342: 1392-1398.

13. GUILLON F., Y CHAMP M.M.J., 2000. Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. Br J Nutr, 88 (Suppl. 3): 293-306.
14. CHAPLIN, M. 2008. Pectin (en línea). UK. Consultado 1 sep. 2008. Disponible en: http://www.lsbu.ac.uk/water/hypec.html
15. CHEFTEL, J., CUQ, J. Y LORIENT, D. 1989. Proteinas alimentarias: Bioquimica. Propiedades funcionales. Valor nutritivo. Modificaciones químicas. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España.
16. CRUZ M. 2002. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (Pasiflora edulis). [tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico]. México. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán.
17. CUBERO, N., MONFERRER, A. Y VILLALTA, J., 2002. Aditivos Alimentarios, (pp. 115, 134, 152-154) Mundi-Prensa, Madrid.
18. DEVRIES J.W., PROSKY L., LI B. Y CHO S. 1999. A historical perspective on defining dietary fiber. Cereal Foods World, 44: 367-369.
19. DREHER, M. L., 2001. Dietary Fiber Overview. Handbook of Dietary Fiber. S. Sungsoo Cho and M. L. Dreher. New York, Marcel Dekker, Inc
20. DREHER ML. 1987. Dietary Fiber Methodology. En: Handbook of Dietary Filme (eds). An Appied Approach Marcel Dekker: New York, pp. 234-245.
21. DURÁN L. 2001. Aditivos naturales. Consejo superior de investigaciones científicas. Arbor CLXVIII. España.
22. DZIEZAK J.D., 1991. A focus on gums. Food Technology, v.45, nº3, p.115.
23. FEMENIA, A., A. C. LEFEBVRE, 1997. "Physical and Sensory Properties of Model Foods Supplemented with Cauliflower Fiber." Journal of Food Science 62 N. 4: 635-639.
24. FIGUEROLA, F., HURTADO M. L., 2008. "Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. "Facultad de Ciencias Agrarias de Chile, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.
25. FLÓREZ A., Oscar, ROMÁN M., Orfilia, L. MARTÍNEZ, Olga, GUTIÉRREZ E., Lucía, B. MEDINA, Gilma. 2006. Optimización de un preparado sólido de fibra dietaria a partir de diferentes residuos de frutas. Vitae, vol. 13, numero 1. Universidad de Antioquia. Colombia.

26. FRAZZOLI, A., 2007. Determination of Hydration Properties of Insoluble Plant Material with Different Methods under Physiological Conditions. Dottoressa in Chimica Industriale. Italia, Università degli studi di Bologna. Natural Sciences: 133.
27. FURDA I. 1981. Silmutaneous of soluble and insoluble fiber. The analysis of dietary fiber in food. Marcel Dekker, Inc. New York. 163-172
28. FURDA I., GENGLER S.C., JOHNSON R.R., MAGNUSON J.S. Y SMITH D.E., 1979. 93rd Annual Meeting of the AOAC. Abstr. 87. Washington, D.C. October 15-18
29. GARCÍA PERIS P., BRETÓN LESMES I., DE LA CUERDA COMPEZ C., Y CAMBLOR ÁLVAREZ., 2002. Metabolismo colónico de la fibra. Nutr Hosp, 17:11-16.
30. GRAY J., 2006. Dietary Fibre. Definition, Analysis, Physiology and Health. ILSI Europe Concise Monograph Series. Brussels : ILSI
31. GRAY, J., (2003). Hidratos de carbono: Aspectos nutricionales y de salud. ILSI Europe Concise Monograph Series. Brussels : ILSI
32. GUILLON F., CHAMP M., Y THIBAULT J.F., 2000. Dietary fibre functional products. En: GR Gibson y CM Williams (eds.). Functional Foods. Woodhead Publishing, Cambridge, England. 315-355 pp.
33. GUZMÁN C. E., 2008. Fibra Dietética. U. d. Chile. Santiago de Chile, Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos: 31.
34. HELLENDOORN E.W., NOORDHOFF M.G. Y SLAGMAN J. 1975. Enzymatic determination of the indigestible residue (dietary fibre) content of human food. J Sci Food Agric, 26, 10, 1461-1468
35. HOLT S.H.A., BRAND-MILLER J.C., STITT P.A., 2001. The effects of equal-energy protions of different breads on blood glucose levels, feelings of fullness and subsequent food intake. J Am Diet Assoc, 101: 767-773
36. HOLT S., MUNTYAN I., Y LIKYER L. 1996. Soya-based diets for Diabetes Mellitus. Alternative & Complementary Therapies, March/April 1996.
37. INMACULADA MATEOS A., 2008. Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de productos funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. Tesis (Dr.). Universidad Complutense de Madrid.

38. INTERNATIONAL MIGRATION REVIEW IMR. 1999. Carrageenan Profile. Hydrocolloid Review. 2:15-62.
39. JENKINS D.J., WOLEVER T.M., RAO A.V., HEGELE R.A., MITCHELL S.J., RANSON T.P., 1993. Effect of blood lipids of very high intakes of fiber in diets low in saturated fat and cholesterol. N Engl J Med, 329: 21-26.
40. KUSHI, L.H., MEYER, K.M. Y JACOBS, D.R. 1999. Cereals, legumes, and chronic disease risk reduction: evidence from epidemiologic studies. Am J Clin Nutr, 70: 451-458.
41. LEE S.C. Y PROSKY L. 1994. Perspectives on new dietary fiber definitions. Cereal Foods World, 39, 10, 767-768
42. LINDEN, G., LORIENT, D. 1996. Bioquímica Agroindustrial. Editorial ACRIBIA, Zaragoza-España.
43. LIU, K., 1999. Soybeans: Chemistry, technology and utilization. Editorial an aspen publication. Estados Unidos.
44. LÓPEZ-MUNGUÍA A., BRITO E., GALINDO E., 1993. Biopolímeros. En: Biotecnología Alimentaria. García-Garibay, Quintero-Ramírez y López-Munguía (Coordinadores), Ed. Limusa, Capitulo 13, pp. 423-451.
45. McQUEEN R.E., Y NICHOLSON J.W.G. 1979. Modification of the neutral detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using α-amilasa. J Assoc Off Anal Chem, 62, 3, 676-680
46. MÄLKKI Y., 2001. Physical properties of dietary fiber as keys to physiological functions. Cereal Foods World, 46:196-199.
47. MANGINO M. 1984. Physicochemical aspects of the whey protein functionality. Diary scientific, pp 2711 -2772.
48. MARTÍNEZ VÁSQUEZ, P., 2007. Comparación de tres métodos para la extracción de goma de la semilla de acacia de tres espinas *(Gleditsia triacanthos L.)*. Tesis (Ing). Universidad de Chile – Escuela de Ciencias Agronómicas.
49. MATEU X. 2004. La fibra en la alimentación Farmacia Hospitalaria. Barcelona. Editorial: Gráfiques celler S.A.
50. McCLEMENTS, D.J. (1999). "Food Emulsion: Principles, Practice ad Techniques". CRC Press. Boca Raton, FL., EUA.

51. MONGEAU R., SCOTT F.W. Y BRASSARD, 1999. Definition and analysis of dietary fiber. En: Susan Sungsoo Cho, Leon Prosky, Mark Dreher (eds). Complex Carbohydrates in Foods. Marcel Dekker, Inc. New York.
52. MUSSATTO S.I., Y MANCILHA I.M., 2007. Non-digestible oligosaccharides: A review. Carbohydrate Polymers, 68: 587-597.
53. ORÓS HUAYHUA T. 2009. Caracterización fisicoquímica y biométrica de *Nostoc sp* de la laguna Huascaccocha. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial – departamento Académico de Ciencias Básicas. Abancay – Apurímac.
54. PERAZA G. 2000. Caracterización de los residuos Fibrosos de Canavalia ensiformis L. y Phaseolus Lunatus L. y su incorporación a un producto alimenticio. Tesis (Ing). Universidad Autónoma de Yucatán. México. Facultad de Ingeniería Química.
55. PÉREZ GAGO B., DEL RIO M. A., ROJAS ARGUDO C. 2008. Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. Centro de postcosecha – IVIA. Moncada Valencia
56. POTTÍ, D. 2007. Materias Primas: Estabilizantes: Pectinas. Consultado 1 sep. 2008- Disponible en: http://www.mundohelado.com/materiasprimas/estabilizantes/estabilizantes-pectinas.htm
57. PRÉSTAMO G., RUPÉREZ P., ESPINOSA-MARTOS I., VILLANUEVA M.J. Y LASUNCIÓN M.A., 2007. The effects of okara on rats growth, cecal fermentation and serum lipids. Eur Food Res Technol, 225: 925-928
58. PROSKY L. 1999. Inulin and oligofructose are part of the dietary fiber complex. J AOAC Int, 82, 2, 223-226
59. PROSKY L., ASP N.G., FURDA I., DEVRIES J.W., SCHWEIZER T.F. Y HARLAND B. F. 1984. Determinations of total dietary fiber in foods, food products, and total diets: interlaboratory study. J Assoc Off Anal Chem, 67, 6: 1044-1051
60. RAGHAVENDRA, S. N., S. R. RAMACHANDRA S., 2006. "Grinding characteristic and hydration properties of coconut residue: Asourse of dietary fiber." Jorunal of Food Engineering 72: 281-286.

61. RAJESHA, J.; MURTHY K. N. C.; KUMAR, M. K.; MADHUSUDHAN, B.; RAVISHANKAR, G. A., 2006. Antioxidant potentials of flaxseed in vivo model. J. Agric. Food Chem. 54: 3794-3799.
62. RAMÍREZ A., PACHECO E., 2009. Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. 0378 - 1844/09/04/293-06. Vol. 34 N° 4.
63. RAMSDEN L., 2004. Plant and Algal Gums and Mucilages. En Tomasik, P. (Ed.), Chemical and Functional Properties of Foood Saccahrides, (pp. 230-245) CRC Press, Boca Raton.
64. REHM B., VALLA S., 1997. Bacterial alginates. Biosynthesis and application. Appl Microbio Biotechnol 48: 281 – 288.
65. REDONDO MÁRQUEZ, L., R. TORNÉ A., 2008. Fibra Terapeutica. Madrid, Laboratorios Madaus S.A.
66. RODRÍGUEZ M. 1993. Influencia del tratamiento térmico en la fibra alimentaria y azucares solubles de productos vegetales. [Tesis Doctoral]. Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de Nutrición y Bromatología II. Universidad Complutense de Madrid.
67. SARIS W.H.M., 2003. Glycemic carbohydrate and body weight regulation. Nutr Rev, 61: 10s-16s
68. SCHWEIZER T.F., Y WÜRSCH P. 1979. Analysis of dietary fiber. J Sci Food Agric, 30, 613-619
69. SHAHIDI, E. 2002. Nutraceutical and functional foods: research addresses bioactive components. Food Technol. 56: 23.
70. SILVA BLANCO CLAUDIA A. 2010. Caracterización reológica de hidrocoloides alimentarios: goma guar, goma tragacanto, metilcelulosa y sus mezclas. Tesis (Dr.). Universidade de Santiago de Compostela.
71. SLAVIN J.L., 2003. Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrient databases. J Food Comp Anal, 16:287-291.
72. SLAVIN J.L., 2005. Dietary fiber and body weight. Nutr, 21: 411-418.
73. SLAVIN JL, MARLETT JA. 1983. Evaluation of high-performance liquid chromatography for measurement of the neutral saccharides in neutral detergent fiber. J. Agric. Food Chem. 31:467-471.

74. SOUTHGATE DAT. 1969. Determination of carbohydrates in foods II - Unavailable carbohydrate. J Sci Food Agric 20:331- 335.

75. VALENCIA G., Francia E. ROMAN M., María O. 2006. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. Vitae, vol. 13, numero 2. Universidad de Antioquia. Colombia

76. VAN SOEST PJ, WINE RH. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds IV. Determination of plant cell wall constituents. J. Assoc. Off Anal. Chem. 50:50-55.

77. VAN SOEST, P.J. 1963A. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. J Assoc Off An Chem, 46, 5, 825-829

78. VAN SOEST, P.J. 1963B. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J Assoc Off Anal Chem, 46, 5, 829-835

79. VAN SOEST, P.J., Y MCQUEEN, R.W. 1973. The chemistry and estimation of fibre. Proc Nutr Soc, 32, 3, 123-130

80. VILCANQUI PÉREZ F. 2009. Extracción y caracterización de la fibra de hojas de *Agave tequilana* Weber destinados para la inclusión en alimentos. Tesis (M. C.). Universidad Autónoma de Nuevo León.

81. VILLARROEL M, ACEVEDO C, YÁÑEZ E, BIOLLEY E. 2003. Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, ALAN 53:400-407.

82. WANISKA, R., SHETTY, J. Y KINSELLA, J., 1981. Protein – stabilized emulsions: Effects of modification on the emulsifying activity of bovine serum albumin in a model system. J. Agric. Food chemistry.

83. WHISTLER, R. y BeMILLER, J. 1993. Industrials Gums: Polysacharides and their derivates. 3ª edition. Academic Press. San Diego. EE.UU.

84. WIJERATNE, B. 2005. Propiedades funcionales de la proteína de soya en un sistema de alimentos. Programa INTSOY (International Soybean Program). Universidad de Illinois.

85. YASEEN, E.I., HERALD, T.J.,ARAMOUNI, F.M. y ALAVI, S. 2005. Rheological properties of selected gum solutions. Food Research International. N° 38, p. 111–119.

86. ZAMBRANO Z. DE LA LUZ M, MELÉNDEZ R, GALLARDO Y. 2001. Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. En Fibra Dietética en Iberoamérica, Tecnología y Salud. Editado por Lajolo M, Saura F, Witting E. y Wenzel E. Brasil.

87. ZÚÑIGA M. 2005. Caracterización de Fibra Dietaria en Orujo y Capacidad Antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. Tesis (Ing). Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Agronómicas.

ANEXOS

Anexo 1

Fotografías del proceso experimental

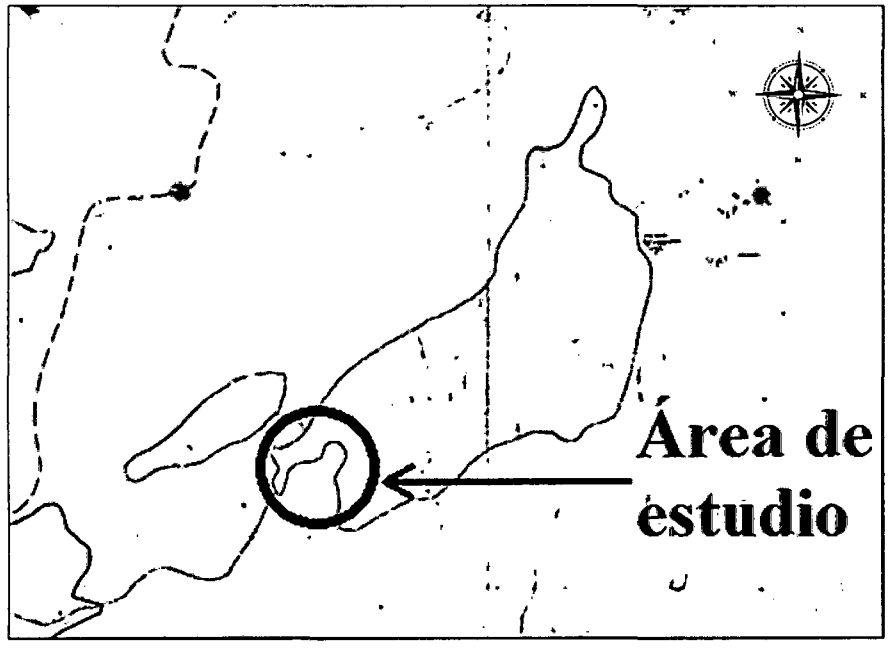


Foto 1: Área de la laguna objeto de estudio.

Foto 2: Herramienta acondicionada para la recolección de las muestras.

Foto 3: Algas con madurez excesiva y en proceso de reproducción (con brotes).

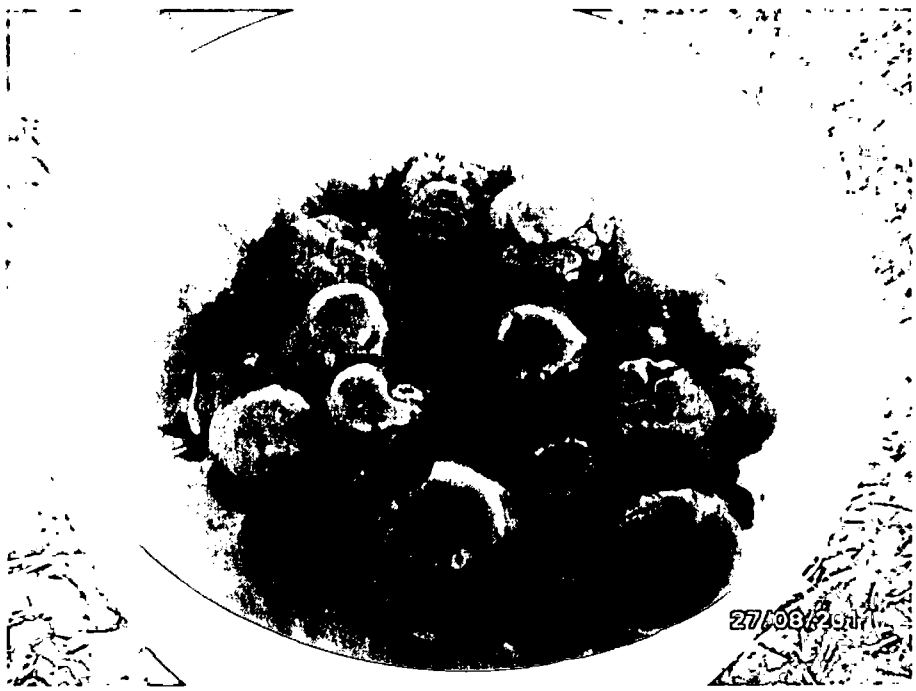


Foto 4: Recipientes con agua conteniendo la muestra recolectada.

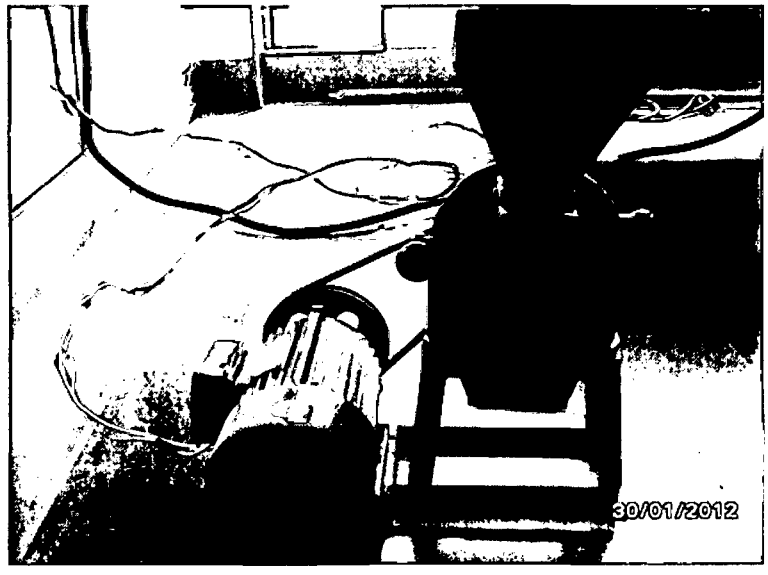


Foto 5: Molino de disco.

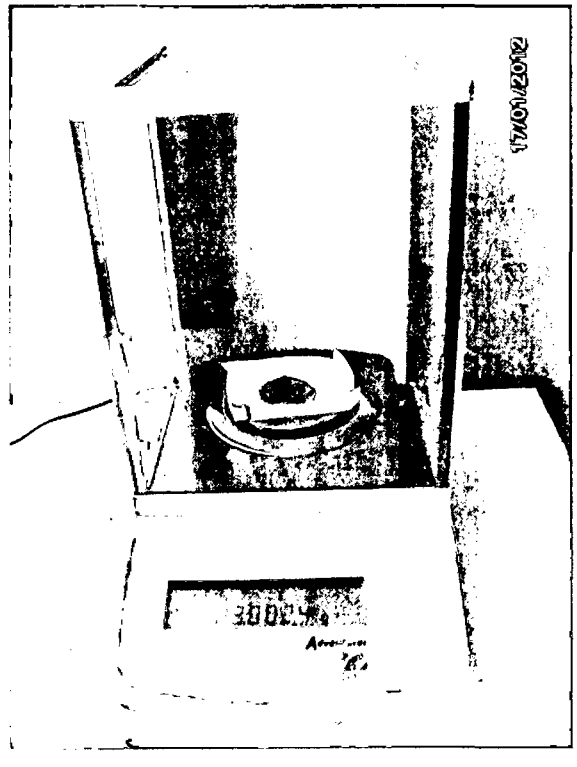


Foto 6: Balanza analítica.

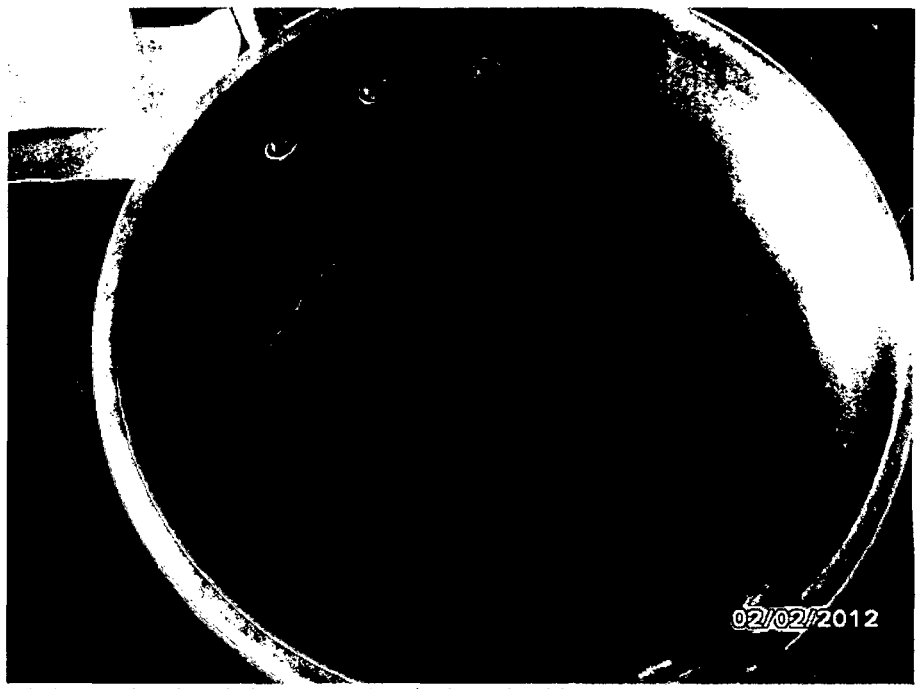


Foto 7: Recipiente de aluminio conteniendo la solución de muestra y agua destilada

Foto 8: Licuadora cacera.

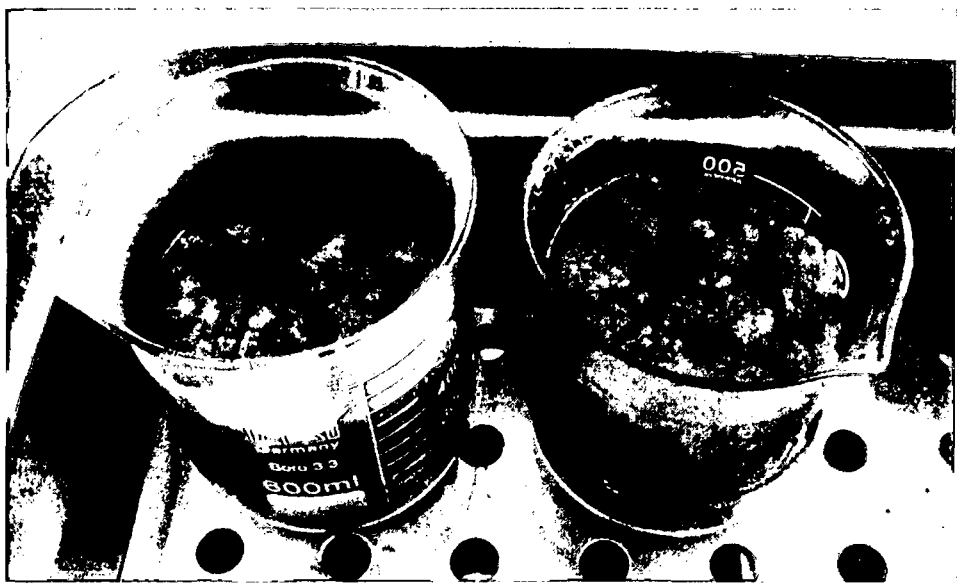
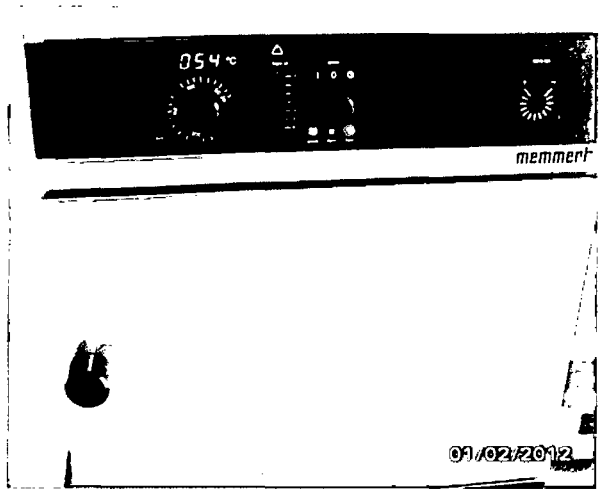
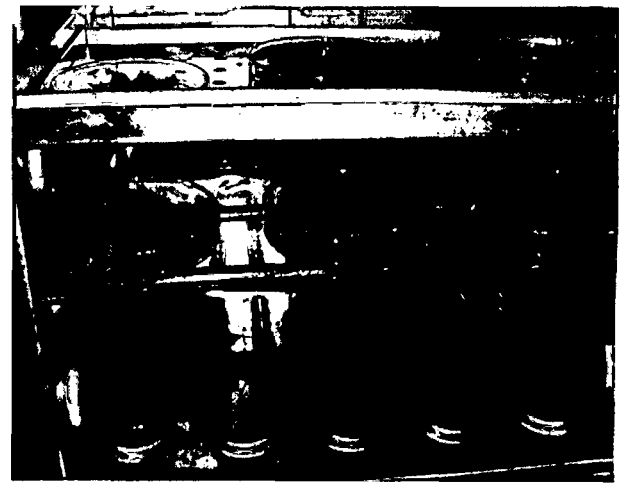


Foto 9: Precipitación del hidrocoloide utilizando alcohol de 96°.

Foto 10: Separación del hidrocoloide precipitado.





(a) (b)

Foto 11: (a) Estufa electrica, (b) Interior de la estufa electrica y las placas petri conteniendo el hidrocoloide.

Foto 12: Tamices con tamaños de malla de 355 y 425 micrómetros.