

Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería

Mario Villarroel, Carol Acevedo, Enrique Yáñez, Edith Biolley

Universidad de La Frontera. Facultad de Ingeniería y Facultad de Medicina. Temuco, Chile

RESUMEN. Se estudiaron las propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum*. determinándose: Capacidad de absorción (CAA) y retención de agua (CRA), capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO), capacidad de hinchamiento (CH) y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Fracciones de tamaño de partícula T1(1.4mm);T2(1.0mm); T3 (0.425mm); T4(0.180mm) fueron analizadas para medir su efecto sobre estas propiedades. Las mejores respuestas de CAA, CRA, CAMO y CH se obtuvieron con T3, con la excepción de la CIC cuyo mejor resultado se obtuvo con T1. Se desarrolló una formulación optimizada de pan enriquecido con fibra del musgo analizando simultáneamente el efecto de cuatro variables independientes: levadura, agente esponjante, fibra de musgo y manteca vegetal sobre la calidad sensorial del pan. La variable más significativa ($p < 0.05$) resultó ser la levadura con una participación de 50% sobre la respuesta. Muestras de pan con fibra se almacenaron a 20°C y 6°C para determinar su vida útil. La mejor respuesta de calidad sensorial se obtuvo con las muestras refrigeradas, que permanecieron aptas para su consumo por un tiempo de dos semanas.

Palabras clave: Musgo, *Sphagnum magellanicum*, propiedades funcionales, calidad sensorial

SUMMARY Functional properties of *Sphagnum magellanicum* fiber and its direct use in formulation of bakery products. Characterization of functional properties of *Sphagnum magellanicum* fiber were investigated. Water absorption (WAC) and water retention (WRC) capacities, swelling capacity (SC); organic molecule absorption capacity (OMAC) and cationic interchange capacity (CIC) were evaluated, as well as its incorporation as fiber source to bakery products. Different particles sizes were selected to evaluate their effects on the functional properties of moss fiber: T1(1.4mm);T2(1.0mm); T3(0.42mm); T4(0.18mm). Best results of CAA, CRA; SC and OMRC were obtained with T3, whereas best values of CIC were attained with T1. An optimized formulation of fiber enriched bread was developed analyzing simultaneously the effect of four independent variables (yeast, moss fiber, fluffy agent and shortening) on the sensory quality of products. Shelf life studies were carried out by storing samples of fiber enriched breads at 20°C and 6°C. At the end of the study, refrigerated samples showed better sensory quality stability.

Key words. Moss, *Sphagnum magellanicum*, functional properties, sensory quality

INTRODUCCION

El hombre, para mantenerse como especie necesita disponer de materias primas alimenticias que le aporten nutrientes. Al principio la idea de alimentación estaba basada únicamente en este concepto. Paulatinamente este significado ha ido modificándose con el avance del conocimiento y aproximadamente desde la segunda mitad del siglo XX, más precisamente en el transcurso de las dos últimas décadas, la humanidad comienza a preocuparse por una correcta alimentación, generando en la población una mayor preocupación por la selección de los componentes dietarios asociados a un menor riesgo de salud por lo que no es extraña la presencia en el mercado consumidor de los "alimentos funcionales" (1-7) que tienen un denominador común pues actúan positivamente sobre una o varias funciones específicas

del organismo por lo que representa para la industria alimentaria un permanente desafío para formular y desarrollar nuevas variedades de productos con características innovadoras en este campo. La función de estos componentes es prevenir enfermedades crónicas originadas en trastornos fisiológicos, como cáncer, osteoporosis, complicaciones cardiovasculares, trastornos de la función intestinal, diabetes, obesidad, etc. (8-12). En Japón, el número de productos alimenticios que contienen oligosacáridos como componente funcional alcanzó en 1991 a 450 entre galletas, cereales, confites y bebidas (13).

Un ejemplo típico de alimento funcional es la fibra dietética (FD) la que ha sido profusamente investigada tanto en el campo de la nutrición como en el de la ciencia y tecnología de alimentos (14,15). Su consumo habitual se realiza en base a la oferta de numerosos y variados alimentos

como barras de granola, galletas, sopas, bebidas extruídos, productos de pastelería, lácteos, comprimidos saciadores de hambre, snacks etc en los cuales se ha incrementado la cantidad de fibra para prevenir enfermedades crónicas. El gran interés por la fibra dietética (FD) se remonta a los años 70, cuando investigadores como Trowell (16), sobre la base de estudios epidemiológicos relacionaron la deficiencia de FD con enfermedades que se presentan principalmente en países occidentales como la constipación, diverticulosis, pólipos, cáncer al colon, y trastornos metabólicos como obesidad y enfermedades coronarias (17,18).

Los efectos fisiológicos de la fibra dietética son el resultado de complejos mecanismos de interacción entre los componentes del alimento no digeridos por las enzimas digestivas y las condiciones del medio ambiente gastrointestinal, como pH, fuerza iónica así como la presencia de otras sustancias inherentes al alimento (19). La naturaleza química y la estructura de la fibra dietética son las características principales que determinan su comportamiento en el lumen intestinal. Las propiedades funcionales de la FD son las principales responsables de los aspectos fisiológicos desarrollados por la fibra en el tracto gastrointestinal. Entre éstas podemos citar las siguientes: regulación de la función intestinal, disminución de la absorción de la glucosa, menor demanda de insulina, prevención del cáncer del colon, regulación del nivel de colesterol y reducción de ingesta calórica entre otras (17,18).

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 (salvado de trigo, arroz, avena, lupino, etc.) (20-25).

Las investigaciones sobre fibra se han focalizado en tubérculos, cereales, legumbres, frutas, algas, todas caracterizadas por presentar un contenido de fibra dietaria elevado, baja digestibilidad y reducido valor calórico. Similares características presenta el musgo *Sphagnum magellanicum* (SM.) recurso natural abundante en la región sur de Chile, conocida por sus usos en rubros distintos a los nutricionales (26), el cual, al ser caracterizado químicamente dio como resultado un 77% de fibra dietaria (27) superior al contenido encontrado en fríjol (20%) y la avena (15%) (28). transformándose en una excelente fuente de fibra que puede utilizarse para ser incorporada en alimentos de consumo frecuente con evidentes ventajas para la población. este componente para su incorporación en alimentos. En esta ocasión uno de los objetivos será determinar las propiedades funcionales de la fibra del musgo (29,30). Tales como capacidad de absorción y retención de agua, absorción de moléculas orgánicas, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de hinchamiento. El otro objetivo tendrá como finalidad estudiar la factibilidad de incorporarlo a productos de panadería.

MATERIALES Y METODOS

Materias primas

Muestras comerciales del musgo variedad *Sphagnum magellanicum*, fueron donadas por la empresa Los Volcanes, ubicada en Puerto Varas, X Región, Chile. Se sometieron a operaciones de selección, eliminación de impurezas y finalmente secado hasta alcanzar una humedad final de 6%, para luego envasarlas en bolsas de polietileno y almacenarlo a temperatura ambiente. Posteriormente muestras del material fueron trituradas en un molino de bolas y finalmente se realizó una clasificación granulométrica usando un sistema de tamices para separar fracciones de tamaño de partículas T1 (1.4 mm); T2 (1.0 mm); T3 (0.42 mm); y T4 (0.18 mm), con la finalidad de analizar el efecto del tamaño de partícula sobre las propiedades funcionales de la fibra del musgo, tales como: Capacidad de absorción de agua (CAA) utilizando el método aceptado por la AACC 88-04 (31); Capacidad de retención de agua (CRA); Capacidad de hinchamiento (CH); Capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC) Todas estas propiedades fueron determinadas siguiendo procedimientos propuestos por Mc Conell et al.(32).

Incorporación del SM a productos de panadería

El principal objetivo, en la optimización de formulaciones, es encontrar los mejores niveles de cada una de las variables independientes que pueden afectar una respuesta. En esta oportunidad se aplicó el método Taguchi (33-35), pues permite realizar los ensayos en forma eficiente, al reducir el número de experimentos propuestos en el diseño experimental que se traduce en menor tiempo de desarrollo de las pruebas, con las consiguientes ventajas de ahorro de costos. El diseño factorial utilizado en esta ocasión fue $L_9 3^4$. Como respuesta se seleccionó la calidad sensorial (CS), un término integrado por las siguientes características: apariencia, sabor, aroma, color y textura. Por medio del trabajo con el panel en sesión abierta se determinaron los porcentajes de influencia relativa para cada una de las características mencionadas anteriormente, obteniéndose una ecuación de calidad sensorial expresada de la siguiente forma:

$$CS = 0,30 * \text{apariencia} + 0,155 * \text{color} + 0,15 * \text{aroma} + 0,25 * \text{sabor} + 0,145 * \text{textura}$$

Para determinar la calidad sensorial de las muestras de pan se utilizó un panel entrenado compuesto por 10 jueces y se aplicó el test de puntaje compuesto (36) junto con una escala analítico descriptiva de cinco puntos, donde 1 = Calidad sensorial deficiente y 5 = Calidad sensorial muy buena.

En base a las características anteriormente mencionadas,

para formular muestras de pan enriquecidas con fibra, se definieron los siguientes factores de control y sus respectivos niveles de trabajo (Tabla 1).

TABLA 1
Identificación de los factores de control y niveles de trabajo

Niveles	Variables independientes (g / 100g)			
	Levadura	Musgo	Esponjante*	Manteca
1	2.6	2.0	0.05	9
2	3.4	3.0	0.06	12
3	4.2	4.0	0.07	15

*Componentes: gluten, ac. ascórbico, stearyl lactilato de sodio, peróxido de calcio.

Las elaboraciones de pan se llevaron a cabo siguiendo procedimientos estándares de la AACC (31) los cuales incluyeron mezclado de los ingredientes, amasado, fermentación en tres etapas (reposo por 30 minutos, amasado y nuevamente reposo por 30 minutos). Finalizado este tiempo el pan fue sometido a cocción en horno a temperatura de 220°C por un tiempo aproximado de 40 minutos.

Los datos de calidad sensorial fueron sometidos a un análisis de diferencias de promedios por nivel de trabajo de las variables independientes, buscando la característica de calidad "mayor es mejor", utilizando para ello el paquete computacional Qualitek-4 (35). Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis de varianza con el objeto de identificar las variables que afectan significativamente la respuesta ($p < 0.05$), finalizando con la determinación de la ecuación optimizada teórica, la que luego fue validada con la ejecución de un experimento confirmatorio.

La formulación optimizada de pan fue sometida posteriormente a una caracterización química de acuerdo a las técnicas estándares de la AOAC (37), cuantificándose contenido de humedad, proteínas, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda e hidratos de carbono. Todos los análisis descritos fueron realizados en duplicado. El análisis de las características panaderas se realizó de acuerdo a procedimientos descritos en la Norma Chilena 68, E. Of. 69.(38) determinándose: rendimiento de pan, peso, volumen y densidad.

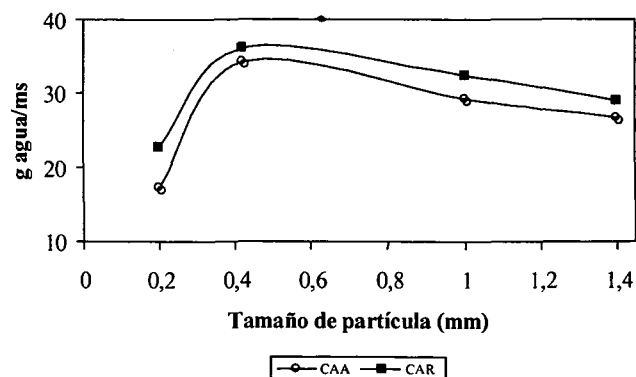
Ensayo de estabilidad al almacenamiento

Con el objeto de determinar la estabilidad al almacenamiento del pan enriquecido con fibra, se almacenaron muestras del producto en bolsas de polietileno de 1 mm de espesor a temperatura ambiental (20°C) y de refrigeración (6°C), determinándose la variación de la calidad sensorial a intervalos regulares de tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se observa el comportamiento de la CAA y CRA del S.M. alcanzando valores máximos de 36 y 34 g agua/gramo de materia seca (ms) respectivamente para tamaños de partículas entre 0,4 y 0,5 mm. Conforme el material se hace mas fino, se observa que estas características disminuyen bruscamente alcanzando valores de 22 g/ms para la CAA y 17 g/ms para la CRA utilizando un tamaño de partículas de 0,2 mm, efecto probablemente atribuido al proceso de molienda al cual fue sometida la muestra, provocando la ruptura de la estructura del musgo compuesta por capilares llamados hidrocitos (39), cuya función es retener agua. Este mismo fenómeno se presentó para tamaños de partícula mayores a 0,6 mm, eso si en menor proporción llegando a valores finales de CAA y CRA de 29 y 27 g/ms respectivamente, causado posiblemente por una menor superficie activa de contacto entre el material y el agua, o a un efecto de saturación de los hidrocitos.

FIGURA 1
Capacidad de absorción y retención de agua del musgo según tamaño de partícula

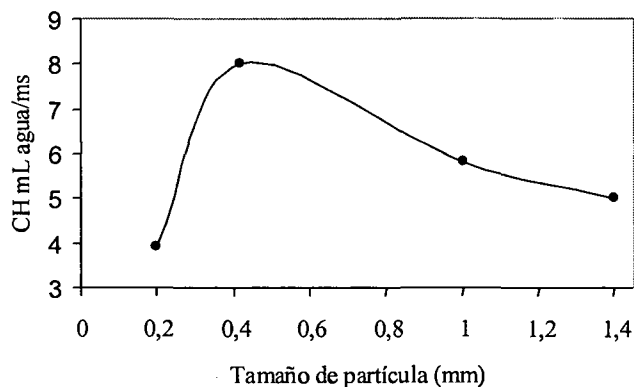


Paralelamente se llevó a cabo un estudio comparativo de la CAA y CRA del musgo con relación a otras fuentes de fibra vegetal. De este análisis, se demuestra que el musgo posee una capacidad de absorción y retención de agua significativamente superior fluctuando para ambas características en un rango entre 17 a 35 g agua/ms, valores que contrastan a los presentados por otros tipos de fibras tales como maíz, arveja, nopal, maíz, zanahoria, trigo, ninguna de las cuales supera los 10 g de agua/ms (14). Lo observado en este estudio pareciera contradecirse con estudios realizados por otros autores (40-43) que establecen que la CAA y la CRA son mayores en especies vegetales y marinas ricas en fibra soluble. Por ejemplo el contenido de fibra soluble para zanahoria, col, avena y nopal es de 1,7; 1,4 y 5,0 y 5,8% respectivamente (14-44), valores superiores ;

al porcentaje que presenta el SM. que no supera el 1,2% (27). En todo caso existen estudios que establecen otros factores que afectan estas características como reducción de tamaño, porosidad y tipo de estructura de las fibras que permiten incrementar los valores de CAA y CRA, debido al aumento del área superficial de las partículas lo que facilita la hidratación de las fibras (19).

Con relación a la CH, que indica la capacidad de la fibra de aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua, esta propiedad es muy interesante pues su consumo estaría directamente relacionado con su capacidad de provocar una mayor sensación de saciedad. En la Figura 2 se puede observar que conforme varía el tamaño de partícula del musgo se modifica esta propiedad alcanzando valores de 3,9 mL/g ms cuando el tamaño de las partículas es de 0.2 mm, incrementándose fuertemente el volumen hasta alcanzar un valor máximo de 8.0 mL/g ms con un tamaño de partículas de 0.425 mm. Posteriormente la capacidad de hinchamiento disminuye al incrementarse el tamaño de las partículas llegando a un valor de 5.0 mL/g ms, cuando el tamaño de partículas alcanza un valor de 1.4 mm (19).

FIGURA 2
Capacidad de hinchamiento del musgo según tamaño de partícula



La disminución lenta pero progresiva en la CH del S.M. para tamaños de partículas mayores a los 0,42 mm (Figura. 2) puede ser explicada por la menor superficie activa de contacto entre la muestra y el solvente que se obtiene al incrementar el tamaño de la partícula, mientras que la disminución de la CH para tamaños de partícula inferiores a los 0,42 mm, puede ser causada por la ruptura de estas estructuras.

Se hizo además una comparación entre la CH del MS. con un tamaño de partícula de 0,42 mm, con otras fuentes de fibra. Se pudo comprobar de este análisis que la fibra del musgo presentó un comportamiento similar (8.04 mL/ms) a la fibra de desechos de naranja con (7.8 mL/ms), pero inferior a la

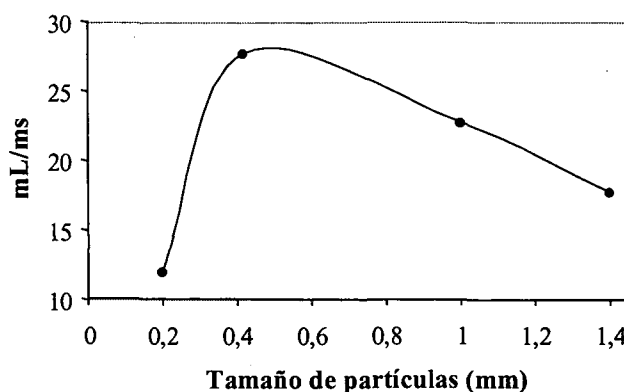
CH de las fibras de maracuyá y de torta de maíz, las cuales presentan valores de 9,15 mL/ms. y 10,16 mL/ms., respectivamente (14).

La CAMO mide de manera directa cuanto aceite puede absorber una fibra determinada y puede relacionarse con el comportamiento a nivel intestinal, en donde la absorción de los nutrientes grasos depende de la formación de micelas o pequeñas esferas consistentes de grasa y ácidos biliares. En base a esta propiedad la fibra dietaria puede ligarse en el intestino a sales biliares, colesterol, drogas, compuestos tóxicos y carcinogénicos (46), permitiendo su excreción por las heces (45). La lignina, pectina, goma guar, se han identificado como los componentes de la fibra con mayor capacidad para unirse a moléculas orgánicas (47).

Esta propiedad funcional está relacionada con la composición química, y el tamaño y área superficial de las partículas de fibra. Se ha determinado que las fibras insolubles presentan mayores valores de absorción de moléculas orgánicas que las solubles, tanto por su contenido en lignina como por su mayor tamaño de partícula. Sin embargo en ocasiones puede obtenerse un incremento de la CAMO al reducir el tamaño de partículas (19).

En la Figura 3 se presenta el comportamiento de la CAMO del S.M. para distintos tamaños de partícula, observándose un comportamiento similar a las propiedades reportadas anteriormente, es decir, la máxima capacidad de absorción la presentan las partículas de tamaño 0.42 mm, alcanzando un valor de 27.68 g aceite/g ms.

FIGURA 3
Capacidad de absorción de moléculas orgánicas del musgo según tamaño de partículas



Con respecto a otras fuentes de fibra la propiedad de absorber moléculas orgánicas que caracteriza al SM que fluctúa de acuerdo al tamaño de las partículas entre 12 a 28 mL aceite/ms es muy superior a la col, maracuyá, avena y trigo con 3,8, 1,5 y 1,75 mL aceite/ms respectivamente (14). Esta conducta tendría su explicación en el alto contenido de

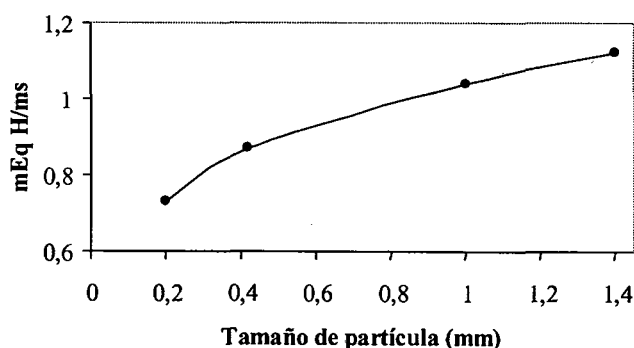
lignina y celulosa que presenta el S.M., además de su alto contenido de fibra dietética insoluble, 75,8% (27).

Esta capacidad de intercambio, es una función que se determina in vitro para cuantificar el número de grupos carboxilos libres de los ácidos urónicos (48,49). La cantidad de fibra necesaria para interferir en la absorción mineral es relativamente alta, aunque ello también depende del tipo de fibra, y de las condiciones del entorno gastrointestinal (50, 51) Existe poca evidencia de que el consumo de fibra en las cantidades recomendadas, más de 20 g/día, interfiera en la absorción y biodisponibilidad mineral (52).

Se presume que la capacidad de intercambio catiónico provoca una reducción de la biodisponibilidad de determinados minerales y electrolitos debido a su adsorción y eliminación por heces. Es un fenómeno complejo que depende de muchos factores (cantidad y calidad de fibra, tipos de minerales ingeridos). La biodisponibilidad de minerales y electrolitos constituyen una de las propiedades negativas atribuidas tradicionalmente a la fibra dietaria (22). Los grupos carboxilos presentes en los ácidos urónicos de los polisacáridos son los responsables principales de estos efectos (49,53,54). Otros son el ácido fítico a través de los grupos funcionales fosfato (43,55, 56). Entre los grupos que participan en la capacidad de intercambio iónico están las moléculas de pectinas, hemicelulosas y proteínas asociadas a las fibras, grupos hidroxílicos de los polisacáridos neutros, fenólicos asociados a lignina y el ácido fítico a través de grupos fosfóricos (19).

En la Figura 4, se observa que a medida que aumenta el tamaño de partícula, aumenta también la CIC. Este efecto se puede explicar por la presencia de lignina y celulosa en concentraciones de 27,42% y 30,14% respectivamente presente en este musgo (27). Valores inferiores de CIC se explican por el grado de destrucción mecánica sufrida por el musgo por efecto de la molienda.

FIGURA 4
Capacidad de intercambio catiónico del musgo según tamaño de partícula *



Se llevó a cabo un análisis comparativo entre la CIC del musgo con otras fuentes de fibra vegetal (14), tales como nopal, arroz, avena, maíz, trigo y soya. Todas ellas a excepción de la soya se caracterizan por presentar valores de CIC inferiores a 0.5 mEq/ms. Por su parte la soya tiene una CIC cercana a 0.9 mEq/ms y, en el caso particular del musgo varía entre 0.87 a 1.12 mEq/ms.

Este estudio consideró además la factibilidad de desarrollar una formulación de pan enriquecido con fibra dietaria, aplicando la metodología Taguchi con el objetivo de optimizar su calidad sensorial. Los resultados se señalan en la Tabla 2.

TABLA 2
Influencia de factores de control sobre la calidad sensorial de pan enriquecido con fibra

Puntos de diseño	A	B	C	D	CS*
1	1	1	1	1	3.85°
2	1	2	2	2	3.87
3	1	3	3	3	3.85
4	2	1	2	3	4.02
5	2	2	3	1	4.54
6	2	3	1	2	3.86
7	3	1	3	2	3.79
8	3	2	1	3	3.49
9	3	3	2	1	3.67

A=levadura; B=musgo; C=esponjante; D=manteca

*Calidad sensorial (valores promedios de dos replicaciones)

° rango escala sensorial=1= Mala, 5= Muy buena

En esta tabla se observa que el mejor resultado de calidad sensorial se obtuvo en el punto de diseño N°5, el cual corresponde a una respuesta promedio de calidad sensorial de 4.54. considerada como muy buena. Para los demás puntos de diseño el resultado de calidad sensorial fluctúa entre 3.49 y 4.02. Esta conducta es un reflejo de las diferentes combinaciones de los factores de control que afectan la calidad de las formulaciones de pan enriquecido con fibra al modificarse la proporción de los ingredientes, y su efecto sobre las características de apariencia, textura, volumen y sabor.

El análisis de promedio de respuestas de los factores de control según nivel de trabajo se muestran en la Tabla 3. Los mayores deltas de respuesta corresponden al grado de influencia de las variables independientes sobre la calidad sensorial y al mismo tiempo permiten identificar los niveles de trabajos donde se producen las mejores respuestas. La pendiente mayor corresponde a la variable levadura, seguida de las variables esponjante y manteca vegetal. Esto significa

que estos factores de control son los que afectan de manera significativa la calidad sensorial del pan con fibra.

TABLA 3
Análisis promedio de factores de control y niveles de trabajo sobre la CS de pan enriquecido con fibra

Niveles	Factores de control			
	Levadura	Musgo	Esponjante	Manteca
1	3.85	3.88	3.73	4.03
2	4.14	3.96	3.86	3.84
3	3.66	3.80	4.06	3.78
Delta	0.48	0.16	0.20	0.19

Posteriormente estos datos fueron sometidos a un análisis de varianza, cuyos resultados se señalan en la Tabla 4. Del análisis de esta tabla se demostró que el factor que más influyó significativamente ($p < 0.05$) sobre la calidad sensorial del pan con fibra fue la levadura explicando por sí sola un 50% la respuesta buscada; le siguen en grado de importancia el agente esponjante con un 23% de influencia y finalmente la presencia de manteca vegetal con un 14%, lo que significa que el 87% de la calidad del pan es explicada por la acción de tres variables de control.

TABLA 4
Influencia de los factores de control sobre la calidad sensorial de pan enriquecido con fibra del musgo

F. variación	F exp.	% influencia
Levadura	30.78*	49.50
Musgo	3.62	5.78
Esponjante	14.38*	23.11
Manteca	8.87*	14.27

* significativo ($p < 0.05$)

Tomando en cuenta el análisis de diferencias de promedios y el análisis de varianza se obtuvo la combinación óptima de variables independientes para obtener la formulación optimizada de pan enriquecido con fibra. Esta resultó ser levadura 3.4%; musgo 3%; esponjante 0.07% y manteca vegetal 9%. Con estos datos se obtuvo la ecuación teórica de optimización que resultó ser de 4.53. Finalmente, con el objetivo de validar este resultado, se realizó un ensayo confirmatorio obteniendo un valor de calidad sensorial de 4.66 (muy buena) ligeramente superior a la calidad sensorial teórica.

La formulación optimizada de pan enriquecido con fibra fue sometido a una caracterización químico proximal. Los datos se muestran en la Tabla 5, en la cual se hace una comparación con diferentes tipos de pan integral (57). La

cantidad de humedad (30.88) es superior a los panes integrales de hallulla integral y baja en calorías, pero inferior al pan de amapola y sésamo (38%). El contenido en proteínas es superior a las otras formulaciones (11%). El porcentaje de fibra obtenido es comparable al pan de amapola. El valor tan alto de humedad se explicaría por la elevada capacidad del musgo por absorber y retener agua. Esto significa que debe ser almacenado a temperaturas de refrigeración para evitar su deterioro por la acción de mohos y levaduras.

TABLA 5
Composición proximal de pan con SM y panes comerciales integrales*
g/100g

Componentes	SM	Hallulla	Hallulla baja en calorías	Amapola	Sésamo
Humedad	30.28	20.20	26.10	38.10	38.20
Lípidos	2.96	6.90	0.40	2.00	2.60
Proteínas	11.22	9.80	7.90	9.40	9.40
Cenizas	1.55	2.20	2.80	1.80	1.70
Fibra cruda	2.31	1.40	4.40	2.00	1.90
Azúcares	52.60	60.40	58.40	46.70	46.20
Calorías	281.92	335.00	268.00	242.00	246.00

* Fuente (57)

Con relación al estudio de vida útil, la calidad organoléptica se modifica de manera diferente si cambian las condiciones de temperatura, siendo el deterioro del pan más rápido a temperatura ambiente. Al comienzo de la experiencia el pan obtuvo una calificación promedio de 4.67 considerado como muy bueno por el panel sensorial. Conforme fue avanzando el tiempo, al quinto día la respuesta sensorial del pan almacenado a temperatura ambiente disminuyó a 3.96 considerado aún como bueno. Al octavo día características tales como sabor y textura fueron las más afectadas obteniendo las muestras una calificación de 3.6 considerada como regular y al décimo día se hizo nítido la presencia de filamentos de hongos en la superficie de las muestras almacenadas.

El comportamiento de las muestras refrigeradas fue diferente mostrando una mayor estabilidad, pues los datos de la calidad sensorial no sufren modificaciones importantes, manteniéndose relativamente parejas hasta el octavo día fluctuando en un rango entre 4,7 a 4,4. Al 13^{avo} día las muestras presentaron variaciones en sus características pero fueron calificadas como buenas pues se mantuvieron próximas al valor 4. Al 15^{avo} día las muestras presentaron evidentes signos de contaminación microbiana.

La evaluación de las características panaderas del pan experimental que consideraron los análisis de volumen, peso, densidad, rendimiento mostraron conductas diferentes. Así

el volumen del pan integral fue inferior en un 16% con relación a una formulación de pan blanco tomado como control. En cuanto al peso no se observaron diferencias importantes (495 g el pan control y 493 g el pan con musgo). La densidad del pan con musgo fue de 0.344 g/cc, mientras que el pan control fue 0.289 g/cc. La propiedad más importante desde el punto de vista de la industria panadera fue el rendimiento del pan el cual fue mayor en el pan con musgo con un valor de 1724 kg pan/kg harina, en tanto en el pan control fue de 1,600 kg pan/kg harina.

CONCLUSIONES

Con respecto a las propiedades funcionales del *Sphagnum magellanicum* se demostró que los mejores resultados de capacidad de absorción y retención de agua, capacidad de hinchamiento, y de absorción de moléculas orgánicas se consiguieron con un tamaño de partícula de 0,42 mm. En cuanto a la capacidad de intercambio iónico el mejor resultado se obtuvo con partículas de tamaño 1.4 mm.

Se demostró además que las características funcionales que presenta el musgo son muy superiores a las presentadas en otras fuentes de fibra de origen vegetal.

Se desarrolló una formulación optimizada de pan enriquecido con fibra estudiándose el efecto simultáneo de levadura, musgo, agente esponjante y manteca sobre la calidad sensorial aplicando la metodología Taguchi. Se demostró que la mejor combinación de estas variables para optimizar una respuesta óptima fue levadura 3.4%, musgo 3%, esponjante 0.07% y manteca vegetal 9%, siendo el factor levadura el más significativo ($p < 0.05$) con una participación del 50% sobre la respuesta.

De la caracterización química del pan se destaca su contenido en humedad (38%), y proteína (11%) superiores a los productos integrales equivalentes de hallulla, amapola y sésamo.

Los estudios de estabilidad del pan almacenado a temperaturas ambiente (20°C) mostraron que la vida útil del producto no debe exceder los 8 días, ya que transcurrido este tiempo comienzan a aparecer signos de crecimiento de hongos, mientras que para el pan refrigerado a 6°C, se estableció que éste presenta una buena respuesta de calidad sensorial hasta el 13° día, para luego comenzar a disminuir esta respuesta presentando un aroma y sabor más ácidos, lo que denota señales de actividad de microorganismos.

En cuanto a las características panaderas se observa que el volumen del pan enriquecido con *Sphagnum magellanicum* disminuye en un 16% en relación al pan blanco. Sin embargo se observa que el peso de este es muy similar, mientras que la densidad del pan enriquecido con musgo es mayor (0,344 g/cm³), como así también fue el rendimiento del pan, lo que representa una ventaja para los productores de pan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Dirección de Investigación de la Universidad de La Frontera a través del proyecto DIDUFRO N°2005, que hizo posible este estudio.

REFERENCIAS

1. Antequera F. La fibra dietética. <http://www.zonadesalud.org> 2001.
2. Vasconcellos J. Alimentos Funcionales. Conceptos y Beneficios Para la Salud. Departamento de Ciencias de Alimentos y Nutrición, Universidad Chapman, Orange, California, U.S.A. 2001. <http://www.worldfoodscience.org/vol1-3/feature1-3.html>
3. Van den Broeck A. Functional foods. International Food Ingredients. 1993;(1/2):4-9
4. Kawazoe K. Market trends of functional foods and food ingredients in Japan. International Food Ingredients. 1994;(5):43-45
5. Rowan C. Functional phenomena. International Food Ingredients. 1999;(1):27-28
6. Atalah E. Nutrición y cáncer. Nutrición y Salud, Fac. de Medicina. Univ. de Chile. Dpto. Nutrición, Santiago, Chile
7. Fuller R. Probiotics in human medicine. Gut. 1996;(32):439-442
8. Gliismann WH. Functional foods in North America. Nut Rep. 1996;54 (11):33-37.
9. Quezada H. Alimentos funcionales. Rev. Industria de Alimentos. 1998.
10. Proop S. Una comparación entre los mercados de alimentos funcionales en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Report of Institute for Prospective Technological Studies (IPTS Report). European Commission. 1998.
11. Pascal G. Functional foods. The future. How to regulate these foods. Nut Rep. 1996;54(11):199-201
12. Hasler M. Functional foods. The western perspectives. Nut Rep. 1996;54(11):6-10
13. Tomomatsu H. Health effects of oligosaccharides. Food Technology. 1994;10: 61-64.
14. Zambrano M, Melendez R y Gallardo Y. Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Cap. 14. Varela Editora e Librería Ltda. São Paulo. 2001.
15. Hesser J. Application and usage of dietary fibers in the USA. International International Food Ingredients 1994;3: 50-52.
16. Trowell. Hipertension, obesity, diabetes mellitus and coronary hearth diseases. En Trowell, H.C.; Burkitt, D.P. Eds. Western diseases. Their emergences and preventions. Longdon Edward Arnold. 1981;pp 3-32.
17. Hoogenkamp HW. Lifestyle and food: mega changes for mega markets. International Food Ingredients. 1994;(3):23-29.
18. Proop S. Una comparación entre el mercado de los alimentos funcionales en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. Report of Institute for Prospective Technological studies. (IPTS Report). European Commision. 1998.

19. López G, Ros G, Rincón F, Periago MJ, Martínez C y Ortuño, J. Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismo de acción en el tracto gastrointestinal. Arch Latinoamer Nutr. 1997;47(3): 203-207.
20. González P, Alvira P y González G. La cascarilla de arroz en la alimentación animal II. Composición químico-bromatológica. Rev. Agroquímica y Tecnología de Alimentos. 1987;27(1):139-149
21. Larrauri JA, Rodríguez JL, Fernández M y Borroto B. Nota: Fibra dietética obtenida a partir de hollejos cítricos y cáscara de piña. Revista Esp. Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1994;34(1):102-107.
22. Periago MJ, Ros G, Englyst HN y Rincón F. Nota: Variación en el contenido de fibra dietética del guisante (*Pisum sativum*) en función de la variedad, tamaño y método analítico. Rev. Esp. Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1994;34(5):365-375.
23. Bressani R, Breuner M y Ortiz M. Contenido de fibra ácido y neutrodetergentes y de minerales menores en maíz y su tortilla. Arch Latinoamer Nutr. 1989;39(3):382-391.
24. Pak N, Ayala C, Vera, G, Pennacchiotti I y Araya H. Fibra dietética soluble e insoluble en cereales y leguminosas cultivadas en Chile. Arch Latinoamer Nutr. 1990;40(1):116-125.
25. Barber S, Benedito de Barber C y Llácer D. Contenido de fibra dietética, atributos sensoriales de calidad y composición química del pan integral de comercio. Rev Agroquímica de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1983;23(1):119-131
26. Ramírez G. El musgo *Sphagnum* en Chile y su comparación con una muestra neozelandesa. Informe, Valdivia. 1990.
27. Peralta R, Villarreal M. Caracterización química, nutricional y toxicológica del *Sphagnum magellanicum*. Tesis para optar al grado de Ingeniero en Alimentos. Universidad de La Frontera. Temuco. 2000.
28. Herrera I, González E, Romero J. Fibra dietética soluble, insoluble y total en leguminosas crudas y cocidas. Archv Latinoamer Nutr. 1998;48(2):179-182
29. Thender O y Aman P. Studies on dietary fiber, methods for analysis and chemical characterization of total dietary fiber. J Sci Food Agric. 1982;33(4), 340 -344
30. Chen J, Piva M y Labuza T. Evaluation of water binding capacity (wbc) of food fiber sources. J Food Sci. 1984;49(1), 59-63.
31. AACC. Approved methods of the American Association of Cereal Chemistry. St. Paul, Minn. 1984.
32. Mc Conell A, Eastwood M y Mitchel W. Characteristic of vegetable foodstuff that could influence bowel functions. J Sci Agric. 1974;25:7-12.
33. Marfil R. Método Taguchi, una herramienta para el mejoramiento de la calidad. Tecnología de alimentos. 1991;26(5), 14-33.
34. Montgomery D. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamericano, México. 1991.
35. Roy R. A primer on the Taguchi method competitive. Manufacturing Series Van Nostrand Reinhold. New York. 1990.
36. Wittig E. Evaluación sensorial. Una metodología actual para la tecnología de alimentos. Talleres gráficos USACH. Santiago. 1982.
37. AOAC. Official Methods Of Analysis of The Association of Official Agricultural Chemist. Washington, 15^{ava} edición. 1990.
38. Norma Chilena 668, E. Of. "Calidad panadera de la harina de trigo. Instituto Nacional de Normalización, Santiago. Chile. 1969.
39. Subiabre A y Rojas C. Geografía física de la Región de Los Lagos. Ediciones Universidad Austral de Chile. Dirección de investigación y desarrollo. Valdivia. 1994.
40. Staufer KR. Comparison of The functional properties of tío gradas of gum tragaban. Food Technol. 1995;49(4):48-51
41. Filman SM. Propiedades funcionales de los hidrocoloides polisacáridos. Mecanismos de gelificación. Rev Esp Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1989;29: 415-429
42. Ma L, Barbosa- Cánovas GV. Review reological properties of food gums and food gum mixtures. Re Esp Ciencias y Tecnología de Alimentos. 1993;33:133-163
43. Nymann N, Nylander T, Asp. N.G. Degradation of water soluble fiber polisaccharides in carrot after different types of processing. Food Chem. 1993;47:169-176
44. Sozulsky F y Cadden A. Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. J. Food Sci. 1982;1472-1477.
45. Zhang J, Lundin E, Hallman G. Effects of rye brand excretion of bile acids, cholesterol, nitrogen and fat in human subjects with ileostomies. Am J Clin Nutr. 1994;59:389-394
46. Scheneeman BO. Soluble vs. insoluble fiber. Different physiological responses. Food Technol: 1987;81-82.
47. Story JA, White A, West LG. Adsorption of bile acids by components of alfalfa and wheat brand in vitro. J Food Sci. 1982;47:1276-1279
48. Guillón F, Renard C, Hosters J, Thibault JF. Characterization of residual fibres from fermentation of pea and apple fibres by human fecal bacteria. J Sci Food Agric. 1995;68: 521-529
49. Torre M, Rodríguez AR, Saura-Calixto F. Effects of dietary fibers and phytic acid on mineral availability. CRC Rev. Rev Food Sci Nutr. 1992;30:1-22
50. Lazlo JA. Mineral binding properties of soy hull. Modeling mineral interactions with an insoluble dietary fiber source. J Agric Chem. 1987;35: 732-740
51. Klopfenstein CF. (1990). Nutritional properties of coarse and fine sugar beet fiber and had red wheat bran. II Effects on calcium and iron utilization. Cereal Chem 1990;67:542-544.
52. Harland BF. Dietary fiber and mineral bioavailability. Nut Rev 1985;2:133-147
53. Platt SR and Clydesdale FM. Mineral binding characteristics of lignin, guar gum, cellulose, pectin and neutral detergent fiber under simulated duodenal pH conditions. J Food Sci. 1987;52:1414-1419
54. Kohn R. Binding of divalent cations to oligomeric fragments of pectin. Carbohydrate Res. 1987;160: 343-353
55. Champagne ET, Rao RM, Luizzo J. The interaction of mineral, proteins and phytic acid in rice bran. Cereal Chem 1985;62: 231-238
56. Frolich W And Nymann M. Mineral, phytate and dietaru fibre in different fractions of oat grain. J Cereal Sci. 1988;7: 73-82
57. Schmidt-Hebbel H y Pennacchiotti M. Tabla de composición de los alimentos chilenos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago. 1990.

Recibido:14-10-2002

Aceptado:15-08-2003