

Establecimiento de condiciones óptimas para obtener un aislado proteico de avellana chilena (*Gevuina avellana, Mol*)

Mario Villarroel, Constanza Zapata, Leonardo Pino, Mónica Rubilar

Departamento de Ingeniería Química. Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
Technology and Processes Unit, CGNA, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

RESUMEN. Una alternativa para resolver el problema del déficit global de proteínas ha sido la utilización de tortas desgrasadas generadas por la extracción de aceite de fuentes vegetales tales como raps, soya, lupino, etc, proceso que al mismo tiempo incrementa el contenido proteico, siendo factible que sea usada para enriquecer algunos tipos de alimentos. Tal es el caso de la avellana chilena (*Gevuina avellana, Mol*), especie monotípica caracterizada por su elevado porcentaje de aceite (50%) y cuya torta desgrasada podría utilizarse para obtener un aislado proteico. Con este fin se optimizaron las condiciones de extracción de proteína utilizando para ello la metodología superficie de respuesta (MSR) seleccionando el diseño central compuesto, tres variables independientes: tiempo de contacto de la torta con el solvente, relación muestra/solvente y pH, con 5 niveles de trabajo cada uno y tres replicaciones en el punto central. Los datos fueron sometidos a un análisis de regresión y después de ANOVA. El primero para determinar la ecuación polinómica y el segundo para seleccionar los factores de control con efecto significativo sobre el rendimiento de la proteína. La mejor combinación de los factores resultó ser tiempo entre 30 y 40 minutos, pH entre 9 y 9,5 y la relación muestra/ solvente entre 1/15 a 1/16, con un rendimiento final de 76%. En cuanto a las características físicas esta fueron: densidad aparente 0,504 g/cm³, compactación 43,34% y color amarillo claro. El análisis proximal mostró una concentración de proteínas de 76%, hidratos de carbono 13%, fibra cruda 0,68% y aceite 1,29%. En cuanto a las propiedades funcionales destacó absorción de agua (320 g/100 g), absorción de aceite (410 g/100g) y capacidad espumante (221, 05 %).

Palabras clave: Avellana chilena, aislado proteico, MSR, optimización, absorción de agua, absorción de aceite

SUMMARY. Establishment of optimum conditions in order to obtain a protein isolate from Chilean Hazelnut.

An alternative to solve the problem of the overall deficit of proteins has been the use of defatted cakes generated by the extraction of oil from vegetable sources such as rapeseed, soybean, lupin, etc. This process at the same time increases the protein content, making this feasible to be used to enrich some types of food. This is the case of the Chilean hazelnut (*Gevuina avellana, Mol*), monotypic species characterized by their high percentage of oil (50%) and whose defatted cake isolated protein could be used to obtain an isolated protein. For this purpose optimized conditions of extraction of protein were carried out using the surface response methodology (SRM) and a central composite design with three independent variables: time of contact of the cake with the solvent, sample /solvent ratio and pH was used. All variables were controlled at five different levels. The data were subjected to an analysis of regression and ANOVA, the first to determine the polynomial equation and the second to select the control factors with significant effect on the extraction of the protein. The best combination of factors turned out to be: time between 30 and 40 minutes, pH between 9 and 9.5 and a relationship sample / solvent between 1/15 to 1/16 with a final yield of 76%. The physical characteristics were: density 0,504 g/cm³, compaction 43, 34 % apparent and pale yellow. Proximal analysis showed a concentration of protein of 76%, 13%, raw fiber carbohydrate 0.68% and oil 1.29%. With regard to the functional properties emphasized water absorption (320 g / 100 g), absorption of oil (410 g / 100 g) and foaming capacity (221 %).

Key words: Chilean hazelnut, protein isolate, MSR, optimization, water absorption, oil absorption

INTRODUCCION

La demanda mundial por materias primas ricas en proteína aumenta a razón de 3 a 4% anual y se pronostica que esta tendencia continuará, incluso en forma más acentuada. Por ejemplo, en Europa, el consumo de proteína por habitante se multiplicó por 12 en las últimas cuatro décadas y ahora es el turno de países

tan populosos como China e India. (1)

Una forma alternativa para resolver el problema del déficit global de proteína ha sido utilizar la torta desgrasada de semillas de raps, soya, lupino, maravilla, etc para obtener los respectivos aislados proteicos, existiendo con este fin varios métodos como la precipitación de las proteínas en el punto isoeléctrico (2), ultrafiltración (3) y extracción supercrítica (4). Para su

uso existe mucha información en la literatura especializada con el fin de complementar la formulación de algunos alimentos. Al respecto se puede mencionar el trabajo de Wills and Kabisullah (5) quienes utilizaron aislado proteico de girasol para incorporarlo a formulaciones de vienas dando como resultado productos de buena calidad sensorial y tecnológica. En esta misma línea de aplicación se puede mencionar el trabajo de Cruz et al (6) que demostraron la factibilidad de adicionar hasta un 18% de concentrado proteico de sésamo a formulaciones de salame fermentado. Lo mismo se puede decir de Bourgues et al (7) que incluyeron concentrado proteico de maravilla a formulaciones de galletas y Ashraf et al (8) que lograron incorporar hasta un 30% de este concentrado en galletas de jengibre

En la región sur de Chile crece en forma silvestre y abundante el avellano con una producción de su fruto estimada en 300.000 ton anuales (9) destacando su contenido en aceite 50% y proteínas 12% de buena calidad (10) Actualmente su fruto se utiliza en forma industrial en la producción de aceite para uso cosmético. Como consecuencia de la extracción de aceite queda la harina desgrasada, destinada para consumo humano o animal, que contiene aproximadamente 20% en proteínas y 12% en fibra (11). Tomando en cuenta estos antecedentes se ha estimado oportuno optimizar el proceso de obtención del aislado proteico de avellana (APA) utilizando la metodología superficie de respuesta (MSR) para diversificar a futuro la utilización de este recurso nativo como fuente proteica no tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Para el desarrollo de las actividades experimentales se utilizó como fuente proteica harina desgrasada de avellana (HDA) donada por el Instituto de Agroindustria de la Universidad de La Frontera. En una primera etapa muestras de HDA se secaron a una temperatura de 40°C durante 6 hrs en una estufa, modelo WTC hasta disminuir el porcentaje de humedad alrededor de 5%. Enseguida se homogeneizó el tamaño de partícula utilizando un sistema de tamices ASTM recogiendo la muestra que pasó el tamiz abertura de malla 80 mesh (0.18mm). Enseguida se procedió a la extracción del aceite residual utilizando un equipo soxhlet

y éter de petróleo, durante seis horas, hasta lograr una concentración final de aceites inferior al 2%.

Obtención de aislado proteico de avellana

Cuarenta y cinco gramos de HDA se mezclaron con agua destilada con una relación muestra/ solvente de 1/15, 1/16, 1/18, 1/20 y 1/21 ajustando a diferentes valores de pH (8, 9, 10, 11 y 12) con hidróxido de sodio 5 N. Se procedió a agitar a 300 r.p.m. en un shaker por 50 minutos. Posteriormente se centrifugó a 4400 rpm. por 15 minutos filtrando el sobrenadante para separar las partículas que pudieran quedar en suspensión. El filtrado se calentó hasta 60° C en placa calefactora con agitación permanente. Después se agregó HCl 0,1 N para bajar el pH hasta llegar a un valor de 4,4 que es el punto isoeléctrico del aislado proteico. La proteína se dejó reposar, durante 20 minutos, facilitando de esta forma su separación mediante centrifugación a 4400 rpm durante 15 minutos, operación que se repitió dos veces. Posteriormente, la muestra se liofilizó y fue almacenada a 4° C para su posterior utilización.

Diseño experimental

El diseño experimental es básicamente un plan organizado que aplica en forma sistemática métodos estadísticos de optimización (12,13) para modificar deliberadamente algunas variables independientes previamente seleccionadas y estudiar o predecir sus efectos sobre un resultado específico y permite a los investigadores disponer de una gran cantidad de información valiosa utilizando un bajo número de muestras, ensayos o experimentos. La MSR consiste en un grupo de técnicas empíricas dedicada a cuantificar la relación existente entre variables independientes y una o más respuestas. Este modelo matemático de múltiples factores se utiliza para optimizar procesos, modificar o cambiar componentes de una reacción simultáneamente, identificar factores de control con un efecto significativo en la respuesta e interacciones entre las variables. Además, la MSR, puede utilizarse para elaborar gráficos de superficie y de contorno para contribuir a la predicción de la respuesta en un punto cualquiera de la región experimental de interés y obtener además un modelo o ecuación polinómica de segundo orden, que generalmente funciona bien para la optimización de procesos (13).

En este estudio se aplicó el diseño central compuesto rotatorio (DCC), debido a su capacidad para

ajustar el comportamiento cuadrático en los procesos de optimización. Las variables independientes seleccionadas fueron: tiempo de contacto con el solvente (X1), relación muestra/solvente (X2) y pH (X3) con 5 niveles de trabajo cada uno codificadas como sigue: $-\alpha$, -1, 0, +1 y $+\alpha$, representando los niveles axial inferior, mínimo, central, máximo y axial superior respectivamente. El rango de las variables y sus niveles de trabajo se obtuvieron examinando información encontrada en la literatura especializada y ensayos con prototipos. (ver Tabla 1).

Para determinar el comportamiento óptimo del sistema, los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de regresión y ajustados a un modelo polinómico de segundo orden donde Y es la respuesta (proteína soluble); X1, X2, X3 las variables independientes y b0, b1, b2, b3, b11, b22, b3, b23 los coeficientes de regresión lineales, cuadráticos y las interacciones respectivamente

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + \text{error}$$

Además se aplicó un análisis de varianza que incluye el test de Fisher, su probabilidad asociada, el coeficiente de determinación R^2 que mide la bondad de ajuste del modelo de regresión y la Señal/Ruido sinónimo de robustez. Finalmente se graficó el comportamiento de la respuesta elaborando gráficos de contorno y de superficie tridimensional utilizando el software Design Expert 6.07 (Stat-ease, Minneapolis, USA).

Caracterización del aislado proteico de avellana. Química

La composición química se analizó según metodologías propuestas por la AOAC (14). En cuanto a la proteína soluble se aplicó el método de Lowry (15)

Físicas

La densidad aparente y compactación (Bulk density) fueron determi-

nadas aplicando las técnicas descritas por Alvarado y Aguilera.(16). En cuanto a color se utilizaron las metodologías de Calvo (17) y el sistema CIELAB (18). En cuanto a las propiedades funcionales, para determinar la absorción de agua se aplicó el método de Sosulski (19). En el caso de la absorción de aceite se siguió el método descrito por Dench (20); para la capacidad y estabilidad emulsificante se usó el método descrito por Nacz et al (21). En cuanto a la capacidad y estabilidad espumante se siguió el método de Betschart *et al.*(22) mientras que la capacidad de gelificación fue determinada por el método de Coffman *et al.* (23)

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra el diseño central compuesto con las 17 combinaciones de las tres variables independientes y los correspondientes resultados de los niveles axial mínimo inferior, mínimo, central, máximo y axial máximo respectivamente y el rendimiento del aislado proteico obtenido tanto experimental como teórico entre 54 y 79%.

TABLA 1
Rendimiento del aislado proteico de avellana (%)

Punto diseño	X1	X2	X3	Actual	Teórico
1	20 (-1)	0.050 (-1)	9.00 (-1)	61.80	58,83
2	40 (+1)	0.050 (-1)	9.00 (-1)	69.90	68.32
3	20 (-1)	0.063 (+1)	9.00 (-1)	67.50	66.14
4	40 (+1)	0.063 (+1)	9.00 (-1)	78.70	76.78
5	20 (-1)	0.050 (-1)	11.00 (+1)	66.30	68.49
6	40 (+1)	0.050 (-1)	11.00 (+1)	66.40	68.03
7	20 (-1)	0.063 (+1)	11.00 (+1)	55.70	57.55
8	40 (+1)	0.063 (+1)	11.00 (+1)	55.00	58.24
9	10 (-alfa)	0.057 (0)	10.00 (0)	66.00	66.28
10	50 (+alfa)	0.057 (0)	10.00 (0)	77.00	76.45
11	30 (0)	0.045 (- alfa)	10.00 (0)	65.00	65.56
12	30 (0)	0.068 (+alfa)	10.00 (0)	64.40	63.46
13	30 (0)	0.057 (0)	8,00 (- alfa)	64.00	68.05
14	30 (0)	0.057 (0)	12.00 (+alfa)	63.50	59.18
15	30 (0)	0.057 (0)	10.00 (0)	63	59.94
16	30 (0)	0.057 (0)	10.00 (0)	54.00	59.97
17	30 (0)	0.057 (0)	10.00 (0)	63.00	59.93

X1= tiempo (min); X2= relación soluto/solvente; X3= pH

TABLA 2
Análisis de varianza y valores de probabilidad
obtenidos de la optimización del aislado proteico avellana

F. variación	Suma cuadrado	G L	F exp.	Probab	R2
X1	103.53	1	5.62	0.05*	14.9
X2	5.27	1	0.29	0.61	0.8
X3	78.77	1	4.28	0.05*	11.3
X ₁ ²	160.60	1	8.72	0.02*	23.1
X ₂ ²	26.92	1	1.46	0.27	3.9
X ₃ ²	16.59	1	0.90	0.37	2.4
X1X2	0.66	1	0.04	0.85	0.1
X1X3	49.50	1	2.69	0.15	7.1
X2X3	166.53	1	9.04	0.02*	24.0
Falta ajuste	74.97	5	0.56	0.74	10.8
Error puro	54.00	2			7.8
Total	695.09	16			81.5

X1= tiempo X2= relación soluto/solvente X3= pH

*significativo p≤0.05

TABLA 3

Análisis químico comparativo entre Aislado Proteico de Avellana (APA), Avellana y Concentrado proteico de avellana

Componente	APA(a)	Avellana (b)	CPA(b)
Humedad	3.96	7.50	4.25
Cenizas	5.00	3,6	4.15
Fibra cruda	0.68	2.80	2.14
Extracto etéreo	1.29	49.30	4.62
Proteína	76.00	12.40	21.47
Hidratos de Carbono	13.07	24.40	63.37

Fuente: (a) Aislado Proteico Avellana; (b) (ref. 10)

TABLA 4

Propiedades funcionales de aislados proteicos

Prop. Funcionales	APA	APR(a)	APS(b)	APL(c)
Absorción agua	320.00	208.32	331.65	155.00
Absorción aceite	410.00	188.75	440.00	389.00
Cap. Emulsificante	54.35	61.32	70.00	74.00
Estab. Emulsificante	42.93	55.50	68.00	69.40
Cap. Espumante	221.05	8.87	46.00	92.40

APA =Aislado protéico avellana, APR=Aislado protéico raps,

APS= Aislado proteico soya y APL= aislado proteico lupino

Fuente: (a) (ref.24); (b) (ref.25); (c) (ref.26)

Por otra parte en la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis de varianza que permite identificar las variables con un efecto significativo en la variación de la respuesta, así como la contribución de las variables independiente para explicar el comportamiento de la respuesta, destacando los factores lineales tiempo de contacto y pH.

La Tabla 3 presenta el análisis químico comparativo entre el aislado proteico de avellana, el fruto y el concentrado proteico mostrando diferencias significativas entre estos productos como consecuencia de las manipulaciones a las que fueron sometidas (11)

La Tabla 4 describe las propiedades funcionales del aislado proteico de avellana comparado con los aislados proteicos de colza (24), soya (25) y lupino (26) destacando los valores de absorción de agua, aceite y capacidad espumante.

La Figura 1 incluye la representación gráfica tanto tridimensional como de contorno del efecto de las variables independientes tiempo y pH sobre el rendimiento del aislado proteico de avellana que permitió obtener la combinación óptima de los factores de control para obtener el máximo rendimiento. Estas fueron: Tiempo entre 35 a 40 minutos; relación m/solvente 1/16 a 1/17 y pH 9.0.

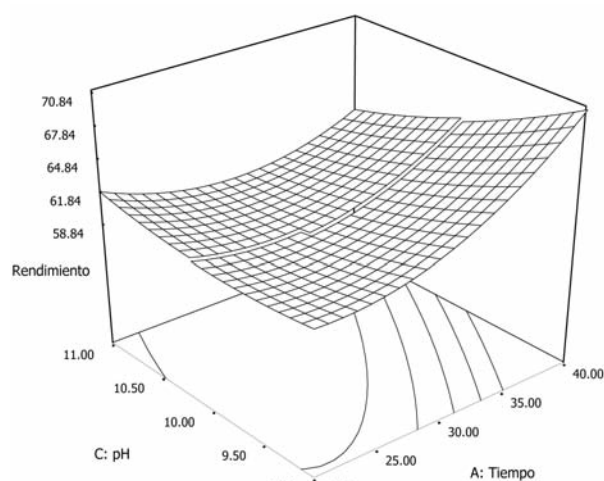


FIGURA 1

Efecto de la variación del rendimiento (%) del Aislado proteico de avellana causado por lo factores de control pH y Tiempo de contacto (min)

DISCUSION

Optimización de las condiciones de extracción de la proteína de avellana.

En general, la eficiencia de la extracción de la proteína está influenciada por múltiples factores que deben actuar simultáneamente. De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 1 se observa que el mayor contenido de proteína correspondió a las condiciones de extracción del punto de diseño 4 (tiempo de contacto = 40 minutos, relación muestra/ solvente = 1/16 y pH = 9.0) dando como resultado un 78,7% de proteína soluble, mientras que el menor resultado se encontró en los puntos de diseño 7, 8, y 16 (tiempo de contacto = entre 30 y 40 minutos, pH = entre 10 y 11 y relación muestra/ solvente = 1/16) con rendimientos entre 55% y 56%. Esta disminución en el rendimiento podría ser explicado por un incremento en la alcalinidad del medio hasta un pH 11, y disminución de relación soluto/solvente tendencia que concuerda a lo obtenido para la extracción de proteínas de lupino (26).

Finalizada la parte experimental, los datos fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple, determinándose la relación causa/efecto entre el rendimiento de la extracción de proteína (Y) y los coeficientes de regresión lineal, cuadrática e interacciones que se muestran en la siguiente ecuación polinómica ajustada de segundo orden.

$$Y = 59.94 + 2.54X_1 - 0.62X_2 - 2.22X_3 + 2.86X_1^2 + 1.58X_2^2 + 0.92X_3^2 + 0.29X_1X_2 - 2.49X_1X_3 - 4.56 X_2X_3$$

Los coeficientes de regresión indican que existe un claro predominio causa/efecto de las variable tiempo y pH, en sus formas lineales mientras que en la forma no lineal destacan las variables tiempo y relación soluto/solvente. En cuanto a las interacciones el mayor efecto correspondió a la relación soluto/solvente y pH, hechos que fueron confirmados con el análisis de varianza (ANOVA) como muestra la Tabla 2. con valores de F experimentales y regiones de probabilidad demostraron variaciones significativas ($p < 0.05$) en la extracción de la proteína. El ajuste del modelo fue comprobado por el coeficiente de determinación $R^2 = 0.8145$ valor que indica una buena relación causa efecto, que junto con el valor de la señal/ruido de 5,49 indican que la calidad de la respuesta es robusta y consistente a pesar de la interferencia o ruido. Observando los gráficos que relacionan los factores de control

tiempo de contacto con el solvente, relación muestra/ solvente y pH, se demostró que el factor tiempo destaca nítidamente en la variación de la respuesta comparado con los factores pH y relación muestra/ solvente, de esta manera la mejor combinación de los factores para obtener el óptimo resultado fue: tiempo entre 30 y 40 minutos, pH 9.0 y relación muestra/ solvente entre 1/15 a 1/16), con un rendimiento del APA cercano a 77 %. (ver Figuras 4.1, 4.2, 4.3). Esto se puede explicar porque la avellana contiene altas concentraciones de albúminas (42%) y globulinas (20.2%), las cuales son muy solubles en agua y porque a pH alcalinos la solubilidad de las proteínas aumenta (27). Finalizado el proceso de optimización se validó el resultado experimental realizando un ensayo confirmatorio utilizando la combinación óptima de las variables independientes, dando como resultado un rendimiento final de 76%.

Caracterización del aislado proteico de avellana

El objetivo de determinar las características físicas, composición química y las propiedades funcionales del APA, fue comprobar si estas características son apropiadas para ser incorporado en alimentos donde se desee aumentar la concentración de proteínas.

Características físicas

Densidad aparente

La densidad aparente del APA fue de 0,504 g/ cm³ propio de productos livianos y porosos, siendo este valor menor al reportado por Jonquera (28) para el concentrado proteico de avellana (CPA)= 0,626 g/ cm³.

Compactación

Cuando los sólidos son colocados en un recipiente, el volumen total ocupado tendrá una sustancial proporción de aire incrementado su volumen. La porosidad del material envasado se define como aquella fracción del volumen total que está ocupada por aire y es afectada por la geometría, tamaño y propiedades superficiales del producto (29). Terminado el proceso de compactación, el volumen inicial disminuyó un 43,4 %, resultado ligeramente inferior al reportado por Jonquera (28) de 52 % obtenido con el CPA. Cuando un producto tiene un valor alto de compactación, su transporte se facilita, ya que después de comprimirlo su volumen disminuye considerablemente.

Color

El color y la apariencia en general son los primeros

indicadores de calidad de los productos alimentarios. En este estudio se hizo una comparación del APA, con una muestra comercial de carne vegetal de soja (CVS) y datos de CPA reportados por Jonquera (28).

En cuanto al parámetro L^* , se puede apreciar que no existen grandes diferencias entre CPA y APA con valores de 77.37 y 79.03 respectivamente, caracterizados por poseer un brillo superior a CVS. Distinto es el comportamiento del parámetro a^* , ya que tanto el APA (5.12) como el CPA (2.55) se encuentran en la zona positiva con una tonalidad roja, mas intensa en el APA, mientras en la CVS (-2.1) su comportamiento es distinto por presentar una tendencia al verde (lado negativo). En cuanto al parámetro b^* tanto el tanto el APA (26.4) como el CPA (20.4) presentan una apariencia amarilla de tonalidad mas clara en el APA debido a la asociación de los parámetros a^* y b^* , donde predomina este último. Este hecho resulta de suma importancia, ya que se puede disimular de mejor forma la incorporación de este aislado proteico a productos que necesiten complementar su formulación.

Caracterización química

Análisis proximal

La Tabla 3 muestra los sucesivos cambios producidos en la manipulación de la semilla hasta la obtención del APA., destacando el incremento de la concentración de proteínas de 12% para la avellana a 76% para el APA y el incremento de fibra en CPA (21%) en la avellana para luego disminuir a un 0.7% en el APA así como la drástica disminución del contenido en aceite desde un 50% en el fruto a un 1,3% en el APA.

En cuanto al contenido de proteínas del APA existe mucha información en la literatura especializada en estos temas, así por ejemplo Cantoral et al (29) trabajando con haba y soja obtuvieron rendimientos entre 80 y 82% respectivamente, usando metodologías de liofilización y extracción alcohólica superiores al obtenido en el APA. También se puede citar los trabajos de Ulloa *et al* (3) que reportaron un 68% trabajando con garbanzos utilizando la técnica de ultrafiltración; 73% para el aislado proteico de lupino citado por López *et al* (30), 63% para aislado proteico de germen de maíz reportado por Dondero y Meneses (2) y 53% para concentrado proteico de girasol Bourgues et al (8). Respecto a los otros componentes que comprende el análisis proximal destaca la baja concentración de fibra cruda (0,68 %) en el APA. Esta información es

importante, por su influencia sobre el grado de aprovechamiento de este producto y su perfil de aminoácidos esenciales (10).

Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales del APA, aislado proteico de raps (APR), aislado proteico de soja (APS) y aislado proteico de lupino (APL) se presentan en la Tabla 4.

Absorción de agua

La cantidad de agua asociada a las proteínas está estrechamente relacionada con su perfil de aminoácidos y aumenta con el número de cargas eléctricas de éstas, conformación o estructura, pH, temperatura, fuerza iónica y la concentración de proteína. La capacidad de absorción de agua del APA resultó ser comparable al APS y superior al APR y APL. Este comportamiento según lo expuesto por Pedroche J *et al.* (24) permite suponer que el APA es apto para ser usado en productos donde la retención de agua sea deseable como son carne, cecinas y productos lácteos.

Absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite del APA fue de 410 % valor superior al APR y APL, según Pedroche et al (24), pero inferior al APS (25). Por lo tanto los usos que se le pueden dar a este aislado son productos lácteos y embutidos.

Capacidad y estabilidad emulsificante

Con respecto a la capacidad emulsificante esta resultó ser de 54,35 % para el APA, valor inferior a la capacidad emulsificante reportada por Sathe *et al.* (26) para APL de 74,00 %, 70% reportado por Kinsella (25) para el APS y por Pedroche *et al.* (24) para el concentrado de raps (61,32 %). En cuanto a la estabilidad emulsificante en el APA fue de 42,93 %, valor ligeramente inferior a la estabilidad emulsificante del APR, APS (68,00 %) y APL (69,40 %).

Capacidad espumante

La capacidad de formación de espuma resultó ser de 21,59 % para el APA, expresado como porcentaje de incremento de volumen, siendo este valor fue muy superior al APR (21,50 %); APS (60%) y APL (58,00 %), valores reportados por Pedroche et al (25), Kinsella (25), y Sathe *et al.* (26), respectivamente.

Estabilidad espumante

El volumen de espuma del APA al cabo de 90 minutos de reposo disminuyó en un 19 %, valor superior al APL que bajo iguales condiciones de tiempo, la espuma disminuyó 7,6 % (26).

Capacidad de gelificación

Las proteínas son gelificantes más eficientes que los hidratos de carbono, porque son moléculas grandes capaces de formar redes tridimensionales (31). La gelificación se ve favorecida por el tamaño de las proteínas, la flexibilidad y la capacidad de las proteínas de desnaturalizarse, ya que para la formación de geles es deseable la parcial desnaturalización de estas, sin rompimiento de enlaces covalentes (32). El APA presentó gelificación a concentraciones de 14 % y 16 % (33) valores superiores a los reportados por Sathe *et al.* (26) para el APL con datos entre 8 y 12%.

CONCLUSIONES

La mejor combinación de las variables independientes para obtener el máximo rendimiento de aislado proteico de avellana fueron: tiempo entre 30 y 40 minutos, pH entre 9 y 9,5 y relación muestra/ solvente entre 1/15 a 1/16, con un rendimiento final de aislado proteico de 76%.

El trabajo experimental realizado permitió establecer que las variables tiempo de contacto con el solvente y la interacción relación muestra/ solvente – pH afectaron significativamente ($p < 0,05$) el rendimiento del aislado proteico.

Las propiedades físicas del aislado proteico de avellana, tales como color amarillo claro, baja densidad aparente (0,604 g/ cm³) y alto grado de compactación (43,4%) son características que facilitan su incorporación a productos que necesiten complementar su formulación, ya que se puede disimular de mejor forma la incorporación de este aislado.

El aislado proteico de avellana es una buena alternativa para el mejoramiento de la calidad nutritiva de los alimentos, ya que presenta un aporte proteico de 76%, composición de aminoácidos esenciales y bajos contenidos de fibra (0,68%) y aceite (1,29%).

Entre las propiedades funcionales del aislado destacan absorción de agua (320 g/ 100 g), absorción de aceite (410 g/ 100 g), capacidad espumante (221,05%), capacidad emulsificante (54,32%) y geli-

ficación (14% y 16%), características que demuestran que el aislado puede ser utilizado en una gran variedad de productos.

Se demostró que el empleo de la Metodología Superficie de Respuesta es efectiva como estrategia de trabajo, obteniéndose resultados con reducidas corridas experimentales y en corto tiempo, factores que tienen un impacto significativo en los costos de los ensayos experimentales.

REFERENCIAS

1. Mera M, Von Baer E., Hazard S. Concentrados proteicos ¿Es posible sustituir importaciones?. Agro análisis. 2000; 196: 33- 36.
2. Dondero M, Meneses E. Obtención de un concentrado proteico a partir de germen de maíz. Rev. Alimentos. 1981; 6(3):19-24.
3. Ulloa JA, García Z, Valencia M. Obtención de un concentrado proteínico de garbanzo. (*Cicer arietinum*) obtenido por ultrafiltración. Arch. Latinoamer. Nutr. 1992; 42 (4): 428-431.
4. Del Valle J, Aguilera J. Extracción con CO₂ a alta presión. Fundamentos y aplicaciones en la industria de alimentos. Journal Science and Technology International. 1999; 5: 1-24.
5. Wills R. and Kabisullah M. Use of sunflower protein in sausages. J. Food Sci. 1981; 46 (3): 1653-1658.
6. Cruz O. and Hedrick H. Utilization of defatted sesame flour in fermented salami J. Food Sci. 1985; 50 (3):1117-1128.
7. Bourgues H, Morales de Leon J, Hernández R. Obtención de harina y un concentrado proteico a partir de semillas de girasol (*Helianthus annuus*) y su incorporación en galletas. Arch. Latinoamer Nutr. 1980; 30 (4):564-579.
8. Ashraf H., and Siandwazi C Evaluation of gingerbread cookies supplemented with sunflower protein concentrate. J. Food Sci. 1986; 51 (4):1102-1103.
9. INTEC. Recolección e Industrialización de Avellana Chilena., 1982 (Chile).
10. Villarroel M, Biolley E, Schneeberg R, Ballester D. Aminoacid composition of chilean hazel nut. Food Chem. 1987; 25: 155-159.
11. Villarroel M, Biolley E, Ballester D, Santibáñez S. Composición química de harina desgrasada de avellana. Arch. Latinoamer Nutr. 1989; 39 (2):200-211.
12. Gacula M. Statistical Methods in Food and Consumers Research. 1984. Academic Press. Inc., Florida, USA.
13. Montgomery, D. Design and analysis of experiments. 2001 5a ed. John Wiley&Sons, New York, USA.

14. A.O.A.C. Official Methods of Analysis of Association Analytical Chemists. 15 th Edition, 1990. Washington D.C.
15. Lowry OH, Rosebrough N. J., Farr, A. L. Y Randall, R. J. Protein measurement with Folin – phenol reagent. J. Biol. Chem. 1951;193: 265 – 275.
16. Alvarado L, Aguilera JM. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. 2001. Edit. ACRIBIA. Zaragoza, España.
17. Calvo C Atlas de color. Fundamentos y Aplicaciones. Revista Agroquímica. 1989; 29 (1):15-29.
18. Mendoza F., Aguilera J.M. Application of image analysis for classification of ripening bananas. J. Food Sc. 2004; 69 (9): 471-477.
19. Sosulski F. The centrifuge method for determining flour absorption in hard red spring wheats. Cereal Chemistry. 1962; 39: 344– 350.
20. Dench J., Rivas N., Caygill J. Selected functional properties of sesame (*Sesamun indicum*) flour in two protein isolates. Journal of Food Agriculture. 1980; 32: 557-558.
21. Nacz M. Diosady L. & Rubin L. Functional properties of canola meals produced by a two phase solvent extraction system. Journal of Food Sc. 1985; 50: 1685–1692.
22. Betschart A., Fong R., Hanamoto M. Safflower protein isolate. Functional properties in simple system and breads. J. Food Sc. 1979; 44 (4): 1022- 1032.
23. Coffman C, García V. Functional properties and amino acid content of protein isolated from mung bean flour. J. Food Techno. 1997; 12: 473-478.
24. Pedroche J, Yust M, Alaiz M. *Brassica carinata* protein isolates. Chemical composition, protein characterization and improvement of functional properties by protein hydrolysis. Food Chemistry. 2004; 88:337-341.
25. Kinsella J. Functional properties of soy protein. Journal of American Oils and Chemist Society. 1979; 561:242-258.
26. Sathe S, Desphande J, Salunkhe D. Functional properties of lupin seeds (*Lupinus mutabilis*) proteins and protein concentrates. J. Food Sci. 1982; 47 (1):491-497.
27. Moure A., Sineiro J., Domínguez H., Parajó J.. Functionality of oilseed protein products: A review. Food Research International. 2006; 39(9): 945-963.
28. Jorquera J. (1995). Obtención y Caracterización Química, Física, Biológica y Tecnológica de un Concentrado Proteico de Avellana. 1995 Trabajo para optar al título de Ingeniero en Alimentos. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.
29. Cantoral R, Fernández A, Martínez JA, Maracuya M. Estudio comparativo de la composición y el valor nutritivo de semillas y concentrados de proteínas de leguminosas. Arch. Latinoamer. Nutr. 1995; 45 (3):242-248.
30. López V, Aquino E, Soto S. Efecto de las características reológicas de tallarines fortificados con derivados del lupino. 2002. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma. Estado de Hidalgo, México.
31. Lewis M. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. 1993. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
32. Kato A., Nakai S. Hydrophobicity determined by a fluorescent probe method and its correlation with surface properties of proteins. Biochemical et. Biophysical Acta. 1980; 624(1): 13 –20.
33. Oakenfull, D., Pearce, J, Burley, R. Protein gelation. Food proteins and their applications. 1997; 111–141. New York.

Recibido: 07-07-2011

Aceptado: 13-01-2012