

DICNE

\$ 500.00

27 ENE. 1986

FECHA DE DEVOLUCION
BIBLIOTECA DEPARTAMENTAL DCNE

El último sello marca la fecha tope para ser devuelto este libro.

El lector pagará \$5.00 pesos por cada día que pase una semana después del vencimiento.

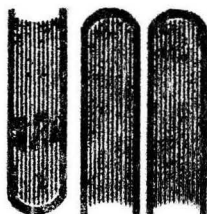
~~7 MAYO 1986~~

~~15 MAYO 1986~~
Antonio

23 MAYO 1986

UNIVERSIDAD DE MONTERREY

DIVISION DE CIENCIAS NATURALES
Y EXACTAS



UNIVERSIDAD
DE MONTERREY

clasif.
040.664
L961e
1985
c-1

folio
900606

Título

ESTUDIO DE LA DECOLORACION DEL ALGA

Spirulina máxima

Y DE ALGUNAS DE SUS PROPIEDADES
EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.

REPORTE DEL PROGRAMA DE
EVALUACION FINAL
PRESENTADO POR

Autor

RAMIRO LUNA RIVERA

EN OPCION AL TITULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS

Ma. de los Angeles Guerrero C.
U.Bo. 27 de Noviembre 1985

BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD DE MONTERREY

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1985

A DIOS

Por haberme dado vida para llegar
a ver realizado el más caro anhelo
de mis Padres y mi más plena sa-
tisfacción como estudiante: mi
formación como profesionista.

Agradezco a esos seres humanos
que con su paciencia y comprensión
llegaron a formar parte integral de
mi vida : Mis Maestros.

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
MATERIALES Y METODOS	8
Métodos de Decoloración	9
Análisis Bromatológicos	11
a) Determinación de proteínas según Kjeldhal-Gunning-Arnold	11
b) Determinación de grasa	12
c) Determinación de humedad	12
d) Determinación de fibra cruda con la modificación Kennedy al método oficial	13
e) Determinación de cenizas	13
f) Determinación de carbohidratos	13
Propiedades Funcionales	14
a) Capacidad de retención de agua	14
b) Capacidad de retención de aceite	14
c) Capacidad de emulsificación	14
d) Capacidad de espumación	15
e) Gelificación	15
f) Viscosidad	15
Reactivos	17
RESULTADOS	18
Métodos de Decoloración	18
Análisis Protéico	19
Análisis Bromatológicos	20
Análisis de Propiedades Funcionales	20
DISCUSION Y CONCLUSIONES	28
RESUMEN	35
BIBLIOGRAFIA	38

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

		Página
TABLA NO. 1	COMPOSICION PROTEICA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS UTILIZANDO SOLVENTES ORGANICOS	21
TABLA NO. 2	ANALISIS BROMATOLOGICOS EFECTUADOS EN LA ESPIRULINA, PRODUCTO 3 Y 4c	21
TABLA NO. 3	RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE GELIFICACION Y ABSORCION DE AGUA Y GRASA DE LA ESPIRULINA Y PRODUCTOS 3 Y 4c	22
FIGURA NO. 1	ESTRUCTURA QUIMICA DE LOS PIGMENTOS CLOROFILA Y MESOBILIVOLINA	6
FIGURA NO. 2	PROPIEDAD DE ESPUMACION EN FUNCION DEL pH	23
FIGURA NO. 3	PROPIEDAD DE ESPUMACION EN FUNCION DE LA CONCENTRACION MOLAR DE NaCl	24
FIGURA NO. 4	PROPIEDAD DE EMULSIFICACION EN FUNCION DEL pH	25
FIGURA NO. 5	PROPIEDAD DE EMULSIFICACION EN FUNCION DE LA CONCENTRACION MOLAR DE NaCl	26
FIGURA NO. 6	VISCOSIDAD EN FUNCION DE LA CONCENTRACION PORCENTUAL DE HARINA	27

INTRODUCCION

Se ha encontrado que en los países en vías de desarrollo, como México, hay una marcada deficiencia en el consumo de proteínas, lo cual se manifiesta a través de ciertos trastornos físicos, que alteran el desarrollo normal del individuo, por lo que se ha hecho necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de proteína que sean de alta calidad y bajo costo (13).

Una de las fuentes que cumple con estos requisitos y que se ha venido estudiando en los últimos años, es el alga verde-azul "Espirulina", debido a que contiene a todos los aminoácidos esenciales (vali

na, isoleucina, treonina, lisina, metionina, fenilalanina y triptófano) en la estructura de sus proteínas, que ocupan un 60-70% en peso del alga seca, y es una fuente de bajo costo (3, 11, 13).

Las proteínas de esta alga, además de constituir una buena fuente de enriquecimiento, también pueden ser utilizadas en la industria alimentaria, ya que existe actualmente una tendencia a utilizar proteínas que no sean de origen animal en el desarrollo de nuevos productos (2).

Sin embargo, el principal problema que se presenta en la manufactura de estos nuevos productos, es que el alimento elaborado debe poseer características nutricionales, de textura, sabor y apariencia que sean adecuadas y atractivas al consumidor (2).

En el caso de utilizar la espirulina en tales alimentos, sólo se cubriría una de las necesidades antes mencionadas, que es la calidad nutricional, pues el color verde-azul, aroma y sabor naturales del alga, que pueden ser atractivos para los consumidores de productos naturales, representa, en cambio, un problema para un gran porcentaje de la población mundial que no acostumbra consumir dichos alimentos (13).

Con la finalidad de que la espirulina constituya una fuente de proteínas más aceptada, se pensó en la elaboración de este estudio, cuyo objetivo es el de preparar una harina decolorada, usando como materia prima harina de espirulina.

También como parte de este estudio, se hará una evaluación de las propiedades funcionales de las proteínas del producto elaborado, con la finalidad de conocer los alimentos en que es adecuado introducirlo, siendo la viscosidad, capacidad de gelificación, de retención de agua y aceite, de emulsificación y de espumación las propiedades evaluadas.

Primeramente mencionaremos que entre los pigmentos más abundantes que dan a la espirulina su color característico, están la clorofila y la ficocianina.

La clorofila es un pigmento verde, soluble en solventes orgánicos, que se encuentra en una concentración de 1% y que presenta una estructura porfirínica con un átomo de magnesio y una molécula de fitol que se esterifica con una molécula de ácido propiónico. Los anillos pirrólicos están unidos a través de grupos meteno, formando una estructura planar. El átomo de magnesio central de la porfirina está ligado por dos de los nitrógenos de los anillos pirrólicos a

través de enlaces covalentes, mientras los otros dos átomos de nitrógeno lo unen por medio de un sistema de coordinación. La clorofila que se halla presente en el alga es la clorofila "a" (Fig. No. 1) (2, 5).

La ficocianina es un pigmento hidrosoluble azul, que se encuentra en una concentración de 7% y pertenece a un grupo denominado ficobilinas, las que se asocian a una proteína para formar las ficobiliproteínas, siendo esta forma en la que se encuentra distribuido el pigmento en el alga. Se ha establecido que la ficocianina procede de la mesobiliviolina mediante reducciones de puentes de carbono a grupos etilo. La estructura de la mesobiliviolina se muestra en la Fig. No. 1, (5, 11).

Para poder eliminar a un máximo el contenido de pigmentos del alga y obtener una harina decolorada se utilizarán los siguientes métodos:

1. - Extracción en solución acuosa del pigmento ficocianina, seguida de una extracción de la clorofila con etanol (13).
2. - Extracción de los pigmentos del alga con una mezcla alcohol-acetona, en un sistema contínuo de extracción, para remover los pigmentos (3).

Las propiedades funcionales que se evaluarán en los productos obtenidos serán:

Viscosidad: que es la resistencia interna que una sustancia tiene para fluir libremente y que nos indicará los alimentos en que es adecuado introducir el producto cuando éste se halla en solución acuosa.

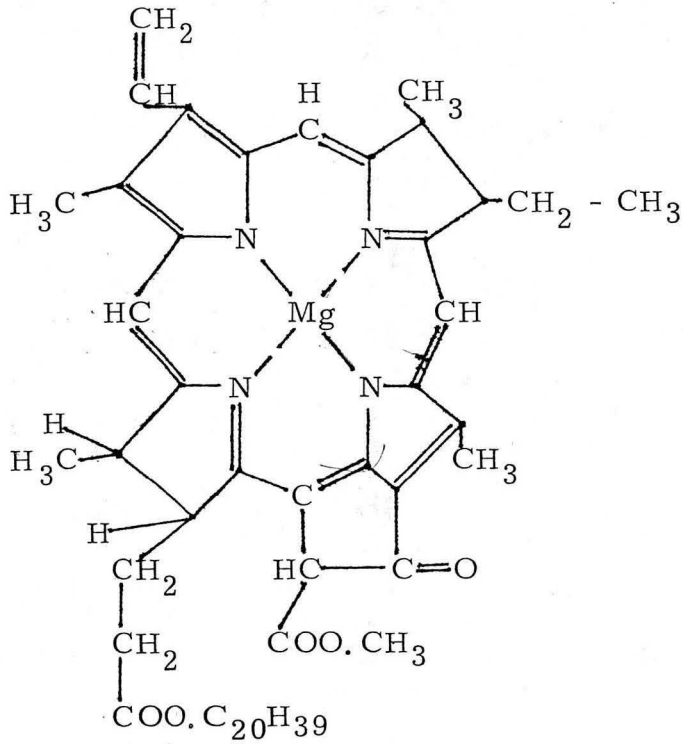
Gelificación: que involucra la agregación de las proteínas, por la cual ocurren interacciones proteína-solvente y proteína-proteína para formar una red estructural terciaria que es capaz de atrapar grandes volúmenes de líquido.

Aereación: fenómeno que ocurre cuando las proteínas se desdoblán y exponen sus regiones hidrófobas, disminuyendo la tensión interfacial entre el aire y la fase acuosa, facilitando así la deformación del líquido en una película impermeable.

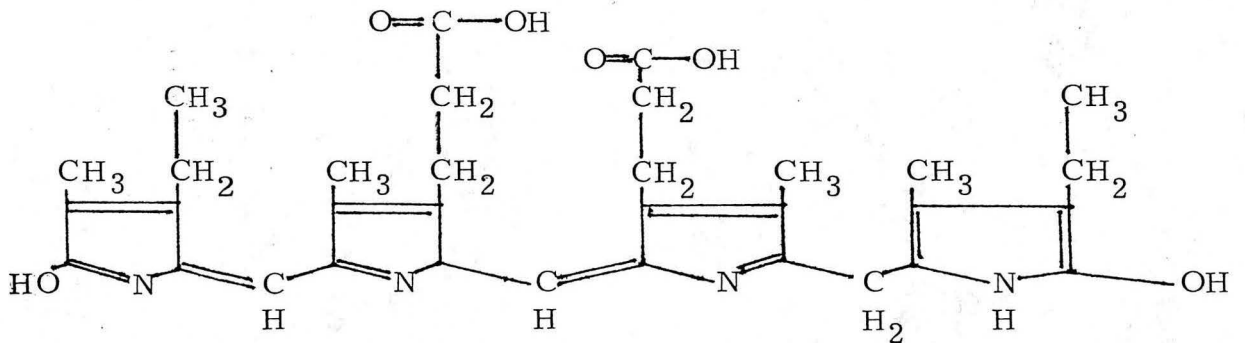
Emulsificación: es un efecto estabilizante de las proteínas que ocurre cuando se disminuye la tensión interfacial entre componentes inmiscibles, como agua y aceite, lo cual permite la formación de una capa protectora de uno de los componentes en derredor de pequeñas gotas del otro componente, formando así la emulsión.

FIGURA NO. 1

ESTRUCTURA QUIMICA DE LOS PIGMENTOS
CLOROFILA Y MESOBILIVIOLINA



CLOROFILA "a"



MESOBILIVIOLINA

Absorción de agua : que nos dá una idea de la capacidad de humidificación que le puede proporcionar una proteína a un alimento.

Absorción de grasa : que es importante conocer, ya que se ha comprobado que la absorción de ciertos lípidos mejora la retención de sabor en un alimento.

MATERIALES Y METODOS

La materia prima a utilizar en el presente estudio consiste en harina de espirulina proveniente de la empresa Sosa Texcoco de México.

Los análisis bromatológicos que se evaluarán serán: determinación de proteínas, grasas, fibra cruda, humedad, cenizas y carbohidratos, mismos que se llevarán a cabo en la materia prima y harinas decoloradas obtenidas, con el fin de conocer su composición (4).

Las propiedades funcionales que se evaluarán en las harinas decoloradas serán: capacidad de emulsificación, de espumación, de gelifi

cación, de retención de agua y aceite y viscosidad.

METODOS DE DECOLORACION

Método 1. - Extracción en solución acuosa de la ficocianina seguida de una extracción de la clorofila con etanol absoluto.

1. - Suspender la harina en agua destilada en relación 1:20.
2. - Agitar por espacio de una hora.
3. - Centrifugar a 3500 rpm por 15 min.
4. - Decantar
5. - Ajustar el extracto a pH 3 y observar.
6. - Suspender el residuo en etanol absoluto en relación 1:10, respecto al peso de la harina original.
7. - Agitar 1 hr.
8. - Centrifugar a 3500 rpm por 15 min.
9. - Decantar.
10. - Secar el residuo. (PRODUCTO NO. 1).

Método 2. - Extracción en solución acuosa de la ficocianina, seguida de una extracción de la clorofila con etanol absoluto. (Modificación al Método 1).

1. - Suspender la harina en agua destilada en relación 1:20.

2. - Ajustar el pH de la suspensión a 3.

3. - Seguir los pasos del 3 al 10 del Método 1. (PRODUCTO NO. 2)

Método 3. - Extracción de los pigmentos con una mezcla etanol-acetona.

1. - Colocar la harina en un aparato Soxhlet o Goldfish de extracción.

2. - Colocar en el lugar destinado al solvente del aparato que se utiliza una mezcla etanol-acetona (77/23) a razón de 5 litros/Kg de harina.

3. - Armar el aparato y ponerlo a funcionar.

4. - Realizar la extracción por espacio de 4 hrs.

5. - Secar a 100°C por 2 hrs.

6. - Pulverizar. (PRODUCTO NO. 3)

Método 4. - Extracción de pigmentos con etanol absoluto.

a) 1. - Suspender la harina en un poco de etanol para formar una pasta.

2. - Ajustar el pH a 3 con HC1 1N. (R. 1)

3. - Realizar la extracción en un aparato Soxhlet o Goldfish utilizando etanol absoluto como solvente (3 litros/Kg de harina).

4. - Extraer 2 hrs.
 5. - Ajustar a pH 7.
 6. - Secar a 115-120 mm de Hg de vacío a una temperatura entre 70-80°C por espacio de 2 hrs.
 7. - Pulverizar. (PRODUCTO NO. 4a)
- b)
1. - Suspender la harina en un poco de etanol para formar una pasta.
 2. - Ajustar el pH a 6.4 con NaOH 0.1 N. (R-2) o HCl 1 N.
 3. - Realizar los pasos 3, 4, 5 y 6 del Método 4a. (PRODUCTO NO. 4b)
- c)
1. - Suspender la harina en un poco de etanol para formar una pasta.
 2. - Ajustar el pH a 13 con NaOH 4 N. (R-3)
 3. - Realizar los pasos 3, 4, 5 y 6 del Método 4a. (PRODUCTO NO. 4c)

ANALISIS BROMATOLOGICOS (4)

- a) Determinación de proteínas según Kjeldhal-Gunning-Arnold
Coloque en un matraz de digestión de 500 ml entre 0.7-3.5 g de muestra. Añada de 15-18 g de K_2SO_4 ó Na_2SO_4 anh., 1g

de CuSO_4 y 25 ml de H_2SO_4 concentrado. Caliente suavemente hasta que la mezcla aclare y después hierva bruscamente hasta que se haya digerido 2 hrs. Enfríe, diluya con aproximadamente 200 ml de agua y hacer fuertemente alcalina con solución de NaOH al 40% (R-4). Destilar recibiendo los gases en ácido estándar (R-5) hasta que todo el amoniaco pase a solución (generalmente se requieren 150 ml de destilado). Titular al exceso de ácido con álcali estándar (R-6).

b) Determinación de grasa

Extraer 2 g de muestra con éter anhidro en un extractor continuo Goldfish, hasta que no sea removida más grasa (generalmente se requiere de 1-2 hrs). Evaporar el éter y secar el residuo hasta peso constante a 100°C .

c) Determinación de humedad

Pesar aproximadamente 2 g de muestra y colocar en un plato cubierto tarado, quitar la cubierta y calentar a 130°C ($\pm 3^\circ\text{C}$) por 1 hr., cubra el plato mientras aún está en la estufa, enfríe en un desecador por 20 min., pese y calcule el porcentaje en base a la pérdida de peso.

d) Determinación de fibra cruda con la modificación Kennedy al método oficial

Se digieren 2 g de muestra libre de grasa junto con 0.5 g de asbesto y 200 ml de H_2SO_4 1.25% (R-7) por 30 minutos. Luego se añaden directamente 200 ml de solución conteniendo exactamente 3.52 g de NaOH por 100 ml. Digiera otros 30 min., filtrar y lavar del álcali con agua caliente. Luego lavar con solución caliente de H_2SO_4 1.25% que removerá cualquier precipitado por la adición del álcali. Pesar el residuo, calcinar y pesar. La pérdida de peso indica la cantidad de fibra cruda.

e) Determinación de cenizas

Pesar de 2-5 g de muestra y colocarlos en un plato de platino. Incinerar en la mufla a $550^{\circ}C$ hasta que las cenizas sean gris claro, las cenizas no deben fundir. Enfriar en un desecador y pesar tan pronto alcance la temperatura ambiente.

f) Determinación de carbohidratos

Se determinan por la diferencia del 100% menos la suma de los porcentajes de proteína, grasa, humedad, cenizas y fibra cruda.

PROPIEDADES FUNCIONALES

a) Capacidad de retención de agua (1)

Se mezclan 1.5 g de muestra con 30 ml de agua destilada en un tubo para centrifugación de 50 ml tarado (ajustar el pH a 7 con NaOH 0.1 N ó HCl 1 N) y centrifugar a 5000 x g por 30 min. y el volumen del sobrenadante se mide en un cilindro graduado de 50 ml. El resultado se expresa como: g de agua retenidos/100 g de muestra seca.

b) Capacidad de retención de aceite (1)

Se mezcla 1 g de muestra con 10 ml de aceite por 30 seg. en un mezclador y se deja reposar por 30 min. a temperatura ambiente, se centrifuga a 5000 x g por 30 min. y el volumen del sobrenadante se mide en un cilindro graduado de 10 ml. El resultado se expresa como: g de aceite ligado/100 g de muestra.

c) Capacidad de emulsificación (9)

Se suspenden 2 g de espirulina ó 1.2 g de concentrado o el equivalente de 1 g de proteína en 23 ml de agua. Agitar la solución y añadir aceite de maíz o cártamo, midiendo la cantidad de aceite añadida hasta que una gota de aceite rompa la emulsión. Realizar la prueba en función del pH y de la concentración molar de

NaCl. El resultado se expresa como: ml de aceite emulsificado/g de proteína.

d) Capacidad de espumación (9)

Se suspenden 5 g de la harina ó 3 g de concentrado en 100 ml de agua destilada. Agitar la suspensión a 1600 rpm por 5 min. Colocar la mezcla en un cilindro graduado de 250 ml y medir el volumen después de 30 segundos. La prueba se realiza en función del pH y de la concentración molar de NaCl. El resultado se expresa como el porciento de incremento de volumen.

e) Gelificación (12)

Se preparan suspensiones de muestra de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20% (peso/volumen) en 5 ml de agua destilada. Se calientan 1 hr en baño de agua hirviendo, se enfrían con agua corriente fría y se refrigeran 2 hrs a 4°C. La capacidad de gelificación se expresa como la mínima concentración necesaria para formar un gel.

g) Viscosidad (12)

Se preparan muestras suspendidas en agua destilada en concentraciones 2, 4, 6, 8 y 10% (peso/volumen) agitándose 2 hrs a

temperatura ambiente y midiéndose la viscosidad en un viscosímetro.

REACTIVOS

(R-1)	HC1 1 N		
	HC1 12 N	83.3 ml	
	Agua Destilada	916.7 ml	
(R-2)	NaOH 0.1 N		
	NaOH	4.0 gr	
	Agua Destilada	1000.0 ml	
(R-3)	NaOH 4 N		
	NaOH	160.0 gr	
	Agua Destilada	1000.0 ml	
(R-4)	NaOH 40%		
	NaOH	400.0 gr	
	Agua Destilada	1000.0 ml	
	Realizar la disolución en un recipiente con hielo.		
(R-5)	H ₂ SO ₄ 0.5 N		
	H ₂ SO ₄	29.5 ml	
	Agua Destilada	970.5 ml	
(R-6)	NaOH 0.5 N		
	NaOH	20.0 gr	
	Agua Destilada	1000.0 ml	
(R-7)	H ₂ SO ₄ 1.25%		
	H ₂ SO ₄ conc.	12.5 ml	
	Agua Destilada	987.5 ml	

RESULTADOS

MÉTODOS DE DECOLORACION

Método 1. - Extracción con agua de la ficocianina, seguido de una extracción de la clorofila con etanol.

La mezcla que se obtiene al extraer con agua destilada la harina, produce un abundante precipitado color celeste, cuando es ajustado a pH 3. El residuo resultante de la extracción con etanol presenta un color celeste grisáceo un poco obscuro y que produce un sólido plástico café negruzco al intentar secarse por estufa convencional, al vacío y de luz infrarroja.

Método 2. - Modificación al Método 1.

El residuo resultante de la extracción con etanol presenta las mismas características que el obtenido en el Método 1; asimismo el cambio que éste sufre al ser sacado por los métodos antes citados.

Método 3. - Extracción de pigmentos con una mezcla etanol-acetona.

Se obtiene un polvo color verde amarillento pálido que presenta residuos de solvente fácilmente perceptibles por el olfato y un sabor desagradable.

Método 4. - Extracción de los pigmentos con etanol absoluto.

a) Extracción a pH 3.

Se obtiene un polvo color azul celeste grisáceo con olor y sabor casi imperceptibles, al alga original.

b) Extracción a pH 6.4.

Se obtiene un polvo color verde grisáceo que presenta olor y sabor atenuados al alga.

c) Extracción a pH 13.

El producto es un polvo color verde brillante con olor a pescado fresco y sabor a yerba.

ANALISIS PROTEICO

Se efectuó una determinación de proteínas según el método Kjeldhal-

Gunning-Arnold en los productos 3 y 4 (a, b y c) por ser los únicos que se pudieron obtener en forma pulverizada. Los resultados se muestran en la Tabla 1, en donde se puede observar que el valor más alto corresponde al producto 3 (79.73%) y el valor más bajo corresponde al producto 4c (60.75%).

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Los análisis bromatológicos se realizaron en los productos 3 y 4c por ser los que presentaron el mayor grado de decoloración. Los resultados se muestran en la Tabla 2 teniendo como referencia los análisis bromatológicos de la harina de espirulina sin decolorar.

ANÁLISIS DE PROPIEDADES FUNCIONALES

Estos análisis se efectuaron en los productos 3 y 4c por las razones antes mencionadas, siendo los resultados mostrados en la Tabla 3 y las Figuras 2-6.

TABLA 1

COMPOSICION PROTEICA DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS UTILIZANDO SOLVENTES ORGANICOS. (*)

PRODUCTO	% PROTEINA (BASE SECA)
3	79.73
4a	72.13
4b	66.72
4c	60.75

TABLA 2

ANALISIS BROMATOLOGICOS EFECTUADOS EN LA ESPIRULINA, PRODUCTO 3 Y 4c. (*)

%	ESPIRULINA	PRODUCTO 3	PRODUCTO 4c
PROTEINA	53.18	69.92	55.69
LIPIDOS	3.56	0.14	0.26
FIBRA CRUDA	8.41	9.47	8.58
CENIZA	8.79	7.15	9.81
HUMEDAD	6.77	12.30	8.34
CARBOHIDRATOS	19.29	1.02	17.32

(*) ESTOS RESULTADOS SON EL PROMEDIO DE PRUEBAS EFECTUADAS POR TRIPLICADO.

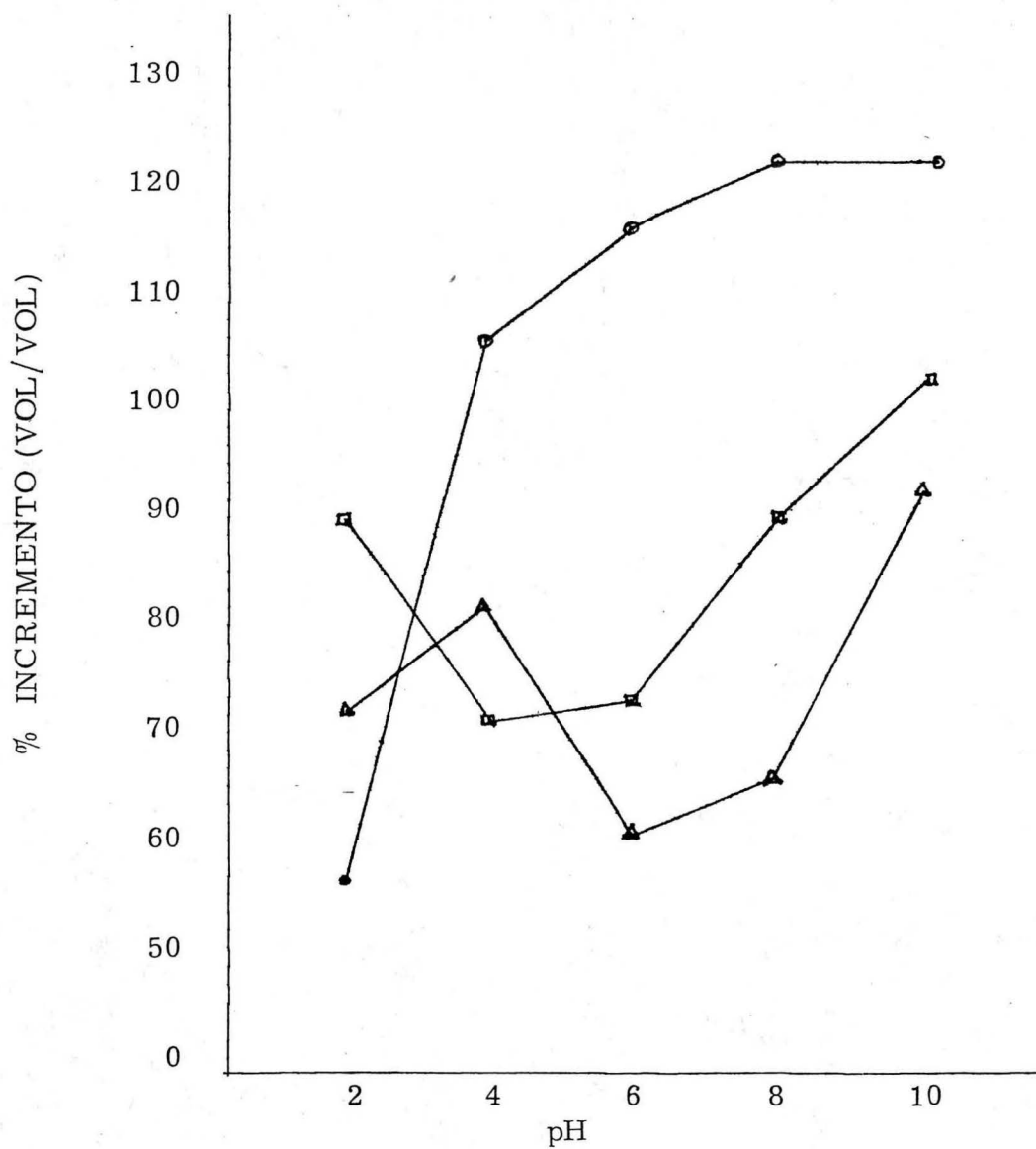
TABLA 3

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE GELIFICACION Y ABSORCION DE AGUA Y GRASA DE LA ESPIRULINA Y PRODUCTOS 3 Y 4c

PROPIEDAD	ESPIRULINA	PRODUCTO 3	PRODUCTO 4c
GELIFICACION (% peso/volumen)	-	20	18
ABSORCION DE AGUA (g/100 g de muestra)	237	300	190
ABSORCION DE GRASA (g/100 g de muestra)	217	160	213

FIGURA NO. 2

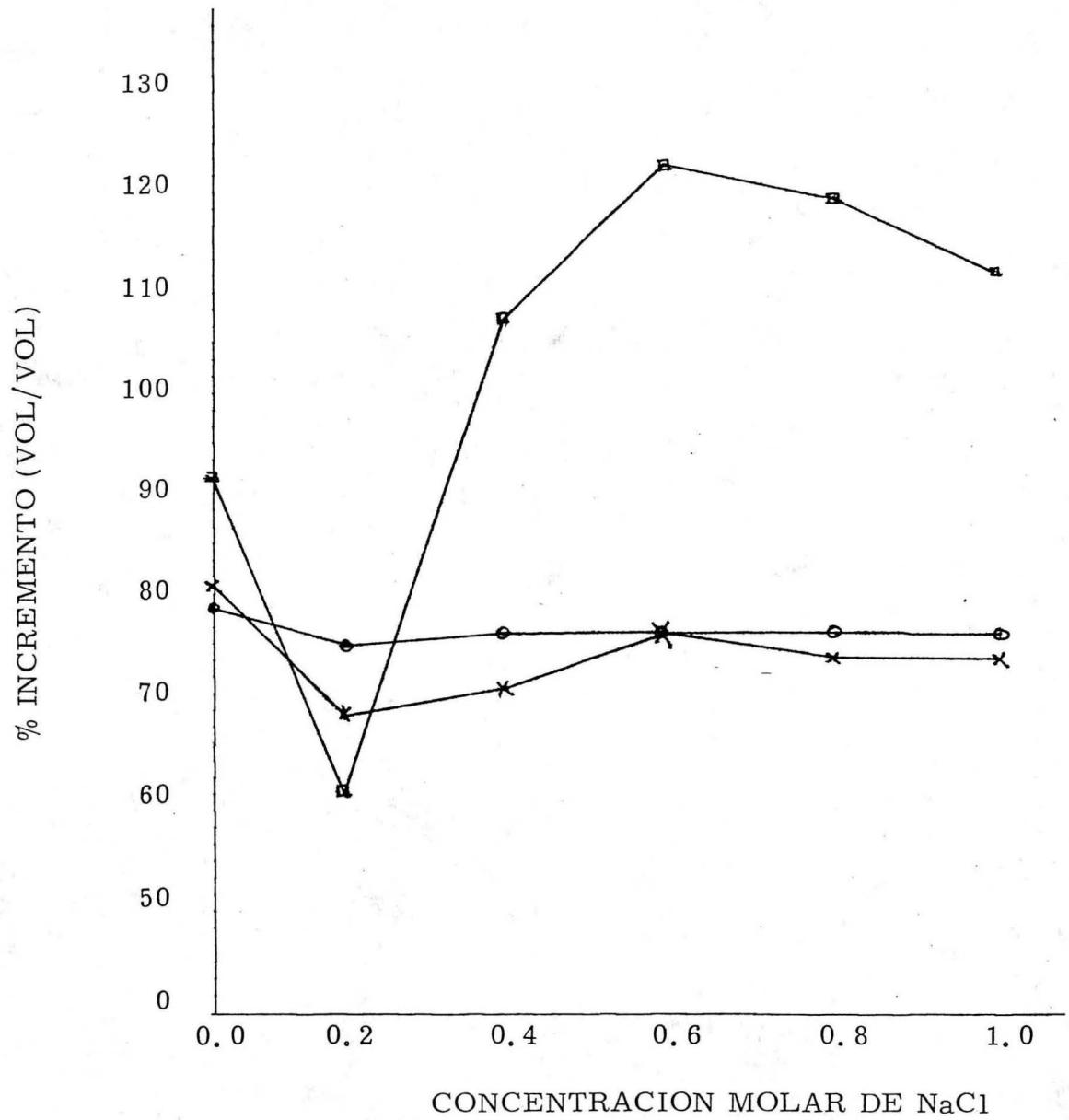
PROPIEDAD DE ESPUMACION EN FUNCION DEL pH



(□) ESPIRULINA; (Δ) PRODUCTO 3; (○) PRODUCTO 4c

FIGURA NO. 3

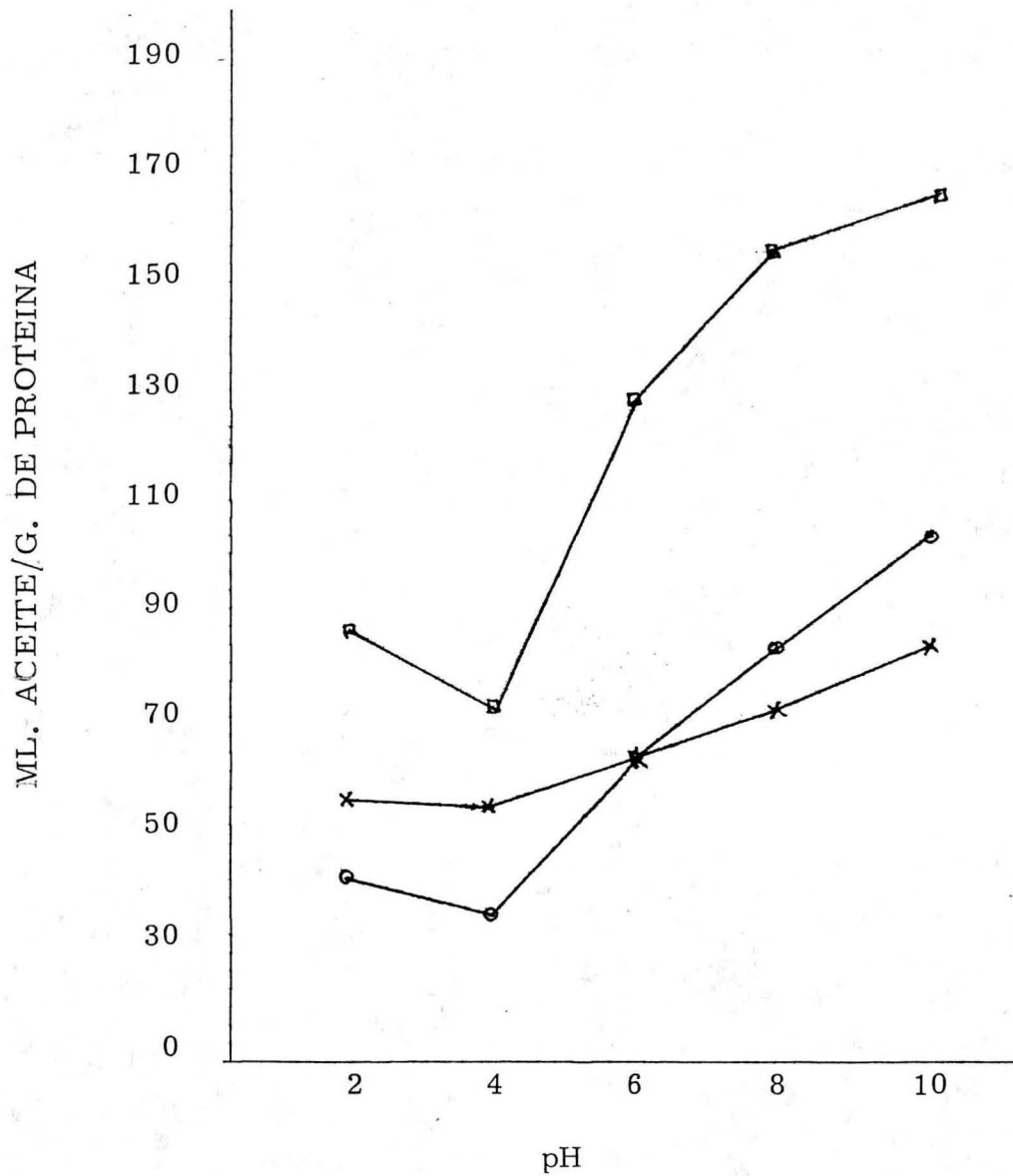
PROPIEDAD DE ESPUMACION EN FUNCION
DE LA CONCENTRACION MOLAR DE NaCl



(○) ESPIRULINA; (×) PRODUCTO 3; (□) PRODUCTO 4c

FIGURA NO. 4

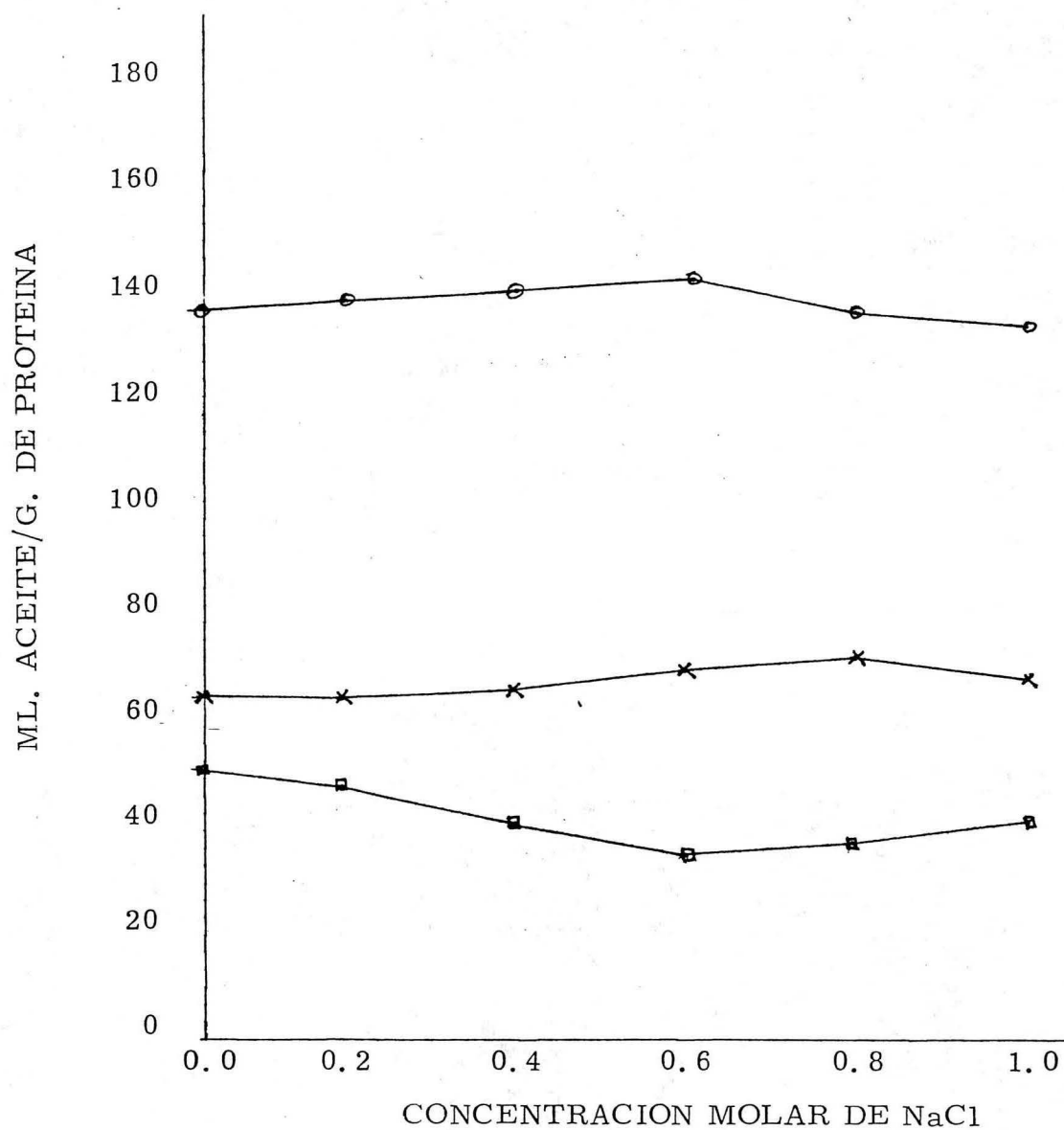
PROPIEDAD DE EMULSIFICACION EN FUNCION DEL pH



(□) ESPIRULINA; (○) PRODUCTO 3; (×) PRODUCTO 4c.

FIGURA NO. 5

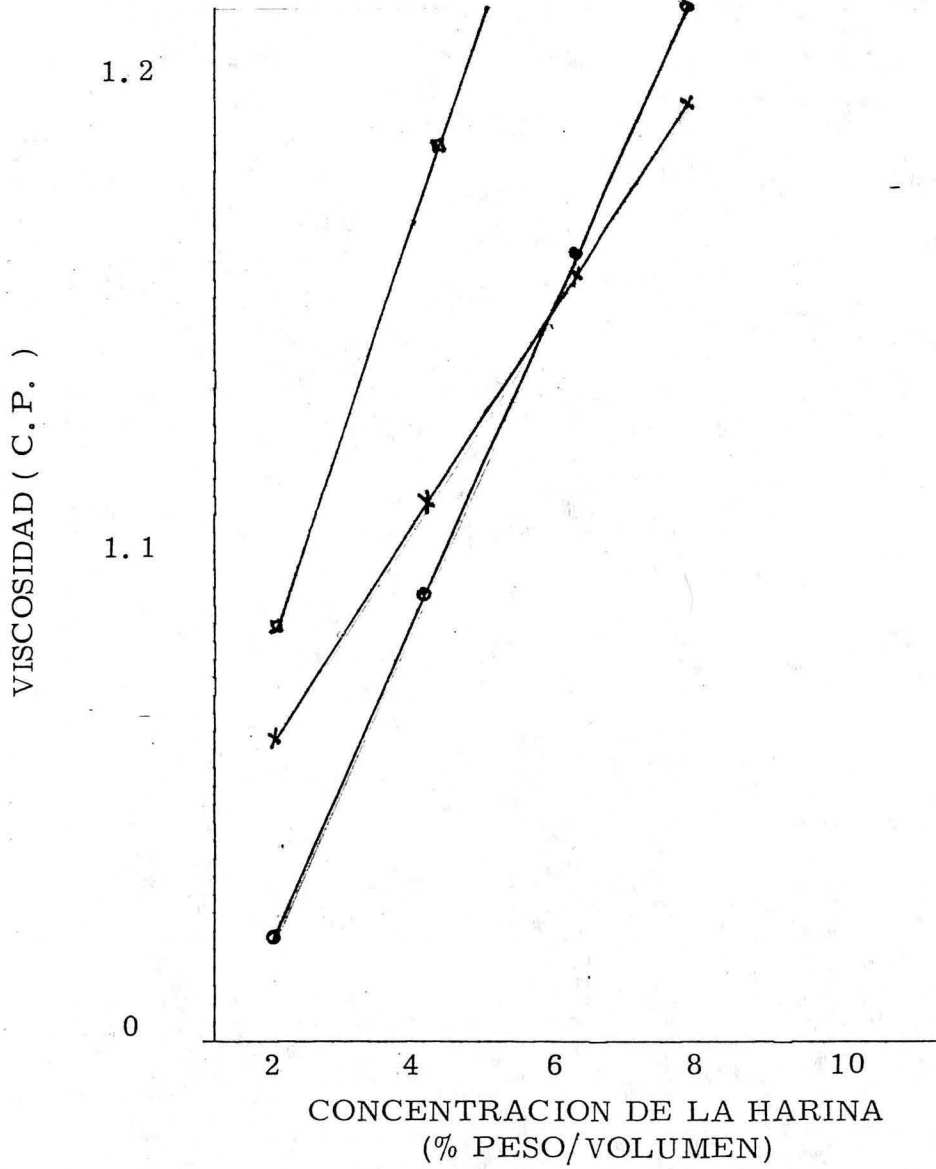
PROPIEDAD DE EMULSIFICACION EN FUNCION DE LA CONCENTRACION MOLAR DE NaCl



(○) ESPIRULINA; (×) PRODUCTO 3; (□) PRODUCTO 4c.

FIGURA NO. 6

VISCOSIDAD EN FUNCION DE LA
CONCENTRACION PORCENTUAL DE HARINA



(○) ESPIRULINA; (×) PRODUCTO 3; (□) PRODUCTO 4c.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En el primer método de decoloración empleado, es decir la extracción de los pigmentos con agua y etanol, hay una pérdida considerable de proteínas en la mezcla acuosa de la ficocianina, lo que se pone de manifiesto cuando dicho extracto es ajustado a un pH de 3 (punto isoelectrico de las proteínas) y se observa la producción de abundante precipitado. Esto trae como consecuencia que el producto resultante tenga un contenido protéico reducido, siendo la solución más factible para evitar dicha pérdida, la reincorporación de las proteínas precipitadas en el extracto acuoso, al producto final antes de

ser secado. En el segundo método, al ajustarse desde un principio la suspensión de harina en agua a un pH 3, se asegura que no haya pérdida de proteínas en el extracto acuoso, como ocurre en el método anterior.

En estos primeros dos métodos, es conveniente utilizar otro tipo de secado, como aspersion o liofilización, para obtener un producto pulverizado en el que puedan ser efectuados los análisis de propiedades funcionales y determinar así, el comportamiento que sus proteínas presentarán en los sistemas alimenticios en que sea utilizado el producto.

Sin embargo, al observar el color azul celeste que presenta el producto húmedo, se piensa que al ser secado sólo disminuya su intensidad, por lo que se sugiere que una vez obtenida la harina, ésta sea blanqueada con un agente oxidante selectivo.

En el tercer método de decoloración, que es la extracción con la mezcla alcohol-acetona, se puede observar que se obtiene un producto con un grado de decoloración muy aceptable, además que el contenido de proteínas es elevado, factores que cumplen con el objetivo principal del estudio.

El único inconveniente que presenta el producto es la adquisición de un sabor y olor desagradables, posiblemente debido a la presencia de solvente en la harina decolorada, cuestión que queda por resolver en posteriores estudios.

El análisis de las propiedades funcionales nos indican lo siguiente:

- a) Que la proteína del alga tiene una excelente capacidad de retención de agua, por lo que puede ser utilizada en la manufactura de panes y pastas, ya que son alimentos en el que el grado de humidificación es importante para impartirles una textura adecuada.
- b) Debido a su baja capacidad de retención de grasa, esta harina es útil en alimentos en que se hace necesario que haya una menor absorción de la grasa en que son elaborados, como el caso de las donas, por ejemplo. (2).
- c) Que la propiedad de espumación está influenciada por el pH, alcanzando un valor máximo a un pH 10, y no lo está por la concentración salina. No obstante los valores de espumación alcanzados, que se pueden considerar medianamente aceptables, esta harina no es útil en alimentos que requieren de esta propiedad

(como merengues), ya que existe otro tipo de proteínas que tienen un comportamiento de espumación superior.

- d) La propiedad de emulsificación está ligeramente influenciada por el pH y la concentración salina, alcanzando máximos a un pH 10 y concentración 0.8 M., respectivamente. Los valores de emulsificación que se alcanzaron indican que esta harina es útil en la manufactura de aderezos de ensalada.

Haciendo una combinación de los resultados obtenidos en el análisis de propiedades funcionales de este producto, se puede concluir que la harina, una vez que se haya eliminado el sabor desagradable, puede ser introducida en los siguientes alimentos, debido a que reúnen la funcionalidad requerida para su elaboración:

1. - Pastas : en cuya manufactura se requiere que la proteína posea capacidad de hidratación, baja viscosidad y carezca de sabor.
2. - Panes : porque reúne los requisitos de capacidad de absorción de agua, espumación, baja viscosidad y carencia de sabor.

Como se mencionó en la introducción de este estudio, México es uno

de los países que presenta una deficiencia en el consumo de proteínas, por lo que se sugiere que el producto decolorado obtenido, sea introducido en alimentos que sean de consumo popular, como las tortillas de maíz, con la finalidad de que la falta de este nutriente en la dieta del mexicano deje de ser un problema.

En los métodos de decoloración en que se utilizó etanol como disolvente, se puede apreciar que hay una marcada diferencia en cuanto al color y contenido protéico, siendo la explicación como sigue:

- a) El cambio de color está estrechamente ligado al pH al que se trabajó, debido a que se inducen cambios estructurales en los pigmentos.
 - A un pH 3 la clorofila es transformada a feofitina, al ser sustituido el ión magnesio por un ión hidrógeno, compuesto que es de un color café olivo y es más soluble en el etanol, por lo que se elimina de la harina dejando únicamente al pigmento azul ficocianina, lo cual explica el color del producto final.
 - Cuando se alcalinizó a pH 13 una muestra del producto obtenido en la extracción ácida con etanol, se observó que había

un cambio del color de azul a verde brillante, lo cual demostró que hay un cambio estructural en el pigmento, siendo ésta la explicación del color obtenido en el producto 4c.

- Al trabajar a un pH de 6.4 se concluye que el color verde grisáceo adquirido por el producto, es debido a que aún permanecen la clorofila y la ficocianina, aunque en concentraciones menores.

b) El contenido protéico está influenciado por el pH al que se trabaja. Cuando se trabaja en el punto isoeléctrico de las proteínas del alga, la solubilidad de éstas es mínima, por lo que sólo una pequeña parte pasa a solución. Al incrementar el pH de la extracción, también lo hace su solubilidad, por lo que el contenido protéico del producto se reduce, siendo ésta la explicación de la diferencia de concentraciones de proteína en las harinas elaboradas por este método.

Debido a que sólo el producto obtenido en condiciones alcalinas es el que presenta mayor grado de decoloración, es el que se eligió para realizar las pruebas de propiedades funcionales.

Las condiciones de alcalinidad y temperatura en las que se realizó

la elaboración de este producto, provocó una hidrólisis parcial de las proteínas, logrando que mejoren grandemente las propiedades de espumación y gelificación, se pierda la capacidad de emulsificación, y aumente la viscosidad, al ser más solubles las proteínas parcialmente hidrolizadas que la proteína nativa.

Por último, es importante hacer mención que este producto es inadecuado para ser utilizado en alimentos, ya que durante su elaboración se producen aminoácidos tóxicos, como la lisinoalanina; mas por los resultados obtenidos, se pudo apreciar que una hidrólisis parcial de las proteínas mejora las propiedades funcionales de la harina, por lo que sería de suma utilidad realizar esta hidrólisis, pero controlada por enzimas, ya que el uso de éstas no constituye un peligro para la salud.

Este estudio no pretende ser exhaustivo, pero sí un paso más hacia el conocimiento de esta nueva fuente de proteínas, que es la Espirulina.

RESUMEN

La espirulina es una microalga verdeazul que por sí misma constituye un alimento de alto contenido protéico, pero presenta el inconveniente de ser muy coloreada y teñir los alimentos en que es introducida.

Los principales pigmentos que le dan su color característico al alga son: la clorofila "a" (color verde) y la ficocianina (color azul), siendo la primera soluble en solventes orgánicos y la segunda en agua.

El objetivo del presente estudio consiste en obtener una harina deco-

lorada de alto valor protéico, para lo cual se utilizaron los siguientes métodos:

1. - Extracción en solución acuosa de la ficocianina, seguida de una extracción con etanol de la clorofila.
2. - Extracción con agua, ajustando al punto isoelectrico de las proteínas del alga (pH 3), seguido de una extracción con etanol de la clorofila.
3. - Extracción con una mezcla etanol-acetona (77/23).
4. - Extracción con etanol
 - a) a un pH 3
 - b) a un pH 6.4
 - c) a un pH 13

De los métodos empleados, solamente con el 3 y los métodos 4 se puede obtener una harina, y con los métodos 3 y 4c se obtiene el me jo r grado de decoloración, siendo a estos dos últimos a los que se les realizaron análisis bromatológicos y de propiedades funcionales.

El mayor contenido protéico se obtiene con el método 3 (aprox. 80%) pero presenta el inconveniente de que el producto adquiere un olor y

sabor desagradables debido a residuos de solvente que no fué posible eliminar.

Las propiedades funcionales estudiadas en el producto 3 presentan, en su mayoría, valores inferiores a los encontrados en la espirulina sin decolorar, pero que siguen un comportamiento semejante, debido a que se trata de una proteína desnaturalizada. En el producto 4c se produce una hidrólisis de las proteínas del alga, lo cual repercute en diferentes valores y comportamiento de las propiedades funcionales evaluadas.

De los productos evaluados sólo el producto 3 presenta características adecuadas para ser introducido en alimentos, ya que es de alto valor protéico y tiene un mayor grado de decoloración.

El producto 4c es un producto con un grado de decoloración aceptable pero con un contenido protéico muy inferior, respecto al producto 3, además de ser inadecuado para ser introducido en alimentos, ya que tiene aminoácidos tóxicos que son formados en el proceso de la extracción.

Los sistemas alimenticios en que puede ser introducido el producto 3, de acuerdo a sus propiedades funcionales, son: dulces, pastas y panes.

BIBLIOGRAFIA

1. - A.A. Betschart y R. Y. Fong, "Safflower protein isolates : Functional Properties in simple systems and breads".
En : J. of Food Sc., Vol 44, 1979
pág: 1023
2. - Badui Dergal Salvador, "Química de los Alimentos"
México, Ed. Alhambra Mexicana, S.A., 1982
pp 149, 271, 272, 276, 414
3. - Baron C., "Etude de la decoloration des Spirulines"
En: Ann. Nutr. Alim., 1976, 29
pp 615-622

4. - Castle Griffin Roger, "Technical methods of analysis"
E. U. A., McGraw-Hill Book Co. Inc., 1927
pp 89, 529, 607 y 622
5. - Challen Jack Joseph, "Spirulina"
U. S. A., Keats Publishing, Inc., 1981
pp 2-4, 13-14
6. - Cherry John P., "Protein functionality in foods"
E. U. A., A. C. S. Symposium Series, 1981
pág IX
7. - Friedman Mendel, "Factors governing lisinoalanine formation
in soy proteins", En: J. of Food Sc., Vol 49, 1984
pp 1282-1285
8. - M. Anusuya Devi y G. Subbulskshmi, "Studies on the proteins
of mass cultivated blue green alga (Spirulina platensis)"
En: J. of Agric. Food Chem., Vol. 29, 1981
pp 522-525
9. - M. Anusuya Devi y L. V. Venkataraman, "Functional proper-
ties of protein products of mass cultivated blue green alga
(Spirulina platensis)"
En: J. of Food Sc., Vol 49, 1984
pp 24-27

10. - Mayer Fritz, "La química de las materias colorantes naturales"

España, Aguilar, S.A. de Ediciones, 1950

pág 325

11. - M. Devlin Robert, "Photosynthesis"

E. U. A., Van Nostrand Reinhold Co., 1971

pp 51, 57-59

12. - S. K. Sathe and D. K. Salunkhe, "Functional properties of the great northern bean (Phaseolus vulgaris L.) proteins

Emulsion, Foaming, Viscosity and Gelation properties"

En: J. of Food Sc., Vol 46, 1981

pp 71-72

13. - Switzer Larry, "Spirulina the whole food revolution"

U.S.A., Bantam Books, 1982

pp 1-3, 7, 93-95

19000