

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE SÉMOLA DE TRIGO CON *ARTHROSPIRA PLATENSIS* SOBRE CALIDAD, ACEPTABILIDAD Y COMPOSICIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE ESPAGHETIS

EFFECT OF SUPPLEMENTATION OF WHEAT SEMOLINA WITH *ARTHROSPIRA PLATENSIS* ON QUALITY, ACCEPTABILITY AND PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION OF SPAGHETTI

Alexia TORRES, Dr.^{1*}; José PARRA, MSc², Diego ROJAS, Lic.²,
Rodolfo FERNÁNDEZ-GÓMEZ, Dr.³, Yolmar VALERO, MSc.¹

Recibido: Abril 23 de 2013 Aceptado: Abril 09 de 2014

RESUMEN

Antecedentes: Las microalgas son fuente de compuestos fisiológicamente activos que pueden ser usados como ingredientes funcionales. De las microalgas del género *Arthrospira* (Spirulina) perteneciente a las algas verde-azules y cuyas especies más importantes son *Arthrospira maxima* y *platensis*, se tienen reportes de su uso en alimentación humana. Estas microalgas presentan una adecuada composición bioquímica para ser empleada como complemento alimenticio en desarrollo de productos novedosos. **Objetivo:** Valorar el efecto de la suplementación de semolina de trigo con concentraciones de 5, 10 y 20% de *Arthrospira platensis* sobre calidad y aceptabilidad de pastas tipo espagueti, y realizar una evaluación física y química de la pasta seleccionada. **Métodos:** Se prepararon las pastas con la microalga y una pasta control (100% sémola), se sometieron a cocción para evaluar parámetros de calidad (tiempo cocción, peso, sólidos, proteínas solubles, firmeza instrumental), posteriormente se evaluaron con una prueba de aceptabilidad con 50 consumidores). A la pasta con la mayor aceptación se le analizó su composición proximal, fibra dietética, minerales, bioaccesibilidad de minerales, cómputo aminoacídico, índice glicémico y compuestos con potencial antioxidante. Los resultados de composición proximal y fibra dietética fueron comparados con los de la pasta control. **Resultados:** Al comparar las pastas con *Arthrospira* con la utilizada como control, se observó un efecto estadísticamente significativo de la adición de la microalga sobre incrementos de tiempo de cocción, peso, pérdidas de sólidos y proteínas y reducción de firmeza. La prueba de aceptabilidad entre las pastas suplementadas no varió con la sustitución de la sémola por 5 y 10% de la biomasa de la microalga, por lo cual se seleccionó la pasta con mayor sustitución para evaluar los parámetros de composición señalados. La pasta seleccionada presentó mayor contenido de proteínas, fibra dietética y cenizas (relacionadas con el contenido de minerales), con respecto al control, con cómputo de aminoácidos de 0,42 (deficiente lisina), índice glicémico intermedio y la presencia de compuestos con actividad antioxidante (polifenoles, carotenos y clorofila). **Conclusión:** La elaboración de pasta nutricional con la incorporación de *A. platensis* hasta un 10%, como ingrediente funcional en una mezcla de semolina, genera un producto de adecuada calidad nutricional, presencia de sustancias con reconocida capacidad antioxidante y aceptada por los consumidores.

Palabras clave: Microalga, pastas alimenticias, calidad de cocción, alimento funcional, índice glicémico.

¹ Profesora, Universidad Simón Bolívar, Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Caracas, Venezuela.

² Investigador, Instituto de Estudios Avanzados IDEA. Dirección de Energía y Ambiente. Caracas, Venezuela.

³ Investigador, Instituto de Estudios Avanzados IDEA. Laboratorio de Inmunoproducción. Caracas, Venezuela.

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: aitorres@usb.ve

ABSTRACT

Background: Microalgae are a source of physiologically active compounds which can be considered as functional ingredients. The genus *Arthrospira* (Spirulina), belongs to the group of blue-green algae, whose most important species are *Arthrospira maxima* and *Arthrospira platensis*. These microalgae have an adequate biochemical composition to be used as a food supplement, in order to develop novel products. **Objective:** To evaluate the effect of the supplementation of wheat semolina with concentrations of 5, 10 and 20% of *Arthrospira platensis* on the quality and acceptability of spaghetti, and to assess a physical and chemical evaluation of selected pasta. **Methods:** Control (100% semolina pasta) and pastas with different concentrations of semolina and microalgae were prepared, cooked and evaluated in parameters as cooking time, weight, solids, soluble proteins, instrumental firmness parameters and evaluate palatability properties. The most accepted paste was analyzed for proximate composition, dietary fiber, minerals, mineral bioavailability, amino acidic computation, glycemic index and compounds with antioxidant potential. The results of proximate composition and fiber were compared with those obtained in the control paste. **Results:** Comparing the experimental pastas with the control one it was observed a statistically significant effect in the increase in cooking time, weight, loss of solids and protein, and a reduction of firmness. The acceptability test among supplemented pastes with mixtures of 5 and 10% of incorporated microalgae biomass did not vary, thus the 10% biomass pasta was selected for assessing composition parameters. The results showed that this pasta had higher content of protein, dietary fiber, and ash compared to the control paste, with an amino acid score of 0.42 (deficient in lysine), intermediate glycemic index and the presence of compounds with antioxidant activity. **Conclusions:** The development of nutritional paste with the addition of *A. platensis* until 10% as a functional ingredient in a mixture of semolina generates a product of adequate nutritional quality, presence of substances with recognized antioxidant capacity and accepted by consumers.

Keywords: Microalgae, food paste, cooking quality, functional food, glycemic index.

INTRODUCCIÓN

Las microalgas hacen parte de los organismos más productivos del planeta, de ellos, las pertenecientes al género *Arthrospira* sp (Spirulina) se destacan por su alto contenido de macro y micronutrientes, al igual que por la facilidad para su cultivo, cosecha y proceso. Algunas investigaciones indican que, la deficiencia en el consumo proteico en la nutrición humana, es uno de los problemas de los países en vías de desarrollo. Por ello, se reconoce la importancia de aumentar y diversificar las fuentes de proteínas en fuentes no convencionales, entre ellas las microalgas (1).

Las microalgas son fuente de aminoácidos esenciales, alginato, carragenina, ácidos grasos poliinsaturados (w-3 y w-6), ácido gamma linolénico (GLA), carotenoides (β -caroteno, β -criptoxantina, zeaxantina y cantaxantina), clorofila, ficocianina, aminoácidos, vitaminas (B_1 , B_6 y B_{12} , tocoferoles), hierro, minerales, enzima superóxido dismutasa y polifenoles (1,2). Por su parte, la pared celular de la microalga está formada por mucopolímeros y polisacáridos y no posee celulosa, lo que facilita su

digestión. Además, se ha reportado su inocuidad y, por tanto, se puede utilizar como suplemento alimenticio para animales y humanos (2). Adicionalmente, las propiedades funcionales de la biomasa de esta microalga (capacidad de absorción de agua, absorción de grasa, capacidad gelificante y capacidad espumante), permiten que la harina de *Arthrospira* pueda ser incluida en formulación y/o fortificación de una variedad de productos, tales como sopas, salsas, pastas, alimentos tipo snack, bebidas instantáneas y alimentos fermentados como queso, yogurt y tofu (3).

Con el aumento de la esperanza de vida (4), la dieta juega un papel muy importante en el mantenimiento de la salud, reto fundamental para la industria de alimentos, ya que los consumidores demandan alimentos con buen sabor, convenientes, saludables y nutritivos. En este contexto, la pasta es un alimento con buena aceptación por los consumidores, lo que se debe, entre otros aspectos, a su aspecto, versatilidad, composición nutricional, bajo costo, fácil preparación, transporte y excelente estabilidad durante el almacenamiento. Por tanto, la pasta es un alimento con una composición

nutricional adecuada, por su aporte de proteínas, carbohidratos, minerales y puede ser considerado un alimento funcional cuando se le suplementa con componentes fisiológicamente activos de diferentes orígenes, el cual no debe afectar las características sensoriales del producto (5).

Para mejorar las propiedades nutricionales de la pasta, en varios trabajos publicados se ha documentado la utilización de suplementos alimenticios de distintas fuentes, con alto contenido de proteínas (6,7). En este sentido, algunos resultados muestran que la biomasa de la microalga *Arthrospira* se puede incorporar en la elaboración de pastas, en proporciones entre 1 y 3%, a expensas de harina de trigo (3), e incluso hasta el 10%, en una formulación a base de harina de trigo integral y huevos (8). Sin embargo, en la literatura revisada no se encuentran estudios en los que se emplee la biomasa de la microalga en concentraciones superiores al 10%. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la suplementación de semolina de trigo por concentraciones de *Arthrospira platensis* de 5, 10 y 20%, sobre la calidad y aceptación de pasta tipo espagueti, y realizar la evaluación de la composición física, química, al igual que del índice glicémico y la capacidad antioxidante de la pasta con la concentración de la microalga valorada como más adecuada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepa y medio de cultivo

Cultivo de la microalga

La cepa de *Arthrospira platensis* de Culture Collection of Algal Laboratory de la República Checa fue seleccionada para este trabajo. El medio líquido de cultivo utilizado fue el Medio Spirulina SAG (Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen) (9, 10). Para el cultivo se agregó 1 mL de inóculo correspondiente a 1,3–1,6 mg de peso seco (11) a 1 L de medio de cultivo de *A. platensis*, el cual se mantuvo a una temperatura de 30 °C con burbujeo de aire de 2 L/minuto y una intensidad lumínica de 80 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}/\text{s}$ (12). Las pérdidas por evaporación se repusieron diariamente con agua esterilizada. Cada 24 horas se midió la turbidez utilizando un espectrofotómetro (Shimadzu modelo UV-160A) a 680 nm, tomando una alícuota de 1 mL de cultivo en cubeta de cuarzo, con el objeto de determinar la cinética de crecimiento hasta que

alcanzó la saturación o la máxima capacidad de carga poblacional de la curva. Para establecer la relación, entre la turbidez con el peso seco de la biomasa de *A. platensis*, se tomaron volúmenes de 0 mL, 20 mL, 40 mL, 80 mL y 100 mL de cultivo filtrado con una malla de fitoplancton de 40 μm , cuya biomasa se lavó tres veces y se resuspendió en 100 mL de agua destilada. A cada fracción volumétrica se le determinó la turbidez, posteriormente se colocó en un crisol de porcelana, se secó la muestra en una deshidratador a 60 °C, se atemperó en un desecador a temperatura ambiente y, finalmente, se pesó en una balanza analítica (AND HF-300G) de 10 mg de precisión.

Para la obtención de la biomasa, que permitiría elaborar la pasta, se inoculó 1 mL de *A. platensis* en 1 L de cultivo. Cuando se llegó a la fase de saturación, se trasvasó a 5 L de medio y se repitió este procedimiento hasta llegar a 500 L de medio de cultivo, con el fin de proporcionar la materia prima necesaria para los ensayos posteriores, siguiendo el procedimiento de filtrado, lavado y deshidratado, señalado en el párrafo anterior.

Formulación de la pasta con incorporación de *Arthrospira platensis* (8)

Se preparó una pasta control con sémola y pastas con tres porcentajes de sustitución de sémola de trigo con la biomasa de *Arthrospira*: Pastas con 100% sémola trigo (control), pastas con 5% de *Arthrospira platensis* y 95% de sémola de trigo, pastas con 10% de *Arthrospira platensis* y 90% de sémola de trigo y pastas con 20% *Arthrospira platensis* y 80% de sémola de trigo. A la mezcla de sémola y biomasa de la microalga se le adicionó agua entre 35–40% para el amasado, se dejó en reposo y, posteriormente, se procesó la masa en una máquina para elaborar pastas, tipo espagueti. Las pastas frescas fueron secadas a temperatura ambiente (rango 23–25 °C/1h) y luego por 4 h a 50°C en estufa de convección (Memmert®, Alemania), hasta que las pastas alcanzaron una humedad del 12%. Las pastas fueron conservadas en bolsas herméticas y en refrigeración hasta su análisis.

Calidad de las pastas

Las pastas empleadas para el ensayo de calidad fueron: la pasta control (100% sémola) y las pastas con 5, 10 y 20% de adición de *Arthrospira platensis*. Los parámetros de calidad evaluados fueron: tiempo de cocción, absorción de agua o incremento de peso en

la pasta luego de ser escurrida y pesada, pérdida de sólidos solubles (se evaluaron en el agua de cocción, la cual se concentró hasta sequedad a 100°C en estufa (Memmert®, Alemania) (método 66-50) (13). Además, se valoró la pérdida de proteínas solubles mediante método de Biuret (14), y la firmeza empleando un Texturómetro TA-Xt2i Texture Analyser (Stable Microsystems, UK), con celda de carga de 30 kg, compresión al 50%, tiempo 5 segundos, velocidad del ensayo de 5 mm/segundo, determinada como la altura del primer pico, expresada en unidades de kg-f, manteniendo un área uniforme de muestreo. Para evaluar los parámetros mencionados, cada una de las formulaciones fue colocada en agua hirviendo en la relación 10:1 (agua: pasta). Se cocinaron *al dente*, lo cual se evaluó colocando una muestra entre dos vidrios de reloj hasta observar desaparición de un centro blanquecino en la pasta.

Aceptabilidad de las pastas

La prueba de aceptabilidad se realizó a las pastas formuladas con el 5,10 y 20% de sustitución. Una vez cocidas en agua con 10 g de sal, las pastas se drenaron y se sirvieron calientes a los consumidores (50 personas consumidores habituales de pasta, con edades promedio entre 20-30 años de ambos sexos). Se realizó una prueba de escala hedónica de siete puntos (1= me disgusta mucho y 7= me gusta mucho) (15) y se registraron los comentarios de los consumidores.

Composición física y química

A la pasta cocida seleccionada (mayor aceptabilidad) se le realizó una valoración de la composición proximal (humedad, proteínas, grasa, cenizas) (16) (métodos 940.12, 940.25, 945.18, 923.03), fibra dietética (17), contenido calórico, minerales por espectroscopia de emisión atómica (Espectrofotómetro de plasma inducido, Spectroflame XL®, ICP, Australia), hierro y fósforo, por métodos colorimétricos (16) (métodos 955.21 y 955.19), bioaccesibilidad de minerales (18), carotenoides y clorofila (16) (métodos 938.04, 942.04), cálculo del cómputo de aminoácidos corregido por la digestibilidad de las dietas mixtas latinoamericanas (19), así como el contenido de compuestos polifenoles (20), capacidad antioxidante DPPH (21) y poder reductor (22). Para los métodos colorimétricos se utilizó un espectrofotómetro Spectronic 21D® (Milton Roy Company, USA). Por su parte, a la pasta control (100% sémola) solamente se le valoró

la composición proximal (16), fibra dietética (17) y contenido calórico (utilizando los factores de 4 Kcal/g para proteínas y carbohidratos y 9 Kcal/g para grasa). Para efectos de comparación con la pasta con *Arthrospira platensis* seleccionada con la mayor aceptación, los resultados se reportan en base seca (extracto seco).

Índice glicémico de la pasta seleccionada

El índice glicémico (23, 24) se realizó solo a la pasta con *Arthrospira* seleccionada con la mejor aceptación. La población participante estuvo conformada por 9 adultos sanos, con edades entre 18 y 40 años. Las variables antropométricas utilizadas como criterios de inclusión fueron peso, talla e índice de masa corporal (IMC), calculado a partir de los dos primeros. Para descartar que las personas no estuviesen utilizando medicamento o suplemento dietético o posible embarazo, se realizó una encuesta. A los participantes se les realizó dos curvas de tolerancia a la glucosa con intervalo de una semana, la primera con el alimento estándar (pan blanco, cantidad suficiente para ingerir 50 g de carbohidratos) y la otra con la pasta formulada con microalga (cantidad suficiente para ingerir 50 g de carbohidratos). Se tomó una muestra de sangre capilar usando una lanceta (Accu-check Softclix®, Roche Diagnostics, España) a los tiempos 0 (ayuno), 15, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos después de la ingesta. Las muestras de sangre fueron captadas en tiras reactivas y analizadas con un equipo analizador de glucosa (Accutrend-Sensor®, Roche Diagnostics, España). Con las concentraciones de glucosa se determinó el área bajo la curva (ABC), calculada con los valores por encima de la línea de base en el período de 2 horas después de ingerido el alimento.

Análisis estadístico

Los resultados se presentan como promedio y desviación estándar de tres determinaciones. Para el análisis estadístico de los datos de los parámetros de cocción se aplicó la prueba de comparación múltiple con posterior contraste de las medias. Los resultados de aceptabilidad se analizaron por la prueba de Kruskal-Wallis. Para la comparación de composición química entre dos muestras se utilizó la T-student, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Los datos fueron analizados mediante el empleo del paquete estadístico Statgraphics Centurion XV (2006).

Consideraciones éticas

Para realizar pruebas para la determinación del índice glicémico, se solicitó la aprobación del Comité de Bioética de la Universidad Simón Bolívar, acorde con las consideraciones bioéticas estipuladas en la Declaración de Helsinki y ratificadas por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (Caracas-Venezuela). Además, a los sujetos seleccionados para la prueba se les entregó con anterioridad el consentimiento informado y se les describió el procedimiento de la prueba. Al finalizar el estudio, los resultados correspondientes fueron informados a cada participante.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan las pruebas que evalúan la calidad de las pastas para las cuatro formulaciones elaboradas (control y con sustitución de sémola con 5,10 y 20% de biomasa de *Arthrospira platensis*). El incremento de peso obtenido corresponde a una duplicación del parámetro en relación al medido antes de la cocción, siendo ésta una propiedad deseable en un producto de pasta. El incremento de peso es proporcional a la biomasa de la microalga, siendo estadísticamente superior al de la pasta control ($p < 0,05$).

En todas las pastas evaluadas (Tabla 1), se reporta un aumento en los sólidos y proteínas solubles en comparación a la pasta de 100% sémola. Las pastas elaboradas con *Arthrospira* presentan una disminución estadísticamente significativa en la firmeza del producto ($p < 0,05$).

En la tabla 2 se presenta la aceptabilidad de las pastas con tres niveles de sustitución (5, 10 y 20%). Las pastas con 5 y 10% tuvieron una aceptabilidad similar (5= me gusta ligeramente) sin diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Por tanto, a efectos de esta investigación, se decidió escoger la pasta aceptada con el mayor porcentaje de sustitución (10% de *Arthrospira*) para la evaluación de la composición nutricional.

Tabla 1. Parámetros de calidad y de firmeza de las pastas con sémola y *Arthrospira*

Parámetro	Porcentaje sustitución de sémola (g/100g)			
	0 (control)	5	10	20
Tiempo cocción (min)	15,00 ± 1,00 ^a	13,82 ± 0,45 ^a	14,67 ± 0,69 ^a	16,23 ± 0,22 ^b
Incremento peso (g)	172,20 ± 3,55 ^a	233,93 ± 4,95 ^b	299,87 ± 11,10 ^c	303,91 ± 8,28 ^c
Sólidos solubles (g/100g)	3,00 ± 0,15 ^a	6,00 ± 0,82 ^b	8,09 ± 2,50 ^b	8,73 ± 1,86 ^b
Proteínas solubles (g/100g)	0,15 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,04 ^a	0,25 ± 0,01 ^a	0,32 ± 0,12 ^a
Firmeza (Kg-f)	1,01 ± 0,04 ^b	1,14 ± 0,24 ^b	0,96 ± 0,16 ^a	0,81 ± 0,07 ^a

Resultados reportados como media y desviación estándar para $n=3$. Letras diferentes en una fila indican que hay diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

Tabla 2. Aceptabilidad de pastas con *Arthrospira*.

Producto	Puntaje promedio
Pasta 5% sustitución	5,60 ± 1,47 ^a
Pasta 10% sustitución	5,16 ± 1,27 ^a
Pasta 20% sustitución	4,02 ± 1,71 ^b

Prueba de escala hedónica de siete puntos (1= me disgusta mucho y 7= me gusta mucho), ($n=50$ consumidores). Medianas comparadas empleando prueba Kruskal-Wallis. Letras diferentes en una columna indican que hay diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$).

El enriquecimiento de la pasta con la incorporación de *Arthrospira platensis* en un 10% causó un incremento del 123% en el contenido de proteínas, en comparación a la pasta control (Tabla 3).

Tabla 3. Composición de pastas cocidas de mejor aceptación (10% de sustitución de *Arthrospira*) en comparación a pasta de 100% sémola.

Componente	Pasta 10% sustitución	Pasta 100% sémola
Proteínas (g/100g)	36,33 ± 0,09 ^b	16,29 ± 0,37 ^a
Grasa (g/100g)	0,73 ± 0,02 ^a	1,78 ± 0,10 ^b
Fibra dietética total (g/100g)	15,77	4,73
Fibra dietética insoluble (g/100g)	6,94 ± 0,67 ^b	3,96 ± 0,03 ^a
Fibra dietética soluble (g/100g)	8,83 ± 0,20 ^b	0,74 ± 0,08 ^a
Cenizas (g/100g)	0,96 ± 0,01 ^b	0,55 ± 0,02 ^a
Carbohidratos disponibles (g/100g)*	46,21	76,65
Energía (Kcal)	336,73	387,78

Resultados en base seca (extracto seco) de la pasta cocida. Resultados reportados como media y desviación estándar para $n=3$. Letras diferentes en una fila indican que hay diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$). * Calculados por diferencia.

En las pastas formulas con el 10% de la microalga se obtuvo un contenido importante de fibra dietética (15,77 % base seca), el cual fue superior en un 231% al obtenido en la pasta control (4,77% base seca), resaltando la presencia de una mayor fracción soluble en la pasta con la microalga que en el control. Por su parte, el aporte de grasa (0,73% base seca)

fue menor en un 59% que el de la pasta control. El contenido de cenizas (relacionado con el contenido de minerales) de la pasta en estudio fue superior en un 75% al de la pasta control. Finalmente, la pasta con 10% de sustitución con *Arthrospira* aporta 13% menos de calorías que la pasta control (Tabla 3).

En relación a la bioaccesibilidad de los minerales, el calcio, cobre y el magnesio presentaron un mayor valor (41,39; 17,82; 14,97%, respectivamente) que el hierro (2,11%). Además, las pastas suplementadas con *Arthrospira* presentaron un escore aminoacídico de 0,42, siendo deficiente en lisina (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de minerales y bioaccesibilidad, cómputo aminoacídico e índice glicémico de pastas cocidas de mejor aceptación (10% de sustitución de *Arthrospira*).

Componente	
Minerales	(mg/100g)
Calcio	41,61±1,60
Magnesio	40,30±3,07
Hierro	24,32±1,02
Potasio	21,83±3,57
Sodio	3,26± 0,38
Cobre	1,18±0,06
Bioaccesibilidad de minerales	(%)
Ca	41,39
Cu	17,82
Mg	14,97
Fe	2,11
Cómputo aminoacídico (PCDAAS)**	0,42 deficiente lisina
Índice glicémico***	66,00 ±1,2

Resultados reportados en base húmeda de la pasta cocida como media y desviación estándar para n=3. ** Cálculo teórico ***Resultados del índice glicémico calculado de acuerdo a la literatura (20).

En la figura 1 se muestra el incremento de la glucosa, posterior a la ingesta de la pasta cocida con 10% de sustitución de *Arthrospira* y del alimento estándar (pan blanco). El mayor incremento de las curvas de glucosa se observa con el alimento estándar, a los 30 minutos, comenzando el descenso a partir de los 45 minutos. El incremento de la curva correspondiente a la pasta desarrollada presentó un comportamiento similar al alimento de referencia. El incremento observado se mantuvo hasta los 45 minutos, luego descendió y llegó a ser inclusive menor al valor a tiempo 0, a los 120 minutos de la ingesta. El índice glicémico de la pasta con 10% de sustitución con *Arthrospira* (Figura 1, Tabla 4), se

ubica en 66±1,2; valor establecido como intermedio en la clasificación.

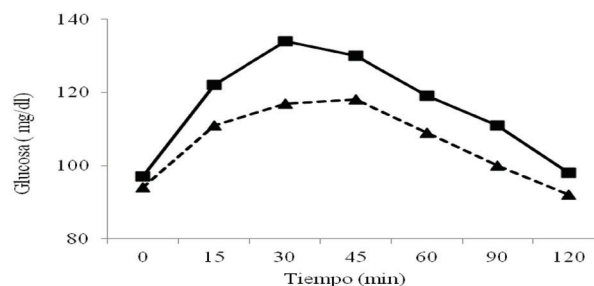


Figura 1. Curva de glucosa basal y postprandial de pan blanco (-■-) y pasta cocida con 10% de sustitución de *Arthrospira* (-▲--) para la obtención del índice glicémico.

Por su parte, en la pasta en estudio se evidencia la presencia de compuestos con potencial efecto antioxidante, tales como polifenoles, carotenos y clorofila (Tabla 5). Acorde con el tiempo necesario para alcanzar la concentración de EC₅₀, los antioxidantes presentes en la pasta con 10% de *A. platensis* se clasificaron con un comportamiento cinético lento (> 30 minutos) y una eficiencia antirradical baja (< 1x10⁻³) (Tabla 5).

Tabla 5. Compuestos polifenoles, carotenoides, clorofila y capacidad antioxidante presentes en pastas cocidas con 10% de sustitución de *Arthrospira platensis*.

Componente	
Polifenoles (mg/100 g ácido gálico)	64,44±2,94
Carotenoides totales (mg/100g)	592,45±40,49
Clorofila (mg/100g)	10,74± 0,92
Capacidad antioxidante	
Poder reductor (mmol Fe ⁺² /100g)	1,54± 0,17
DPPH (g/g DPPH)	
EC ₅₀	159,00 ±21,00
T _{EC50} (tiempo en alcanzar EC50)	72,00± 4,00
1/EC50 (eficiencia antirradical)	8,7 x 10 ⁻⁵

Resultados en base húmeda de la pasta cocida. Resultados reportados como media y desviación estándar para n=3.

DISCUSIÓN

Este trabajo muestra que la suplementación de sémola de trigo con concentraciones variadas de *A. platensis* permite elaborar espaguetis con una calidad de cocción y composición nutricional superior en relación a pastas de 100% sémola; y además con buena aceptación por parte de consumidores.

La calidad de la pasta cocida se ve influenciada por la gelatinización del almidón y por la formación de la matriz proteica; por ello, la interacción de estos biopolímeros, en presencia de agua, genera las diferencias en textura y calidad culinaria de la pasta (25). El tiempo óptimo de cocción corresponde al requerido para alcanzar la textura deseada de la pasta y depende, en primer término, de las tasas de penetración de agua y de la gelatinización del almidón. En investigaciones realizadas por los autores (26), se determinó que *A. platensis* presenta un buen aporte proteico y de fibra dietética (55, 81 % y 37,51%, respectivamente), lo cual tiene relación directa con los datos obtenidos, debido a que la capacidad de absorción de agua puede mejorar por la presencia de éstos compuestos. Así mismo, la *A. platensis* evidencia una capacidad de absorción de agua de 7g/g, lo cual tiene su efecto en la respuesta del incremento de peso observado en las pastas. En este sentido, es importante señalar que existen reportes que muestran que la adición de algas marinas a fideos chinos y a pastas tiene un efecto positivo sobre la hidratación de los mismos, producto de los hidrocoloides presentes en la harina de algas (27). Similarmente, algunos trabajos muestran un incremento de peso en pastas con adición de espirulina entre 0,5 y 3%, respectivamente (3, 28).

Las pérdidas de cocción observadas en las pastas en estudio son menores o iguales a 7-8%, máximo valor aceptable para que puedan ser consideradas como un producto de buena calidad (29). Relacionado con este resultado, algunos trabajos han documentado pérdidas de cocción entre el 9-9,7% en pastas con sustitución de harina de trigo con *Arthrospira* entre 1-3% (3). Es importante resaltar que, las pérdidas de proteínas solubles en el agua de cocción fueron significativamente superiores en las pastas con *A. platensis* que en el control ($p < 0,05$), lo que puede atribuirse a que la matriz proteica de la pasta ha sido modificada en relación a una de 100% trigo, cereal que aporta gluten, responsable de la estructura de la pasta (29, 30).

La respuesta de la fuerza de compresión en función de la cantidad de la microalga adicionada, coincide con lo reportado en la literatura (8), en relación a que la sustitución de harina de trigo integral con 10% de biomasa de *Arthrospira*, ocasionó una reducción de la elasticidad de la pasta y una menor resistencia al corte, lo cual fue atribuido al mayor contenido de proteínas en esta pasta lo cual generó una heterogeneidad en la matriz de la misma.

La aceptabilidad de un alimento es un factor crítico en el desarrollo de productos nuevos, como las pastas objeto de este estudio. En este sentido, aunque la incorporación de los niveles de *A. platensis* generó una coloración verde intensa a los espaguetis, este hecho no afectó su aceptabilidad. Para los consumidores, la principal propiedad que debe cumplir una pasta es que sea firme, que se sienta bien en la boca (no muy dura pero que no se desintegre en la boca), que no sea pegajosa, con buen aroma, color y apariencia (3). Los participantes en este estudio de aceptabilidad manifestaron que estas pastas, a pesar del color intenso (atribuido al empleo de algas en la formulación), tenían un agradable sabor a alimentos como el *sushi*, y sugerían emplearlas en preparaciones orientales. Por su parte, otros manifestaron rechazo por sabor intenso, en especial la formulación con el reemplazó al 20%.

De acuerdo a los resultados de la prueba de aceptabilidad, la pasta seleccionada para evaluar el efecto de la suplementación de semolina por *Arthrospira* sobre la composición nutricional, fue la de 10% de sustitución. Los resultados indican que la misma presentaba un valor de proteínas superior al de la pasta control y a los reportados en la literatura (18-32% base seca) en pastas donde la inclusión de espirulina fue entre 0,5-2%, (28), en productos con *Arthrospira* entre 1-3% de sustitución (14-15,3% base seca) (3) y en pasta de harina de trigo integral y huevo con adición de 10% de *Arthrospira* (19,53% base seca) (8).

La ficobiliproteína (una de las principales proteínas en *A. platensis*) presenta efectos hepatoprotector, antiinflamatorio, inmunomodulador, antioxidante y anti-cancerígeno (1). Por ello, se podría especular que, la adición de la biomasa de la microalga hasta el 10% en la formulación de espaguetis, podría estar asociada a propiedades preventivas de algunas de estas enfermedades, lo que debería ser objeto de un trabajo diseñado y realizado con el fin de explorar este posible efecto benéfico para la salud de los consumidores de este tipo de productos.

Por su parte, el contenido de grasa en la pasta con 10% de *A. platensis*, aun cuando es muy bajo, podría ser relevante, debido a que en la microalga se ha reportado un balance entre ácidos grasos saturados e insaturados, con alto contenido de ácido linoléico (18:2w 6) y ácido gamma linolénico (GLA) (28).

Desde un punto de vista nutricional, es importante conocer la cantidad de minerales así como su bioaccesibilidad. El hierro en esta microalga es 60%

mejor absorbido que el sulfato ferroso (31, 32), por tanto podría ser una fuente adecuada de hierro en mujeres embarazadas, niños y ancianos; sin embargo este efecto debería ser establecido en otro tipo de trabajo. En este sentido, existe información que muestra que los carotenos pueden incrementar la absorción de hierro no-hemo y contribuir a mejorar los niveles de hemoglobina. En el producto analizado se aprecia un contenido importante de carotenos que pudieran favorecer la absorción de este mineral (33).

En vista de que la microalga *Arthrospira* presenta proteínas de alto valor biológico (1, 3), era de esperarse que la calidad proteica de la pasta suplementada fuera superior en relación a la pasta control. Actualmente, el cómputo químico o escore de aminoácidos corregido por digestibilidad proteica (protein digestibility corrected amino acid score) o PDCAAS es el método sugerido para evaluar la calidad proteica, (19). El valor más alto que puede recibir una proteína es 1,0. Del cálculo del PDCAA en la pasta analizada se evidencia que la misma presenta deficiencia en lisina, lo cual pudiera corregirse por la forma como se consume la pasta, con carne, queso o leguminosas, que son proteínas que pueden aportar el aminoácido limitante y aumentar así la calidad proteica de la dieta.

La pasta representa un alimento con una respuesta glicémica de baja a intermedia (5). La pasta objeto de esta investigación (con inclusión de *A. platensis* en 10%), presentó un índice glicémico intermedio, siendo inferior al reportado (20), para pastas artesanales de sémola sin sustitución (valor de 73), correspondiente a un índice glicémico alto. En este contexto, es conveniente mencionar que, los alimentos con un índice glicémico bajo e intermedio, reducen tanto la glucemia postprandial como la respuesta a la insulina. Además, de aumentar la cantidad de carbohidratos que entran al colon e incrementar la fermentación y la producción de ácidos grasos de cadena corta (34). Estudios reportados (30) han señalado que la adición de espirulina a productos a base de trigo generan una reducción del índice glicémico, así como reducción de los triglicéridos en pruebas con humanos. Por ello, se genera una posible hipótesis de que la pasta desarrollada podría tener beneficios en pacientes con síndrome de resistencia a la insulina u obesidad.

Además de los compuestos identificados en la pasta con el 10% de la microalga con potencial efecto antioxidante, el mismo podría verse favorecido

por la presencia de zeaxantina (33), β -caroteno, mixoxantofila, clorofila a, pigmentos (compuestos parecidos a la feofitina, sifoneína y cantaxantina), otros carotenoides y ficocianobilina.

A pesar de considerarse factible el desarrollo de productos de pasta enriquecidos con la biomasa de *A. platensis*, es de sumo interés seguir trabajando en la optimización del medio de cultivo de la microalga de tal manera de obtener mayor productividad y así elaborar alimentos a escala industrial, así como es necesario evaluar el proceso de elaboración y secado de las pastas para obtener mejoras en la calidad de cocción de las mismas.

CONCLUSIONES

Se comprobó que la incorporación de la biomasa de *A. platensis* hasta 10% permitió la elaboración de una pasta tipo espagueti con un adecuado contenido de proteínas, fibra soluble e insoluble, bajo en calorías, valor intermedio de índice glicémico y contenido importante de minerales como calcio, magnesio hierro y potasio. Adicional a su composición en nutrientes, la pasta desarrollada presenta compuestos con actividad antioxidante, tales como polifenoles, carotenos y clorofila.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores agradecen al Decanato de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar por el financiamiento recibido para esta investigación, a la Dra. Elba Sangronis por la revisión del manuscrito, al Lic. Emilio Ineichen por su colaboración en la realización de los análisis y a los sujetos que participaron de manera voluntaria, en la medición del índice glicémico.

REFERENCIAS

1. Christaki E, Florou-Paneri P, Bonos E. Microalgae: a novel ingredient in nutrition. *Int J Food Sci and Nutr* 2011 Dec; 62(8): 794-799.
2. Shimamatsu H. Mass production of Spirulina, an edible microalga. *Hydrobiol* 2004; 512: 39-44.
3. Zouari N, Abid M, Fakhfakh N, Ayadi MA, Lazhar Z, Ayadi M, et al. Blue-green algae (*Arthrospira platensis*) as an ingredient in pasta: free radical scavenging activity, sensory and cooking characteristics evaluation. *Int J Food Sci and Nutr* 2011 Dec; 62(8): 811-813.
4. Schwager J, Mohajeri MH, Fowler A, Weber P. Challenges in discovering bioactives for the food industry. *Curr Opin Biotechnol*. 2008 Apr; 19 (2): 66-72.
5. Krishnan M, Prabhasankar P. Health based pasta: redefining the concept of the next generation convenience food. *Cri Rev Food Sci Nutr*. 2012; 59 (1): 9-20.

6. Fuad T, Prabhasankar P. Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2010 Sep; 50 (8): 787-798.
7. Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *J Biosc Bioeng.* 2006 Feb; 101(2): 87-96.
8. Lemes AC., Takeuchi KP, Monteiro de Carvalho C, Godoy-Danesi ED. Fresh pasta production enriched with *Spirulina platensis* biomass. *Braz Arch Biol Technol.* 2012 Sep-Oct; 55 (5): 741-750.
9. Schlösser UG. Sammlung von algenkulturen. *Berichte Deutschen Bot Gessell.* 1982; 95: 181-276.
10. Aiba S, Ogawa T. Assessment of growth yield of a blue-green alga, *Spirulina platensis*, in axenic and continuous culture. *J Gen Microbiol.* 1977 Sep; 102 (1): 179-182.
11. Boussiba S, Richmond AE. Isolation and characterization of phycocyanins from the blue-green alga *Spirulina platensis*. *Arch Microb* 1979; 120(2): 155-159.
12. Chen , Zhang Y, Guo S Growth and phycocyanin formation of *Spirulina platensis* in photoheterotrophic culture. *Biotechnol Lett* 1996; 18(5): 603-608.
13. AACC (American Association of Cereal Chemistry). Approved methods of the american association of cereal chemist [Libro electrónico]. Method 66-50. Pasta and noodle cooking quality-firmness. 10^o ed. St Paul, MN. American Association of Cereal Chemist Press; 1999. 1-3 p. [Fecha consulta 02 Agosto 2013]. Disponible en: <http://www.docin.com/p-343353125.html/>.
14. Robinson H, Hodgen C. The biuret reaction in the determination of serum protein. I. A study on the condition necessary for the production of the stable which bears a quantitative relationship to the protein concentration. *J Biol Chem.* 1940 Sep; 135: 707-725.
15. Meilgaard M, Carr T, Civille G. Sensory evaluation techniques. 3rd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press; 1999. 242-245 p.
16. AOAC (Association of Official Analytical Chemist) Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15a ed. Arlintong, VA, USA: Kenneth Helrich, editor; 1990. 152-169 p.
17. Goñi I, Díaz M, Pérez-Jiménez J, Saura-Calixto F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Res Int.* 2009 Aug; 42 (7): 840-846.
18. Wolforg R, Drago S, Rodríguez V, Pellegrini N, Valencia M. *In vitro* measurement of iron availability in fortified foods. *Food Res Int.* 2002; 35 (1): 85-90.
19. Suárez López M, Kizlansky A, López L. Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el escore de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutr Hosp.* 2006 Ene-Feb; 21(1): 47-51.
20. Singleton V, Orthofer R, Lamuela-Raventos R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 1999; 299: 152-178.
21. Sánchez-Moreno C, Larraruri J, Saura-Calixto F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J Sci Food Agric.* 1998 Feb; 76 (2): 270-276.
22. Bahr P, Basulto Y. El potencial reductor férrico (FRP). Un ensayo para evaluar la capacidad antioxidante en suero. *Rev Corr Cient Med Holg.* 2004; 8 (4): 1-7.
23. Goñi I, Valentin-Gamazo C. Chickpea flour ingredient slows glyceemic response to pasta in healthy volunteers. *Food Chem.* 2003 Jun; 81 (4): 511-515.
24. Wolever T, Jenkins D, Jenkins A, Josse R. The glyceemic index: methodology and clinical implications. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991 Nov; 54 (5): 846-854.
25. Feillet P, Fevre E, Kobrehel K. Modifications in durum wheat protein properties during pasta dough sheeting. *Cereal Chem.* 1974; 54 (3): 580-587.
26. Parra J. Incorporación de la microalga *Arthrospira* en dietas para el engorde de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). [Tesis de grado]. [Caracas, Venezuela]: Universidad Simón Bolívar; 2010. 61 p.
27. Prabhasankar P, Ganesan P, Bhaskar N, Hirose A, Nimishmol S *et al.* Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chem.* 2009 Jul; 115 (2): 501-508.
28. Fradique M, Batista AP, Nunes MC, Gouveia L, Bandarra N *et al.* Incorporation of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina maxima* biomass in pasta products. Part 1: Preparation and evaluation. *J Sci Food Agric.* 2010 Aug; 90 (10): 1656-1664.
29. Hosene C. Principios de Ciencia y Tecnología de Cereales. Zaragoza, España: Acribia, 1991. 269-274 p.
30. Morales de León J, Mercado M.P, Cecin P. Desarrollo de una pasta para sopa diseñada de acuerdo a los gustos y recomendaciones nutricias para ancianos. *Arch Latinoam Nutr.* 1997 Jun; 47 (2): 152-156.
31. Iyer UM, Dhruv S, Mani I. Spirulina and its implications as a Food Product. Capitulo 3. En: Spirulina in Human Nutrition and Health. Boca Raton, Florida: Editores Gershwin ME, Belay A. CRC Press; 2008. 328 p.
32. Puyfoulhoux G, Rouanet JM, Besancon P, Baroux B, Baccou JC *et al.* Iron availability from iron-fortified *Spirulina* by an *in vitro* digestion/Caco-2 cell culture model. *J Agric Food Chem.* 2001 Mar; 49 (3): 1625-1629.
33. Mendiola JA, Jaime L, Santoyo, S, Reglero, G, Cifuentes A *et al.* Screening of functional compounds in supercritical fluid extracts from *Spirulina platensis*. *Food Chem.* 2007; 102 (4): 1357-1367.
34. Arteaga, A. El índice glicémico: una controversia actual. *Nutr. Hosp.* 2006; 21(Sup 2): 55-60.